

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
MESTRADO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR
ESTAÇÕES CONVENCIONAIS E AUTOMÁTICAS E ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO ESTADO DO PIAUÍ

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

BOM JESUS – PI
2015

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR
ESTAÇÕES CONVENCIONAIS E AUTOMÁTICAS E ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NO ESTADO DO PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Professora Cinobelina Elvas – CPCE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, área de concentração: Uso e Manejo do Solo e da Água.

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Co-orientador: Dr. Everaldo Moreira da Silva

BOM JESUS – PI
2015

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial de Bom Jesus
Serviço de Processamento Técnico

R484c Ribeiro, Aureliano de Albuquerque.
Comparação entre dados meteorológicos obtidos por
estações convencionais e automáticas ... / Aureliano de
Albuquerque Ribeiro. – 2015.
107 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós-
graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Bom Jesus-PI,
2015.

Orientação: “Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade
Júnior”.

1. Agrometeorologia. 2. Penman-Monteith. 3. Sensores.
4. Automação de dados. I. Título.

CDD 630.251

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO

COMPARAÇÃO ENTRE DADOS METEOROLÓGICOS OBTIDOS POR
ESTAÇÕES CONVENCIONAIS E AUTOMÁTICAS E ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIANO ESTADO DO PIAUÍ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, Campus Professora Cinobelina Elvas – CPCE, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Solos e Nutrição de Plantas, área de concentração: Uso e Manejo do Solo e da Água.

APROVADA em: 30 de julho de 2015

Prof . Dr. Carlos José Gonçalves de Souza Lima – CCA/UFPI

Dr. Edson Alves Bastos - Embrapa Meio-Norte

Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva – CPCE/UFPI
(Co-orientador)

Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior - Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

BOM JESUS –PI
2015

BIOGRAFIA

AURELIANO DE ALBUQUERQUE RIBEIRO, filho de Manoel Gonçalves Ribeiro e Arian de Albuquerque Ribeiro, nasceu em Sobral, CE em 05 de maio de 1991. Concluiu o ensino médio em 2009 na Escola Estadual Israel Leocádio de Vasconcelos.

Em fevereiro de 2010, ingressou no curso superior de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE) – Campus Sobral, CE, concluindo em julho de 2013. Ao longo da graduação, foi bolsista de Iniciação Científica (PIBIC- IFCE) e obteve a 2ª colocação no prêmio de desempenho acadêmico no semestre 2011.2. Atuou ainda como professor das disciplinas de Física e Química na Escola Estadual Israel Leocádio de Vasconcelos, mesmo local onde cursou o ensino médio.

Em agosto de 2013, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal do Piauí – Campus Professora Cinobelina Elvas, na área de concentração em Recursos Hídricos, Uso e manejo do Solo e da Água, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2015.

O excelente mestre não é o que mais sabe, mas o que mais tem consciência do quanto não sabe. Não é o viciado em ensinar, mas o mais ávido em aprender. Não é o que declara os seus acertos, mas o que reconhece suas próprias falhas. Não é o que deposita informações na memória, mas o que expande a maneira de ver, de reagir e de ser.

Augusto Cury

As pessoas mais importantes da minha vida:
meus pais Manoel Gonçalves Ribeiro e Arian de
Albuquerque Ribeiro, que com muito amor,
sempre lutaram para que eu pudesse alcançar
meus objetivos.

OFEREÇO!

A minha namorada Maria Claudiana da
Silva Monte, que mesmo distante,
sempre me apoiou, com muito carinho

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso eterno pai, pela saúde, força, e pôr sempre está presente nas horas mais difíceis;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí - Campus Professora Cinobelina Elvas, pela oportunidade de realização deste curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

A Embrapa Meio-Norte pela oportunidade de realização de estágio e que juntamente com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cederam os dados meteorológicos imprescindíveis à realização deste estudo;

Ao pesquisador Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela orientação, paciência, confiança, compreensão, pelos ensinamentos, oportunidades, amizade, sendo um exemplo de profissional a seguir;

Ao professor Dr. Everaldo Moreira da Silva, pela co-orientação, ensinamentos repassados, confiança depositada e amizade;

Ao pesquisador Dr. Edson Alves Bastos, pela colaboração na realização deste estudo e amizade;

Ao professor Dr. Carlos José Gonçalves de Souza Lima pela sua disponibilidade em participar desta banca.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Piauí - Campus Professora Cinobelina Elvas, pelos valiosos conhecimentos repassados;

A todos os colegas do programa em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da UFPI - Campus Professora Elvas, com quem tive o prazer de conviver durante essa jornada.

Ao amigo de todas as horas, Marcelo Simeão, pelos ensinamentos e contribuições prestadas durante essa jornada;

Aos estagiários do setor de irrigação da Embrapa Meio-Norte, pela troca de conhecimentos e amizade;

A secretária da Coordenação do Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas da UFPI- Campus Professora Elvas, Jucele Alencar, pela amizade, competência e atenção dispensada;

Aos amigos (a) bomjesuenses: Genilda Canuto Amaral, Jordânia Medeiros, Alcilane Arnaldo, Ananda Rosa, Alcinei Ribeiro, Djavan Santos, Rezânio Mendes, Arismar Prudêncio, Felipe Lucena, João Paulo Augusto, Rodrigo Sá e Adenaelson Sousa;

Aos professores do Curso Superior de Tecnologia em Irrigação e Drenagem do IFCE- Campus Sobral, em especial, Francisco José Carvalho Moreira, Marco Antônio Rosa de Carvalho e Manoel Valnir Júnior, que me incentivaram bastante para ingressar na pós-graduação e pela amizade;

Aos amigos do grupo de pesquisa Centro de Estudos da Sustentabilidade da Agricultura Irrigada (CESAI), do IFCE- Campus Sobral, em especial: Ademir da Silva Menezes e Mariana Alexandre de Lima Sales, pela competência, responsabilidade, humildade e pelos muitos experimentos conduzidos juntos desde a graduação;

Enfim, a todos que participaram direto e/ou indiretamente desta conquista, meu MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

Página

Resumo geral	i
General Abstract	ii
Lista de Tabelas	iii
Lista de Figuras.....	v
1.0 Introdução geral	1
2.0 Referencial Teórico.....	3
2.1 Monitoramento climático.....	3
2.2. Estações meteorológicas	5
2.2.1 Estações meteorológicas convencionais	5
2.2.2 Estações meteorológicas automáticas	8
2.3 Comparação de dados obtidos nas estações meteorológicas convencionais e automáticas	12
2.4 Elementos meteorológicos e sua influência no ambiente agrícola	15
2. 4.1 Temperatura do ar.....	15
2.4.2 Precipitação.....	17
2.4.3 Radiação solar.....	18
2.4.4 Umidade relativa do ar.....	19
2.4.5 Velocidade do vento	20
2.5. Evapotranspiração.....	21
3.0 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área de estudo	25
3.2 Organização e tabulação dos dados	26
3.3 Elementos meteorológicos avaliados.....	29
3.4 Estimativa da radiação solar líquida	32
3.5 Estimativa da evapotranspiração de referência	33
3.6 Análise dos resultados	34
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencionais e automáticas em municípios localizados no Estado do Piauí.....	36
4.1.1 Temperatura máxima	36
4.1.1.1 Período anual	37
4.1.1.2 Período chuvoso.....	38

4.1.1.3 Período seco	39
4. 1.2 Temperatura mínima.....	40
4.1.2.1 Período anual	40
4.1.2.2 Período chuvoso.....	42
4.1.2.3 Período seco	43
4.1.3 Temperatura média	44
4.1.3.1 Calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO	44
4.1.3.1.1 Período anual	44
4.1.3.1.2 Período chuvoso.....	46
4.1.3.1.3 Período seco	46
4.1.3.2 Calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pela INMET	47
4.1.3.2.1 Período anual	47
4.1.3.2.2 Período chuvoso.....	49
4.1.3.2.3 Período seco	50
4.1.4 Umidade relativa do ar.....	51
4.1.4.1 Calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pela FAO.....	51
4.1.4.1.1 Período anual	52
4.1.4.1.2 Período chuvoso.....	53
4.1.4.1.3 Período seco	54
4.1.4.2 Calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pelo INMET	55
4.1.4.2.1 Período anual	56
4.1.4.2.2 Período chuvoso.....	57
4.1.4.2.3 Período seco	57
4.1.5 Precipitação.....	58
4.1.6 Pressão atmosférica.....	60
4.1.6.1 Período anual	61
4.1.6.2 Período chuvoso.....	62
4.1.6.3 Período seco	62
4.1.7 Velocidade do vento	63
4.1.7.1 Período anual	64

4.1.7.2 Período chuvoso.....	66
4.1.7.3 Período seco.....	66
4.1.8 Radiação solar global.....	68
4.1.8.1 Período anual.....	68
4.1.8.2 Período chuvoso.....	69
4.1.8.3 Período seco.....	70
4.1.9 Radiação solar líquida.....	71
4.1.9.1 Período anual.....	72
4.1.9.2 Período chuvoso.....	73
4.1.9.3 Período seco.....	74
4.2 Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de elementos meteorológicos observados na EMC e na EMA.	75
4.2.1 Período anual.....	75
4.2.2 Período chuvoso.....	76
4.2.2 Período seco.....	77
4.3. Influência dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração de referência.....	78
5.0 CONCLUSÕES.....	81
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	95

RESUMO

RIBEIRO, AURELIANO DE ALBUQUERQUE. **Comparação entre dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas e estimativa da evapotranspiração de referência no Estado do Piauí.** 2015. 107p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal do Piauí, PI¹

O registro de elementos climáticos é efetuado por estações meteorológicas convencionais e automáticas. Porém, por questões operacionais e de custo, as estações automáticas estão substituindo as convencionais. Contudo, para que as séries de dados dessas estações sejam únicas, há a necessidade de estudos comparativos entre as duas estações. O estudo teve como objetivo geral comparar dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas em municípios do Estado do Piauí (Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri) e a evapotranspiração de referência (ET_o) estimada com esses dados. O estudo teve ainda como objetivos específicos: a) avaliar a influência do período chuvoso e seco na análise comparativa dos dados; b) avaliar diferentes metodologias de estimativa da temperatura e umidade relativa média do ar e c) verificar a influência dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração de referência. Os dados coletados foram divididos em três períodos: anual, seco e chuvoso. Os elementos meteorológicos avaliados foram: temperaturas do ar máxima (°C) mínima (°C) e média (°C), umidade relativa média do ar (%), velocidade do vento a 10 m ($m s^{-1}$), precipitação pluviométrica (mm) e pressão atmosférica média (hPa), radiação solar global ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), radiação solar líquida ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), com os quais estimou-se a ET_o ($mm dia^{-1}$) por Penman-Monteith. As comparações dos dados foram feitas por meio dos seguintes indicadores estatísticos: precisão (R^2), erro absoluto médio (EAM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d) e índice de confiança (c). Os melhores ajustes dos dados foram constatados para a precipitação e pressão atmosférica; intermediários, para a temperatura do ar, umidade relativa do ar média, radiação solar global e radiação solar líquida e os piores, para a velocidade do vento. A ET_o estimada com dados obtidos nas duas modalidades de estações apresentou pequena diferença nos municípios avaliados. Houve pequena variação na análise comparativa dos dados em relação aos períodos anual, chuvoso e seco. As diferentes metodologias utilizadas para estimar a temperatura e umidade relativa média do ar não exerceram influência na comparação dos dados. A umidade relativa do ar, radiação solar global e insolação foram os elementos meteorológicos que exerceram maior influência na estimativa na evapotranspiração de referência nos municípios avaliados.

Palavras-chave: Agrometeorologia, Penman-Monteith, Sensores, Automação de dados.

¹ Orientador: Aderson Soares de Andrade Júnior- Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil.

ABSTRACT

RIBEIRO, AURELIANO DE ALBUQUERQUE. **Comparison of meteorological data recorded by conventional and automatic stations and estimative reference evapotranspiration in the Piauí State, Brazil.** 2015. 107p. Dissertation (Masters in Agronomy: Soil and Plant Nutrition) – Federal University of Piauí, PI²

Climatic elements are recorded by both conventional and automatic weather stations. However, due to cost and operational issues, automatic stations are replacing the conventional. In order for data sets from these stations to be unique, there is a need for comparative studies between the two types of station. The general aim of this study was to compare meteorological data obtained by conventional and automatic stations in towns of the State of Piauí, Brazil (Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba and Piripiri), and the reference evapotranspiration (ET_o) estimated from those data. The study also had the following specific objectives: a) evaluate the influence of the dry and rainy season in comparative analysis of the data, b) assess different methodologies for estimating temperature and average relative humidity, and c) verify the influence of meteorological elements on estimations of the reference evapotranspiration. The collected data were divided into three periods: yearly, dry and rainy. The meteorological elements evaluated were: maximum (°C) minimum (°C) and average (°C) air temperature, average relative humidity (%), wind speed at 10 m (m s⁻¹), rainfall (mm) and average atmospheric pressure (hPa), global solar radiation (MJ m⁻² day⁻¹), and net solar radiation (MJ m⁻² day⁻¹), with which the ET_o (mm day⁻¹) was estimated, as per Penman-Monteith. Data comparison was by the following statistical indicators: precision (R²), mean absolute error (EAM), Pearson correlation coefficient (r), Willmott's index of agreement (d) and confidence index (c). The best data adjustment was for precipitation and atmospheric pressure, intermediate for air temperature, average relative humidity, global and net solar radiation, and the worst for wind speed. The ET_o, estimated from data obtained from the two types of station, showed little difference for the towns being evaluated. There was little variation in the comparative analysis of data in relation to the yearly, rainy and dry periods. The different methodologies used to estimate the temperature and average relative humidity had no influence on data comparison. The meteorological elements with the greatest influence when estimating the reference evapotranspiration in the towns being evaluated were relative humidity, global solar radiation and insolation.

Keywords: Agrometeorology, Penman-Monteith, Sensors, Automation of data.

²Adviser: Aderson Soares de Andrade Júnior- Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, Brasil

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Municípios, identificação das estações, coordenadas geográficas e período da análise comparativa dos dados meteorológicos das estações automáticas e convencionais do Estado do Piauí selecionadas para avaliação	26
Tabela 2. Número de dias com dados disponíveis para cada elemento meteorológico obtidos nas estações meteorológicas automáticas e convencionais usada no estudo, divididos em períodos anual, chuvoso e seco	28
Tabela 3. Elementos meteorológicos obtidos nas estações meteorológicas convencionais (EMC) e automáticas (EMA), com seus respectivos elementos sensores, sensibilidade e fabricante	29
Tabela 4. Formas de obtenção dos elementos meteorológico nas estações convencionais (EMC) e automáticas (EMA).....	31
Tabela 5. Valores anuais e sazonais dos coeficientes a e b da equação de Angström - Prescott para os municípios que compõem o estudo.	32
Tabela 6. Classificação das correlações de acordo com Hopkins (2000).....	35
Tabela 7. Critério de interpretação do desempenho pelo índice “c”, segundo Camargo e Sentelhas (1977)	35
Tabela 8. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura máxima do ar entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí	36
Tabela 9. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura mínima do ar entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí	41
Tabela 10. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia adotada pela FAO nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí	44
Tabela 11. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia adotada pela INMET nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí	48
Tabela 12. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	51
Tabela 13. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24	

observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela INMET nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí	55
Tabela 14. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico precipitação entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.....	59
Tabela 15. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico pressão atmosférica entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	60
Tabela 16. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico velocidade do vento (10 m de altura) entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	64
Tabela 17. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico radiação solar global entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	68
Tabela 18. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico radiação solar líquida entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	71
Tabela 19. Indicadores estatísticos para a análise de concordância dos dados de evapotranspiração de referência entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.....	75
Tabela 20. Correlação da ETo por Penman-Monteith com as variáveis meteorológicas temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (Vv), radiação solar global (Rs) e insolação (n) nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disposição de uma estação meteorológica automática em campo, conforme preconizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	11
Figura 2. Mapa identificando os municípios com as estações meteorológicas convencionais do INMET utilizadas no estudo.	25
Figura 3. Sensores meteorológicos presentes nas estações convencionais: termômetro de máxima (A), termômetro de mínima (B), termômetro de bulbo seco (C), termômetro de bulbo úmido (D), termohigrógrafo (E), sensor de velocidade (F) e direção do vento (G), heliógrafo (H), pluviômetro (I) e barógrafo (J).	30
Figura 4. Sensores meteorológicos presentes nas estações automáticas: radiômetro (A) e pluviômetro de balança (B), sensor de velocidade (C) e direção do vento (D), abrigo meteorológico (E) e sistema de armazenamento e transmissão dos dados (F).	30
Figura 5. Balanço hídrico para os municípios que compõem o estudo: Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	96
Figura 6. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período anual utilizando dados obtidos nas estações automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	98
Figura 7. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período chuvoso utilizando dados obtidos nas estações meteorológicas automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	99
Figura 8. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período seco utilizando dados obtidos nas estações meteorológicas automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	100
Figura 9. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período anual utilizando dados obtidos nas estações meteorológicas convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	101
Figura 10. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período chuvoso utilizando dados obtidos nas estações meteorológicas convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	102

Figura 11. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período seco utilizando dados obtidos nas estações meterológicas convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F)	103
Figura 12. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C) no município de Paulistana, PI	105
Figura 13. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C) em Picos, PI	105
Figura 14. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C) no município de São João do Piauí, PI	106
Figura 15. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C) no município de Floriano, PI	106
Figura 16. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C) no município de Piripiri, PI.....	107

1. INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com o aumento da população mundial, com a degradação dos recursos naturais e com a sustentabilidade da agricultura tem exigido maiores esforços no desenvolvimento de melhores estratégias e práticas do uso do solo e da água, a partir do melhor entendimento das relações entre a agricultura e o clima. Assim sendo, o desenvolvimento de tecnologias que auxiliem o planejamento e o processo de tomada de decisão, que resultem na redução dos impactos ambientais e no aumento da força da agricultura, tem sido um dos objetivos das instituições governamentais ligadas à agricultura, ao ambiente e aos recursos naturais (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009).

Entre os avanços tecnológicos desenvolvidos que tem possibilitado esse melhor planejamento e tomada de decisão, podemos destacar a automatização na coleta de dados meteorológicos, que tornou possível o monitoramento em tempo real de elementos meteorológicos tais como a temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, dentre outros, que influenciam direto e/ou indiretamente deste o plantio até a colheita.

Nesse contexto, o uso das estações meteorológicas automáticas vem aumentando a cada ano, fornecendo dados com melhor qualidade, o que facilita o seu uso, por exemplo, na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), reduzindo erros no cálculo da lâmina de irrigação. Nesse sentido, a tendência é que, com o passar dos anos, as estações meteorológicas convencionais sejam substituídas pelas automáticas.

No entanto, a substituição de uma estação meteorológica convencional (EMC) por uma automática (EMA), não é apenas um simples ato de troca. Há a necessidade de estudos comparativos entre os dois tipos de estações por determinado período de tempo, como forma de garantir a homogeneidade dos dados, transferindo confiabilidade da EMC (antiga) para a EMA (nova), para que essas séries possam ser consideradas como única (ALMEIDA, SOUZA e ALCÂNTARA, 2008).

Na literatura existem estudos comparando os dados meteorológicos obtidos entre as duas estações para vários municípios brasileiros. a destacar: Sentelhas (1998), em Piracicaba, SP; Cunha e Martins (2004), em Botucatu, SP; Oliveira et al. (2008), em Jaboticabal, SP; Pereira et al. (2008), em Londrina, PR; Magalhães (2008), em Lavras, MG, Vieira et al. (2010), em Mossoró, RN; Fraga Júnior et al. (2012), em Ouricuri, PE e Almeida e Hermenegildo (2012), em Areia, PB. No caso específico do

Estado do Piauí, à exceção do estudo executado por Carvalho (2014), em Teresina, PI, pesquisas sobre essa temática ainda são incipientes, justificando novos estudos comparativos entre as duas estações.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo geral, comparar dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas em municípios no Estado do Piauí, e a evapotranspiração de referência estimada com esses dados. O estudo teve ainda como objetivos específicos: a) avaliar a influência do período chuvoso e seco na análise comparativa dos dados; b) avaliar diferentes metodologias de estimativa da temperatura e umidade relativa média do ar e c) verificar a influência dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração de referência.

2.REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Monitoramento climático

As atividades relacionadas à agropecuária são bastante dependentes da qualidade do ciclo sazonal das chuvas, das oscilações de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar incidente, velocidade dos ventos e cobertura média de nuvens (MOURA e LORENZETTE, 2006).

Os elementos meteorológicos afetam não só os processos metabólicos das plantas, diretamente relacionados à produção vegetal, como também as mais diversas atividades no campo (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). Em torno de 80% da variabilidade da produção agrícola no mundo se deve à variabilidade das condições meteorológicas durante o ciclo de cultivo, especialmente para as culturas de sequeiro, já que os agricultores não podem exercer nenhum controle sobre esses fenômenos naturais (HOOGENBOOM, 2000).

Além de influenciar o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas, o clima afeta também a relação das plantas com microrganismos, insetos, fungos e bactérias, favorecendo ou não a ocorrência de pragas e doenças, o que demanda as medidas de controle adequadas. Muitas das práticas agrícolas de campo, como o preparo do solo, a semeadura, a adubação, a irrigação, as pulverizações, a colheita, entre outras, também dependem de condições de tempo e de umidade no solo específicas para que possam ser realizadas de forma eficiente (PEREIRA et al., 2002).

Didonet et al. (2002) estudando o efeito da radiação solar e da temperatura do ar na cultura do milho, verificaram que o número de grãos e a produtividade do milho foram determinadas pela temperatura do ar e radiação solar incidentes até o espigamento e que a maior produtividade da cultura foi obtida em épocas de semeadura que ocorreram as maiores relações possíveis entre a radiação solar e a temperatura do ar incidentes até o espigamento.

Os elementos meteorológicos são fundamentais ainda para a elaboração do balanço hídrico climatológico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo (PEREIRA, 2005). Diante das adversidades climáticas que ocorrem constantemente e da interferência negativa que essas causam na produção agrícola, o zoneamento agrícola de risco climático tem o objetivo de identificar as melhores épocas

de semeadura para minimizar perdas das lavouras (MAPA, 2008) e delimitar áreas aptas, marginais ou inaptas às culturas.

Ribeiro et al. (2014) ao elaborarem o balanço hídrico climatológico para o município de Bom Jesus, Sul do Estado do Piauí, concluíram que o município apresenta onze meses de deficiência hídrica no solo, chegando a 1404,54 mm ano⁻¹, concentrando nos meses de maio a novembro, o que demonstra que para se garantir altas produtividades e qualidade da produção agrícola no município, é necessário um planejamento do plantio, para que as fases de máxima exigência hídrica das culturas não coincida com estes meses de máxima deficiência de água no solo.

Andrade Júnior et al. (2009) delimitando as regiões com maior potencial climático e que oferecessem os menores riscos de frustração de safra para a cultura do algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí, concluíram que o comportamento dos elementos climáticos foi determinante para a definição do zoneamento de aptidão climática da cultura no Piauí, notadamente, a variabilidade espacial da precipitação anual ocorrida nos cenários pluviométricos. Independentemente do cenário pluviométrico, os municípios da região Sul e Sudoeste do Piauí, na região dos cerrados, apresentaram aptidão plena ao cultivo do algodoeiro herbáceo.

Efetando um zoneamento agroclimático para as culturas do milho e da soja no Estado do Piauí, Andrade Júnior et al. (2001) verificaram que a região do cerrado piauiense mostrou-se favorável para o cultivo de milho e de soja em diferentes combinações entre municípios, épocas de semeadura e tipo de solo. A cultura de milho superou a soja quanto a indicação de áreas com baixo risco climático.

O monitoramento climático contribui também para a proteção de vidas e meios de vida das pessoas, fornecendo aviso prévio contra riscos hidrometeorológicos como chuvas intensas, umidade relativa do ar muito baixas entre outros. Pode ajudar, também, no apoio às autoridades governamentais a prepararem-se para enfrentar riscos de doenças relacionadas com o tempo. As empresas de transporte na indústria da aviação, marítima, ferroviária e rodoviária precisam de dados meteorológicos e informações sobre o tempo específico a nível local, a fim de minimizar os riscos e tornar mais segura as operações (INAM, 2006).

2.2 Estações meteorológicas

A coleta de dados meteorológicos é feita através de estações meteorológicas, que podem ser convencionais (EMC) e automáticas (EMA). Os dados climáticos obtidos por essas estações são disponibilizados on-line e podem ser acessados gratuitamente, em tempo real, na página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), por meio do endereço eletrônico <http://www.inmet.gov.br>.

2. 2.1 Estações meteorológicas convencionais

Uma estação meteorológica convencional é composta de vários sensores isolados que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica do ar, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, insolação, direção e velocidade do vento, dentre outros), os quais são lidos e anotados por um observador meteorológico (INMET, 2015a).

Nas estações meteorológicas convencionais são realizadas três leituras diárias, sendo a primeira leitura às 9 horas, a segunda às 15 horas e a última às 21 horas. Após as leituras, os dados são corrigidos e transcritos para tabelas próprias (CARVALHO, 2014) e enviados para o centro coletor regional do INMET, situado em Recife-PE, que recebe os dados de todas as estações do Nordeste brasileiro, de onde são enviados para o centro coletor nacional, localizado em Brasília-DF. O órgão central em Brasília recebe os dados de todo o país e dos países da América do Sul, comunicando-os com o centro mundial localizado em Washington, nos Estados Unidos (DANTAS, CARVALHO e CASTRO NETO, 2003).

Os sensores encontrados nas estações meteorológicas convencionais para a obtenção dos elementos meteorológicos são os seguintes (DANTAS, CARVALHO e CASTRO NETO, 2003):

a) Termômetro de máxima: tem como elemento sensor, o mercúrio. Possui um estrangulamento na base do capilar de tal forma que o mercúrio consiga vencê-la quando se dilata pelo aumento da temperatura, mas não consegue retornar ao bulbo quando a temperatura diminui, assim a coluna de mercúrio permanece indicando o ponto máximo alcançado, ou seja, a temperatura máxima. Como a temperatura máxima ocorre, em geral, entre 14:00 e 16:00 horas, a leitura é feita à noite (21:00 h).

b) Termômetro de mínima: Tem como elemento sensor o álcool, possuindo um pequeno bastão de vidro (lembra um pequeno alfinete) na coluna capilar, dentro do álcool. Quando o álcool se contrai com o abaixamento da temperatura, estando o bastão de vidro encostado no menisco (interface álcool-ar), este (o bastão) é arrastado na direção do bulbo do termômetro pelo efeito da tensão superficial. Quando o álcool se dilata pelo aumento da temperatura, o bastão permanece agora imóvel, marcando a menor temperatura ocorrida no período. Após a leitura, que é realizada às 9:00 h, o termômetro deverá ser inclinado com o bulbo para cima para que o bastão permaneça junto ao menisco. Mesmo procedimento deve ser realizado na leitura das 15:00 h para assegurar que a leitura da mínima da próxima noite, não seja perdida. A leitura da temperatura mínima deve ser feita, portanto, sempre no bastão de vidro no lado oposto ao bulbo do termômetro.

c) Termohigrógrafo: destinado a registrar continuamente a temperatura do ar e umidade relativa do ar. O sensor de temperatura do ar é formado por uma placa bimetálica, cuja contração ou dilatação devida à variação da temperatura é transferida para uma pena por meio de um sistema de alavancas. O sensor de umidade relativa do ar é um feixe de fios de cabelo humano. Estes fios de cabelo em equilíbrio com a umidade do ar, contraem quando o ar está relativamente seco e expande quando úmido e, assim esta movimentação (expansão/contração) é transferida para uma pena por um sistema de alavancas. As penas, as quais contêm tinta em sua extremidade, registram sobre o termohigrograma as variações correspondentes de temperatura do ar e umidade relativa do ar;

d) Evaporímetro de Piche, que mede a evapotranspiração potencial do ar. É constituído de um tubo de vidro, fechado na extremidade superior, com cerca de 30 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro, instalado pendurado dentro do abrigo meteorológico e com a extremidade inferior tampada por um disco de papel de filtro fixado por uma presilha. O tubo é graduado em mm, de tal forma que a água evaporada a partir do papel de filtro poderá ser medida pela diferença de leitura de um dia para outro. As leituras são realizadas às 9:00 h e a quantidade de água evaporada é determinada pela diferença entre duas leituras consecutivas;

e) Psicrômetro, para leitura da temperatura de bulbo úmido e seco. É um conjunto de dois termômetros de mercúrio, simples (sem estrangulamento) instalados na posição vertical, sendo que um dos termômetros tem o seu bulbo envolto por uma “gaze” ou cadarço de algodão, cuja outra extremidade se encontra em um recipiente contendo

água, de tal forma que devido à ascensão capilar da água, o bulbo é mantido sempre úmido. As leituras são realizadas nos três horários diários;

O termômetro de máxima e mínima, evaporímetro de piche, psicrômetro e termohigrômetro ficam localizados em um abrigo meteorológico, construído de madeira, com venezianas duplas, teto duplo, pintado de branco, com a finalidade de preservar os elementos sensíveis dos sensores nele instalados, e protegê-los dos raios solares, de chuva e ventos fortes.

f) Heliógrafo, que mede o número de horas durante o dia que os raios solares atingem diretamente a superfície da Terra num determinado local. Possui uma lente esférica que concentra os raios solares em um ponto diametralmente oposto, queimando uma fita caso não existam nuvens à frente do sol. É instalado a cerca de 1,80 m da superfície e de tal forma que seu eixo fique paralelo ao eixo terrestre. A fita gráfica (heliograma) é substituída diariamente às 21:00 h;

g) Barógrafo, registra a pressão atmosférica do ar. Utiliza o princípio de Torricelli, com valor expresso em mmHg ou mb. Neste instrumento realizam-se as leituras, diariamente, durante os três horários;

h) Pluviômetro, para leitura da precipitação. Consiste de uma superfície de captação da água da chuva com área conhecida, semelhante a um funil, com recipiente para armazenamento e torneira para esgotar e medir a água armazenada. Expressa o volume (V) da água da chuva em litros e a área de coleta (A) em m², de cuja relação obtém-se a altura de lâmina d'água (h):

$$V = A \times h \therefore h \text{ (mm)} = \frac{V \text{ (litro)}}{A \text{ (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

A medição pode ser feita com a utilização de uma proveta graduada de acordo com a área de coleta ou fazendo-se a devida transformação para que o resultado seja expresso em mm ou L m⁻². A precipitação pluvial do dia advém do total acumulado pelas três leituras efetuadas durante o dia.

i) Pluviógrafo, a água da chuva é coletada e transferida para um recipiente que, ficando mais pesado, movimentará uma pena, registrando, além da quantidade, a intensidade e duração (início e término) da chuva. Quando o recipiente enche, será esgotado automaticamente por um mecanismo de sifão. No caso, o papel gráfico (pluviograma), desde que haja ocorrência de chuvas, é substituído diariamente às 9:00h;

j) Anemômetro, tem a finalidade de registrar a direção do vento por meio de uma seta ou veleta (apontando para o local de onde vem o vento) e a velocidade do vento durante

todo o dia, por meio das três conchas. Registra-se também a velocidade instantânea ou rajada de vento, pelo princípio do tubo de Venturi localizado no eixo da seta. Os sensores estão a 10 m de altura da superfície. O gráfico (anemograma) é substituído semanalmente, normalmente às segundas-feiras às 9:00 h;

k) Tanque Classe A usado para obtenção da evaporação. É um tanque de aço inoxidável de chapa galvanizada, com dimensões aproximadas de 25 cm de altura e 1,20 m de diâmetro, instalado sobre um estrado de madeira com 15 cm de altura. O tanque recebe água até cerca de 5 a 7 cm da borda superior. Possui ainda um poço tranquilizador e um micrômetro de gancho para se efetuar as leituras do nível de água. A leitura é realizada às 9:00 h e a evaporação calculada em altura de lâmina d'água (mm) por diferença entre duas leituras consecutivas.

Além das observações com o auxílio de aparelhos, conforme mencionados acima, algumas dependem unicamente do observador, tais como: visibilidade; nebulosidade; ocorrências diversas, como granizo, geadas, tipos de nuvens, entre outras.

Diante da tendência mundial de modernização da coleta dos dados, as estações meteorológicas convencionais com sua longa série de dados, estão sendo substituídas por estações meteorológicas automáticas. Estas pela facilidade de obtenção de dados em tempo real e de transmissão de dados sem a intervenção humana facilitam o monitoramento do tempo e a tomada de decisões nas mais diversas atividades humanas (RAMOS et al., 2008).

Atualmente, há no país 270 estações meteorológicas convencionais operadas pelo INMET. O Estado do Piauí possui nove EMC em operação no seu território, localizadas nas cidades de Bom Jesus, Caracol, Floriano, Parnaíba, Paulistana, Picos, Piri-piri, São João do Piauí e Teresina. A primeira EMC no Estado foi aberta em 1911, na cidade de Teresina (INMET, 2015a).

2.2.2 Estações meteorológicas automáticas

As estações meteorológicas automáticas (EMA) coletam, a cada minuto, as informações meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, direção e velocidade dos ventos e radiação solar global) representativas da área em que está localizada. A cada hora, estes dados são integralizados e disponibilizados para serem transmitidos, via satélite ou telefonia celular, para a sede do INMET, em Brasília. Além disso, o conjunto dos dados

recebidos é validado e armazenado em um banco de dados. Os dados são disponibilizados gratuitamente na internet (http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php) para os diversos tipos de interesse do público em geral e para uma vasta gama de aplicações em pesquisa em meteorologia, irrigação, hidrologia e oceanografia (INMET, 2011).

Neste sentido, as estações meteorológicas automáticas apresentam uma série de vantagens: funcionam sem supervisão por longos períodos de tempo, mesmo em localizações de difícil acesso e inóspitas; garantem maior confiabilidade, devido às sofisticadas tecnologias e técnicas de medição em que se baseiam; asseguram a homogeneidade das redes meteorológicas utilizando técnicas de medição padrão; reduzem os erros humanos; baixam os custos operacionais reduzindo os números de observadores meteorológicos e permitem efetuar medições e relatórios das mesmas, com elevada frequência. As principais desvantagens das EMAs são o fato de não poderem ser feitas, de forma automática, medidas de determinados elementos meteorológicos, tais como a nebulosidade e o fato de, sobretudo inicialmente, ser necessário efetuar um grande investimento capital (VILARINO, 2009).

Os tipos mais utilizados de sensores de temperatura presente nas estações meteorológicas automáticas são os termômetros de resistência de platina, os termistores e os termopares. Os dois primeiros são baseados no princípio da variação de uma resistência elétrica com a temperatura do ar, enquanto que, nos circuitos termoeletrônicos, há a geração de uma pequena diferença de potencial entre dois metais diferentes, formando-se assim um circuito baseado na diferença de temperatura entre as duas junções. Para a umidade relativa do ar e pressão atmosférica, os sensores capacitivos são os mais utilizados, por apresentar custo reduzido, boa precisão e estabilidade temporal (MARIN, 2005).

Os anemômetros normalmente utilizados em estações meteorológicas automáticas são os de canecas, geralmente em número de três, girando em torno de um eixo vertical. Este tipo de anemômetro quantifica o vento em todas as direções, o que, algumas vezes, pode levar a superestimativa da velocidade do vento horizontal em alguns pontos percentuais nas situações que há forte movimento convectivo (MARIN, 2005).

Os pluviômetros de balança são os mais utilizados em estações meteorológicas automáticas devido ao seu baixo custo e à sua simplicidade, permitindo a determinação tanto da altura de precipitação quanto da intensidade (SEIBERT e MORÉN, 1999). Os erros associados à resolução de medida do pluviômetro são os mais comuns e sua

origem reside na dificuldade do sensor em computar chuvas intensas e em sensores com grande área de captação (SENTELHAS e CARAMORI, 2002). No processo de registro da chuva, no intervalo de tempo em que a báscula está em movimento, certo volume não é adequadamente conduzido ao recipiente que se eleva, havendo assim uma altura pluviométrica. Esse tipo de erro tende a ser maior conforme aumenta a intensidade da chuva, dado que o movimento da báscula ocorre com maior frequência. Pluviômetros com resolução de 0,1 mm apresentam maior chance de erros deste tipo do que aqueles com 0,2 mm de resolução (MARIN, 2005).

A radiação solar  medida por um sensor designado piranmetro. Nas estações meteorológicas automáticas, os piranmetros mais comuns utilizados são os constituídos por termopilhas – detectando a elevação da temperatura como efeito da incidência de radiação – e por fotodiodos de silício, um tipo de célula fotoelétrica. O fotodiodo de silício, quando exposto  radiação, produz uma pequena corrente elétrica que é convertida numa diferença de potencial ao passar por uma “ponte”. Os procedimentos de calibração dos sensores Li-Cor asseguram que, para as mais variadas condições de tempo, os erros não superam os 3%, chegando a um máximo de 5% sob condições extremas de operação (MARIN, 2005).

Uma estação meteorológica automática (EMA) deve ser instalada em uma área gramada fechada com um cercado de tela metlica de 14m x 18m e um mínimo de 50 m² livre de efeitos de construções ao seu redor e protegida contra roubo e vandalismos (INMET, 2011), conforme visualizado na Figura 1.

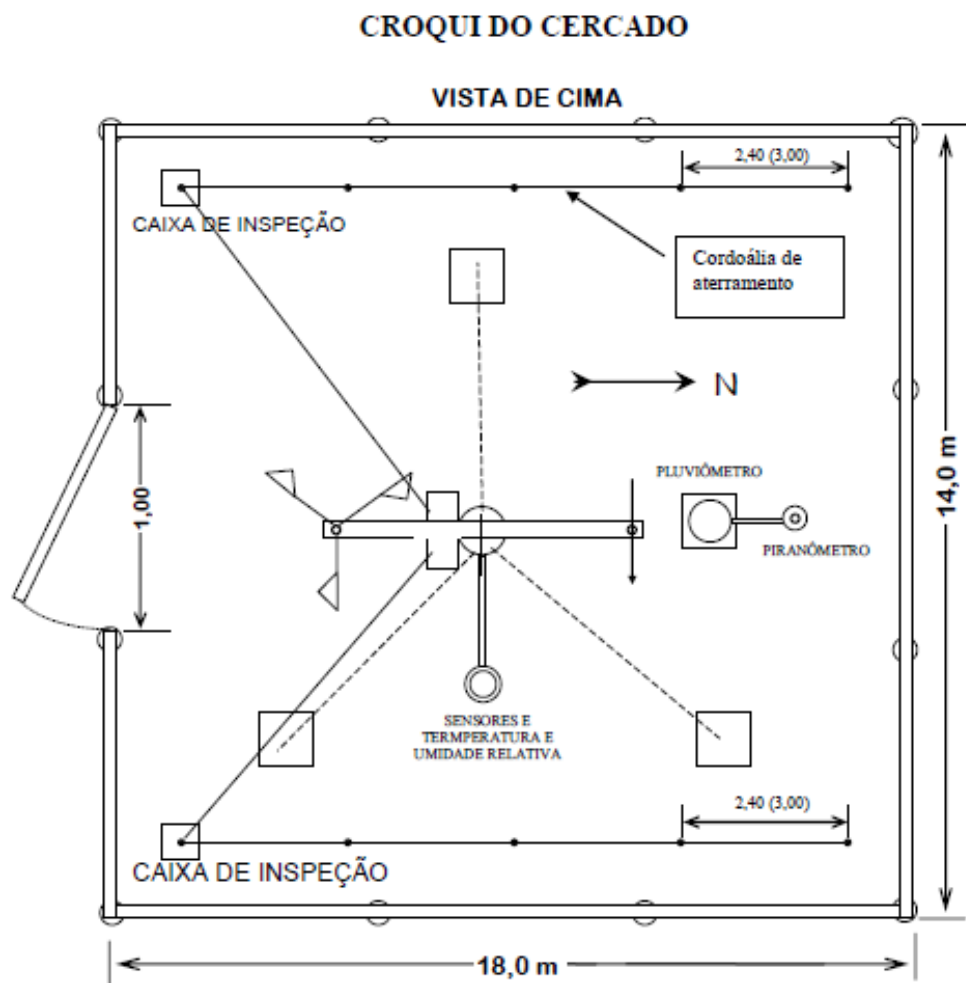


Figura 1. Disposição de uma estação meteorológica automática em campo, conforme preconizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Fonte: INMET (2011).

As estações meteorológicas automáticas (EMA) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET começaram a entrar em operação no Brasil no ano 2000, com a instalação das cinco primeiras nas cidades de Brasília, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Manaus e Salvador. Desde então, a rede de EMAs vem aumentando a cada ano (MELO et al., 2008).

Atualmente, há no país 478 estações meteorológicas automáticas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia. O Estado do Piauí apresenta 19 EMA em operação no seu território, localizadas nas cidades de Alvorada, Bom Jesus, Canto do Buriti, Caracol, Castelo do Piauí, Esperantina, Floriano, Gilbués, Oeiras, Parnaíba, Paulistana, Picos, Piripiri, São João do Piauí, São Pedro do Piauí, São Raimundo Nonato, Teresina, Uruçuí e Valença do Piauí. A primeira EMA no Estado foi aberta em 2003, na cidade de Parnaíba, enquanto que a última foi em Canto do Buriti, no ano de 2010 (INMET, 2015b).

2.3 Comparação de dados obtidos por estações convencionais e automáticas

Antes da substituição total de uma estação convencional por uma automática, é necessário a realização de estudos comparativos entre os dados obtidos nas duas estações, por um período representativo, como forma de homogeneizar a nova série com a antiga, e transferir confiabilidade de uma para a outra, a fim de torná-la uma série única de dados (SENTELHAS et al., 1997). Em virtude disso, vários pesquisadores conduziram estudos comparando dados meteorológicos obtidos nas duas estações.

Sentelhas (1998) além de comparar dados obtidos por estações meteorológicas automática (EMA) e convencional (EMC) em Piracicaba, SP, comparou também as estimativas de evapotranspiração de referência por diferentes métodos. Na comparação de dados meteorológicos obtidos na EMC e na EMA, observou boa concordância entre os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar, diferentemente dos dados de velocidade do vento e radiação líquida, que observou baixa exatidão e tendência a subestimação dos dados. Em relação à estimativa da ETo, houve tendência a melhores resultados a partir de dados da EMA em relação à EMC, devendo-se este fato à subestimativa da radiação líquida (Rn) na EMC.

Cunha e Martins (2004) em Botucatu, SP, compararam dados de temperaturas do ar, máxima e mínima, umidade relativa do ar 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 convencionais (EMC) com as da automática (EMA). Verificaram que, com exceção da velocidade do vento ($R^2 = 0,3296$), os valores encontrados de R^2 indicaram boa concordância entre a EMC e a EMA para os demais elementos meteorológicos analisados. Observaram-se altos valores de coeficientes de determinação (R^2), de 0,9895 para temperatura máxima, 0,9703 para temperatura mínima, 0,9533 para temperatura mínima, 0,9537 para umidade relativa média, 0,9750 para precipitação e de 0,9318 para radiação solar global.

Magalhães (2008) comparando dados meteorológicos obtidos de estação automática com aqueles obtidos em estação convencional e também diferentes modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) com o modelo padrão (Penman-Monteith-FAO), para a região de Lavras, MG, obteve boas aproximações entre os elementos climáticos pelas estações automáticas e convencionais. Houve pequena diferença na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO, quando comparada com a estimativa da evapotranspiração de

referência a partir dos elementos climáticos obtidos pela estação meteorológica convencional. Em virtude disso, o autor recomenda a utilização dos dados obtidos da estação automática em pesquisas.

Pereira et al. (2008) também realizaram um estudo comparativo entre os elementos meteorológicos monitorados por estação convencional e automática em Londrina, PR. Observaram que a temperatura mínima foi o elemento que apresentou a melhor correlação das medidas entre o sensor automático e convencional, com boa precisão ($R^2= 0,9947$) e exatidão ($a= -0,113$ e $b= 1,0074$). A temperatura máxima diária apresentou uma boa exatidão ($a= 0,1962$ e $b= 0,9966$) e a segunda melhor precisão ($R^2= 0,9925$) e concordância ($d= 0,991$). A umidade relativa média foi o elemento analisado que mostrou as maiores diferenças entre a EMC e EMA, apresentando os maiores erros aleatórios e sistemáticos, devido à discrepância encontrada nos dados.

Magalhães (2008) comparando dados meteorológicos obtidos de estação automática com aqueles obtidos em estação convencional e também diferentes modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) com o modelo padrão (Penman-Monteith-FAO), para a região de Lavras, MG, obteve boas aproximações entre os elementos climáticos pelas estações automáticas e convencionais. Houve pequena diferença na estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO, quando comparada com a estimativa da evapotranspiração de referência a partir dos elementos climáticos obtidos pela estação meteorológica convencional. Em virtude disso, o autor recomenda a utilização dos dados obtidos da estação automática em pesquisas.

Oliveira et al. (2010) em Jaboticabal-SP, comparando dados meteorológicos obtidos em estações meteorológicas automáticas e convencionais, obtiveram boa concordância entre as estações, principalmente para as temperaturas média, mínima e máxima e a precipitação. Porém, para umidade relativa do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento mostraram piores relações e maiores erros médios com R^2 variando de 0,74 a 0,99.

Em Mossoró, RN, Vieira et al. (2010) realizaram a comparação entre dados meteorológicos obtidos nas estações automáticas e convencionais, encontrando boa concordância entre as estações meteorológicas, principalmente para as temperaturas máximas, médias e mínimas. A substituição da estação meteorológica convencional pela estação meteorológica automática não resultará em diferenças significativas em seus valores. A umidade relativa do ar foi o elemento com os maiores erros.

Queiroz et al. (2012) compararam estação meteorológica convencional e automática na estimativa da ETo em Ouricuri, Pernambuco. Concluíram que o uso dos dados obtidos pela estação meteorológica convencional permite a estimativa da ETo pela equação de Penman-Monteith com precisão suficiente para fins de manejo da irrigação.

Almeida e Hermenegildo (2013) em Areia, PB, também comparando dados das duas estações, concluíram que as análises estatísticas entre os dados instantâneos e/ou das médias diárias de temperatura do ar, umidade relativa do ar 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, estreita relação existente entre si, o que garante a continuidade da série histórica, ou seja, a substituição da EMC pela EMA.

Carvalho (2014) comparando dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencionais e automáticas em Teresina, PI, observou que a temperatura máxima foi a variável que apresentou a melhor correlação entre as medidas do sensor automático e convencional, com alta índice de desempenho ($d=0,9994$), alta precisão ($R^2=0,9450$). Em contrapartida, a velocidade do vento foi a que apresentou piores índices de desempenho, apresentando baixa precisão ($R^2 = 0,3293$).

A partir das pesquisas referenciadas acima, verifica-se que a concordância dos elementos meteorológicos comparados entre as duas estações varia de local para local, em virtude das diferentes condições de calibração dos sensores, bem como das próprias condições climáticas locais. Nesse sentido, os estudos sobre a temática abordada devem ser realizados especificamente para cada local em que as estações estejam instaladas, para que se possa recomendar ou não com precisão, a substituição da convencional pela automática.

No caso específico do Estado do Piauí, à exceção do estudo executado por Carvalho (2014) para a cidade de Teresina, estudos sobre essa temática ainda são incipientes, havendo a necessidade de novos estudos comparativos entre as duas modalidades de estação meteorológica.

2.4 Elementos meteorológicos e sua influência no ambiente agrícola

Os principais elementos meteorológicos que influenciam no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas são temperatura do ar, chuva e radiação solar (HOOGENBOOM, 2000), havendo ainda a influência do fotoperíodo, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (PEREIRA et al., 2002; MAVI e TUPPER, 2004).

2.4.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar é um elemento ambiental de grande importância agrícola, pois exerce influência sobre diversos processos vitais das plantas, tais como fotossíntese, respiração e transpiração, portanto no crescimento vegetal e, sobre os estádios de desenvolvimento das culturas (LUCCHESI, 1987), existindo faixas limite para cada cultura, determinando a possibilidade ou sazonalidade da produção (STRASSBURGER et al., 2011). Vários autores citam que elevadas temperaturas do ar interferem na absorção de CO₂, na distribuição de fotoassimilados, na produção de biomassa e no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos (PEREIRA et al., 1997; ANDRIOLO, 1999; TAIZ e ZEIGER, 2004). Isso faz com que a temperatura seja a principal variável meteorológica a ser considerada nos zoneamentos agroclimáticos, juntamente com a precipitação (CAMARGO et al., 1974, 1977).

Diversos trabalhos têm buscado identificar a influência da temperatura do ar sobre o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Em estudo realizado por Silva et al. (2011), avaliando efeito do aumento e diminuição da temperatura do ar na produtividade real do milho em Sete Lagoas, MG, observaram que a redução em 10% nos valores de temperatura do ar provocou, em média, um aumento da produtividade aproximada de 6.500 kg ha⁻¹ para valores maiores que 10.000 kg ha⁻¹.

Avaliando o rendimento da soja sob diferentes condições de temperatura do ar, Ferreira et al. (2007) observaram que a temperatura exerceu influência sobre todas as fases do ciclo da cultura. As menores temperaturas implicaram em maiores períodos vegetativos. Para decréscimo de 1°C na temperatura houve um atraso de três dias no início do florescimento. Houve um aumento inicial mais acentuado no índice de área foliar (IAF) para os valores de temperatura superiores ao normal, reduzindo-se logo em seguida. Para menores valores de temperatura, o aumento do IAF foi menos acentuado

no início; todavia, atingiram valores mais altos. Os valores da produtividade de grãos foram reduzidos, para temperaturas menores e, praticamente, não variaram para temperaturas maiores.

Bastos et al. (2000) constataram por meio de simulações que, em Teresina, PI, quando o plantio de feijão-caupi ocorre a partir de meados do mês de agosto, há uma redução significativa da produtividade de grãos, devido ao abortamento de flores, pela ocorrência de elevada temperatura do ar durante o florescimento. Assim, o plantio de caupi para o cultivo irrigado deve se restringir até o mês de julho no município.

Na cultura do sorgo, Sans (2009) verificaram que temperaturas do ar inferiores a 10°C causaram redução da área foliar, do enraizamento, da altura da planta, acumulação de matéria seca e atrasa o fechamento dos estômatos. A temperatura mínima para que a maioria das cultivares de sorgo realize todos seus processos fisiológicos, normalmente, é 16 °C.

Na cana-de-açúcar, para a germinação dos toletes, as temperaturas devem variar de 26° C a 33° C. E temperaturas abaixo dos 13° C ou superiores a 40° C a germinação cessa. Na fase de crescimento as raízes em temperaturas abaixo dos 21° C reduzem seu crescimento; as folhas entre temperaturas de -5° C a -2,2° C ocasionam graves prejuízos ou morte das folhas; nos colmos temperaturas entre -1° C e -3,3° C ocorrem à morte da gema apical, desta forma temperaturas superiores a 20° C favorece o crescimento dos entrenós (CRISPIM, 2006).

A temperatura do ar atua também no processo de evapotranspiração, devido ao fato de que a radiação solar absorvida pela atmosfera e o calor emitido pela superfície cultivada, elevam a temperatura do ar. O ar aquecido próximo às plantas, transfere energia para a cultura na forma de fluxo de calor sensível, aumentando as taxas evapotranspiratórias. Além disso, a temperatura interfere na atividade fotossintética das plantas, por que este fenômeno envolve reações bioquímicas, cujos catalisadores, as enzimas, são dependentes da temperatura para expressar sua atividade máxima (TEIXEIRA e LIMA FILHO, 2004).

As temperaturas extremas (máximas e mínimas) estão associadas a outras variáveis meteorológicas, como: disponibilidade de energia solar, nebulosidade, umidade do ar e do solo, vento (direção e velocidade) e a parâmetros geográficos como topografia, altitude e latitude do local, além da cobertura e tipo de solo (OMETTO, 1981; PEREIRA et al., 2002).

2.4.2 Precipitação

Uma das principais variáveis meteorológicas que afeta o crescimento e desenvolvimento e produtividade das culturas é a precipitação (FERREIRA, 2005). As chuvas afetam a disponibilidade hídrica dos solos, que por sua vez influencia a absorção de água pelas raízes e o status hídrico das culturas. Em períodos de pouca chuva, a seca induz as plantas a fecharem seus estômatos e assim a fixarem menos CO₂, afetando negativamente a fotossíntese. Por outro lado, períodos com chuvas excessivas levam à redução da oxigenação dos solos, reduzindo a atividade radicular, ou seja, a absorção de água e nutrientes. Tanto a falta de água quanto o encharcamento dos solos levam à redução da produtividade das culturas (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009).

Avaliando a influência da precipitação sobre a produtividade da soja no município de Diamantino, MT, durante o período de 1977/1978 a 2008/2009, Ferreira et al. (2011) verificaram que os anos em que as produtividades foram médias e altas foram aqueles que apresentaram valores de precipitação acima de 800 mm. Nos anos em que as produtividades foram baixas, o total de precipitação foi abaixo de 800 mm em todo ciclo da soja. Portanto, para os anos de alta produtividade da soja, a precipitação esteve acima da média regional. De forma inversa, nos de baixa produtividade, esteve abaixo da média regional, ficando evidente que um dos principais fatores responsáveis pela produtividade da cultura é a precipitação.

Santos e Ribeiro (2002) observaram que o veranico (intervalos de dias com deficiência hídrica durante a estação chuvosa), ocorrido principalmente no mês de fevereiro, no ano agrícola de 1980/1981, contribuiu decisivamente para a obtenção de baixa produtividade das culturas do arroz, milho e soja no município de Coromandel, MG

Valio et al. (2002) constataram que o decréscimo da importância das atividades agrícolas na região de Presidente Prudente e do Pontal do Paranapanema, SP, estavam associadas, de um lado à grande variabilidade das chuvas que determina cerca de 60% da produção e, de outro, aos aspectos ligados à infraestrutura, custo de produção e comercialização.

Em outro estudo, Silva e Souza (2012) elaboraram uma análise sobre a influência do regime pluvial na primavera-verão de 2005/2006, relacionando estas informações com os dados quantitativos de produtividade para os 10 maiores municípios produtores de soja no Estado do Tocantins. Os resultados obtidos demonstraram que os meses de

outubro e janeiro foram muito secos e o mês de março foi chuvoso o qual influenciou na perda de produtividade de soja em cinco dos maiores municípios produtores do Tocantins.

É importante salientar que não somente os totais precipitados durante o ciclo fenológico das culturas são suficientes para se garantir produtividades satisfatórias, mas é importante considerar também, a distribuição das precipitações ao longo do ciclo, uma vez que as culturas requerem uma quantidade de água diferenciada ao longo de seu ciclo, devendo ser suprida adequadamente.

2.4.3 Radiação solar

A radiação solar é um dos elementos meteorológicos mais importantes na produção agrícola, pois afeta diretamente a evapotranspiração das culturas. É a fonte de energia para muitos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre, sendo fundamental no processo fotossintético, como energia disponível para aquecimento do ambiente e para as mudanças do estado físico da água, e ainda na definição da necessidade hídrica das culturas. Em condições de clima quente e seco, a utilização da irrigação se torna necessária para suprir a demanda por água e não afetar de forma negativa a produção de alimentos. (TANAKA, 2013).

A radiação fotossinteticamente ativa corresponde à faixa da radiação solar utilizada pelas plantas no processo de fotossíntese, que representa uma fração de 45% da radiação global (STEIDLE NETO et al., 2008). O valor limite de radiação solar estabelecido pela FAO (1990) e que permite, à planta, seu pleno crescimento, é de $8,4 \text{ MJ m}^{-2}$. Para a maioria das hortaliças, como o tomateiro, esse nível é de aproximadamente $8,4 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$, considerado como nível em que a planta produz o mínimo de fotoassimilados necessários à sua manutenção (BECKMANN et al., 2006).

Grossi et al. (2011) analisaram a influência da radiação solar e da temperatura do ar nos valores de produtividade potencial da cultura do milho, a partir de simulações realizadas para as condições de Sete Lagoas no Estado de Minas Gerais. Os autores constataram que no ano de máxima produtividade, a radiação solar global acumulada antes do enchimento dos grãos foi 16,85% maior em relação ao ano de mínima produtividade.

Na cultura da soja, a disponibilidade e aproveitamento da radiação solar são fatores determinantes na produtividade final de grãos. Entretanto, por ser uma espécie

C₃, não é tão eficaz no aproveitamento da energia solar quando comparada com as espécies C₄, compostas por algumas espécies competidoras por luz, nutrientes e água durante o seu ciclo de cultivo (CASAROLI et al., 2007).

Na cana-de-açúcar, com elevadas taxas de radiação, os colmos são mais grossos e curtos, as folhas são mais longas e verdes e o perfilhamento é mais intenso. Em condições de baixa radiação, os colmos são mais finos e longos e as folhas são mais estreitas e amarelas (RODRIGUES, 1995). Quanto maior a quantidade luminosa, mais fotossíntese será realizada pela cultura e, logicamente, maior o seu desenvolvimento e acúmulo de açúcares (BARBIERI, 1981).

Comparando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para os perímetros irrigados Califórnia, Jabiberi, Jacarerica e Piauí, localizados no Estado do Sergipe, Sousa et al. (2010) concluíram que os métodos de estimativa da evapotranspiração que incorporam o saldo de radiação solar foram os que apresentaram os valores mais próximos daqueles obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith.

2.4.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar atua de forma indireta sobre as culturas, ao afetar o poder evaporante do ar, condicionando a transpiração. Ambientes muito secos levam a um aumento excessivo na transpiração da maioria das plantas. Em outros casos, porém, pode provocar danos indiretos resultantes de desordens fisiológicas. Além desses aspectos, seu efeito sobre a interação entre as plantas e microrganismos também é muito importante, especialmente com fungos e bactérias, causadores de doenças. Em condições de alta umidade, onde a duração do período de molhamento foliar é mais prolongada, há o favorecimento da ocorrência de doenças que afetam o desempenho das culturas, reduzindo a quantidade e a qualidade dos produtos agrícolas (SENTELHAS, 2004).

O oídio, uma das principais doenças foliares da melancia e de outras cucurbitáceas, ocorre em praticamente todos os locais onde a melancia é cultivada, sendo mais limitante nos locais em que predominam condições de altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar durante a época de cultivo. Alta umidade relativa é favorável à infecção e sobrevivência dos conídios, entretanto, a infecção pode ocorrer

em umidade de até 50%. Condições de clima seco favorecem a colonização, a esporulação e a dispersão do fungo (TERÃO et al., 2010).

Para a cultura do milho, valores de umidade relativa do ar superiores a 70% são um dos requerimentos básicos exigidos durante a floração e enchimento dos grãos (FANCELLI e DOURADO, 2000; ALVES, 2001).

Na cultura da soja, a escassez de umidade pode reduzir a taxa de crescimento, a fotossíntese, a fixação de nitrogênio e conseqüentemente reduzindo todo o metabolismo da planta. Contudo a falta de umidade é mais danosa nos estádios de germinação e florescimento. No florescimento a baixa umidade do ar promoverá o abortamento às flores, reduzindo os componentes de produção das plantas de soja e comprometendo, assim, sua produtividade primária (COSTA et al., 2001). Não diferente, o excesso de umidade, principalmente na fase próxima a maturação, pode prejudicar o amadurecimento dos grãos. Runge e Odell (1960) demonstraram que a soja é mais sensível ao estresse de umidade durante o crescimento vegetativo e o período de enchimento de grãos.

2.4.5 Velocidade do vento

A velocidade do vento é uma variável que afeta indiretamente as culturas. Sua influência pode ser positiva ou negativa, dependendo de sua velocidade (SENTELHAS e MONTEIRO, 2009). Em velocidades baixas a moderadas, o vento contribui para a renovação do suprimento de CO₂ e para a manutenção da transpiração das plantas. No entanto, em velocidades excessivas, o vento é responsável pelo aumento demasiado da transpiração das plantas, levando ao fechamento dos estômatos, à redução do número de folhas e da área foliar, resultando em queda brusca da fotossíntese. Além disso, ventos intensos provocam danos mecânicos nas plantas, como acamamento, queda de folhas e quebra de galhos e troncos (PEREIRA et al., 2002).

Borges e Souza (2004) relataram que as perdas por danos causados pelo vento, em bananicultura, podem ser estimadas em 20 a 30%. Ainda segundo os autores, a maioria das variedades suporta ventos de até 40 km h⁻¹. Acima desse valor, a cultura já sofre com danos parciais e até mesmo totais. Porém, para as variedades de menor porte que toleram ventos mais fortes, isso mostra que quanto mais alta a cultura, maiores são os efeitos prejudiciais do vento.

Caramori et al. (1986) estudando os efeitos do vento em mudas de cafeeiro Mundo Novo e Catuaí Vermelho, observou uma redução significativa da altura, área foliar, comprimento de internódios e matéria seca, quando as plantas foram submetidas a ventos com velocidades superiores a 2 m s^{-1} ($7,2 \text{ km h}^{-1}$).

O vento em excesso causa também deriva durante a aplicação de defensivos agrícolas, prejudicando a qualidade da aplicação e ocasionando perdas do produto aplicado. Pouco vento (velocidade $< 2 \text{ km h}^{-1}$) não permite uma adequada redistribuição das gotas da calda sobre a folhagem e pode ocasionar perdas por inversão térmica. Sendo assim, o vento pode interferir negativamente ou positivamente em uma aplicação. Na impossibilidade de postergar uma aplicação, sob condições de vento excessivo, a utilização de gotas de categorias grossas a extremamente grossas pode ser uma solução, porém, isso vai depender das exigências do produto a ser aplicado (BOLLER et al., 2007).

A velocidade do vento afeta ainda a eficiência de sistemas de irrigação por aspersão, na medida em que, influencia a uniformidade de distribuição de água aplicada (PEREIRA, 1992). Já o sistema de irrigação em pivô central, que permite uma distribuição de água de maneira relativamente homogênea, gera um gradiente de temperatura e umidade do ar e do solo em relação às áreas próximas não irrigadas, estabelecendo um microclima mais úmido (PRATES, 1997).

Azevedo et al. (2000) avaliando a influência da velocidade do vento sobre a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão, no Norte Fluminense, RJ, constataram que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) diminuiu com o aumento da velocidade do vento.

2.5 Evapotranspiração

A evapotranspiração corresponde à água removida da superfície e perdida para a atmosfera. Este fenômeno ocorre devido à combinação de dois processos através dos quais a água é perdida pela superfície: por evaporação e por transpiração (KLOCKE et al., 1996). A evaporação, segundo definição de Allen et al. (1998), é o processo através do qual a água é convertida da fase líquida para a fase de vapor (vaporização), removendo-a de superfícies evaporantes como oceanos, lagos, rios, pavimentos, solos e vegetação úmida (evaporação do orvalho e da chuva interceptada pela copa das árvores). A transpiração é a água transferida ou perdida pela vegetação

para a atmosfera, a partir de pequenos orifícios da superfície das folhas, estômatos, ou através de pequenas perdas pelas lenticelas no caso das plantas lenhosas (PEREIRA et al., 2002).

A evapotranspiração é um termo bastante estudado devido à sua importância para a estimativa do consumo de água pelas plantas. É controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. O consumo de água pelas culturas é denominado de evapotranspiração da cultura (ET_c), também conhecida como evapotranspiração máxima (ET_m). A ET_c pode ser medida diretamente por meio de equipamentos denominados de lisímetros, porém os mesmos apresentam altos custos, sendo restrito o seu uso à pesquisa (PEREIRA et al., 1997). Em virtude disso, a ET_c é comumente estimada pelo produto entre o coeficiente de cultura (K_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) (FERREIRA, 2010).

Os valores de K_c representam a utilização de água por uma cultura específica e são necessários para a estimativa precisa das necessidades de irrigação de diferentes culturas em uma dada área (KASHYAP e PANDA, 2001). O coeficiente de cultura (K_c) pode ser determinado pela razão entre a evapotranspiração medida do cultivo (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) (DOORENBOS e KASSAN, 1994; DOORENBOS e PRUITT, 1977; ALLEN et al., 2006). Os valores de K_c variam com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento e com o método de estimativa da ET_o (PEREIRA et al., 1997).

A evapotranspiração de referência (ET_o), é considerado como a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberto com vegetação rasteira, em fase de desenvolvimento ativo, e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva local (THORNTHWAITE, 1948). Segundo Bernardo et al. (1996), a evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser determinada por métodos diretos e indiretos. O método direto é baseado na utilização de lisímetros, que apesar de apresentar ótimos resultados, o seu uso é restrito pelos motivos anteriormente citados. Os métodos indiretos oferecem a estimativa da ET_o por meio de equações, desde as mais simples, como as baseadas na temperatura, (Thornthwaite, 1948 e Hargreaves e Samani, 1985), até as mais complexas, que envolvem o balanço de energia ao nível das plantas, como o método de Penman-Monteith (MEDEIROS, 2002).

Comparando diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no período anual, chuvoso e seco, na cidade de Piripiri PI, Ribeiro et al. (2014) concluíram que o método de Hargreaves e Samani foi o que apresentou melhor desempenho nas três escalas de tempo. Em Floriano, PI, Simeão et al. (2014) verificaram que os métodos Jensen-Haise e Ivanov foram os que apresentaram melhores desempenhos.

Ferreira (2010) determinou a evapotranspiração (ETc) e os coeficientes de cultura (Kc) da melancia irrigada por gotejamento, em Alvorada do Gurguéia, no Estado do Piauí. A evapotranspiração média da cultura medida, nos lisímetros, para as fases inicial, de crescimento, intermediária e final foram, respectivamente: 2,10 mm dia⁻¹; 5,16 mm dia⁻¹; 9,21 mm dia⁻¹ e 6,94 mm dia⁻¹. Os valores do coeficiente de cultura determinados, utilizando-se a evapotranspiração média medida nos lisímetros e a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO-56, para os estádios inicial, intermediário e final foram, respectivamente: 0,44; 1,51 e 1,28.

Em Teresina, PI, Simeão et al. (2013) determinaram a evapotranspiração da cultura e o coeficiente de cultivo do feijão-fava, pelo método de lisimetria, em ambiente protegido. A evapotranspiração da cultura do feijão-fava foi de 248,9 mm para todo o ciclo, correspondente um valor médio de 2,46 mm dia⁻¹. O Kc da cultura apresentou valor mínimo de 0,87, no início do desenvolvimento vegetativo, e máximo de 1,55 durante a frutificação, com 1,38 no final do ciclo.

Segundo Allen et al. (1998), a evapotranspiração é uma das variáveis mais importantes do ciclo hidrológico, consistindo na ligação entre energia, clima e disponibilidade hídrica. Os fatores que a influenciam estão relacionados com os elementos meteorológicos, sendo diretamente proporcional à temperatura do ar, a velocidade do vento e a radiação solar e inversamente proporcional à umidade do ar (GIANOTTI et al., 2013). Além dos fatores atmosféricos, a disponibilidade hídrica do solo, características da planta e profundidade efetiva das raízes também são fatores que influenciam na evapotranspiração (SILVA, 2000).

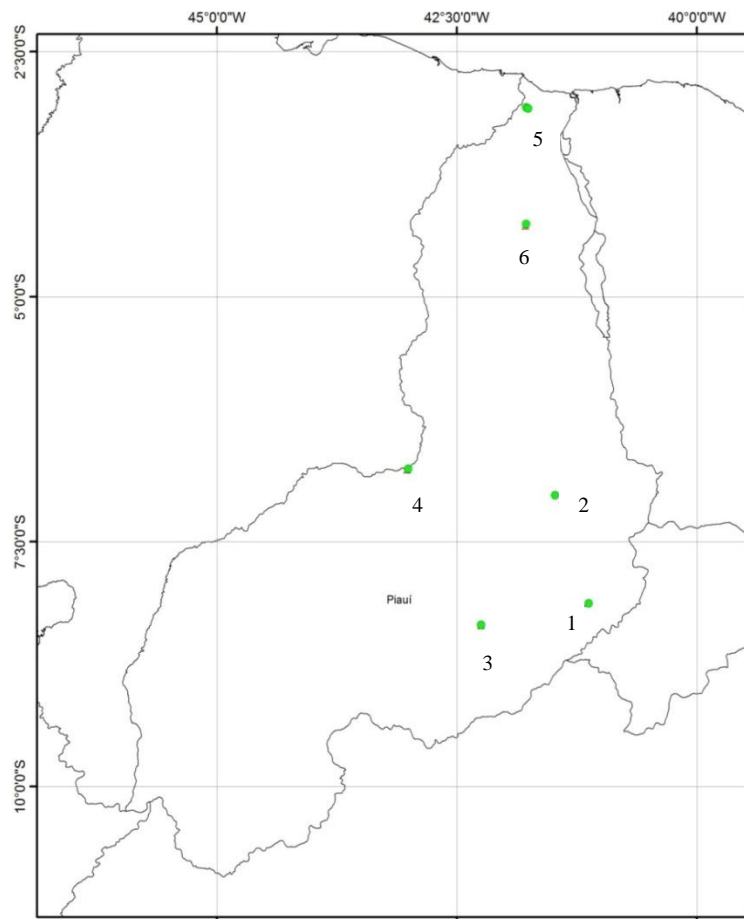
Siqueira (2007) caracterizou a importância relativa da radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento sobre o processo de evapotranspiração, estabelecendo a respectiva ordem de grandeza para esses elementos: 80:14: 6, ou seja, 80% para o saldo de radiação; 14% para a advecção; e 6% para a umidade relativa e a temperatura do ar, evidenciando o principal efeito da radiação solar global.

Contudo, a estimativa da evapotranspiração de referência está diretamente relacionada à qualidade dos dados meteorológicos em que se baseia. O uso de estações meteorológicas fornece um sistema completo de informações meteorológicas de modo prático e funcional, mas além da observação permanente do funcionamento dos sensores, é necessária uma análise para avaliar a integralidade dos dados, sua qualidade e sua confiabilidade antes de serem utilizados nas equações de estimativa da ETo (TURCO e BARBOSA).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O estudo foi realizado com dados obtidos de estações meteorológicas automáticas e convencionais em operação, pertencentes à rede de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas em seis municípios do Estado do Piauí, nos quais operam conjuntamente as duas modalidades de estação, a saber: Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri. A localização geográfica das estações, bem como as coordenadas e período de coleta de dados podem ser visualizadas na Figura 2 e Tabela 1, respectivamente. Em todos os municípios avaliados, as estações meteorológicas automáticas e convencionais estão bem próximas, excluindo-se da análise comparativa as possíveis influências devidas ao fator local de instalação.



1. Paulistana; 2. Picos; 3. São João do Piauí; 4. Floriano; 5. Parnaíba; 6. Piripiri.

Figura 2. Mapa identificando os municípios com as estações meteorológicas convencionais do INMET utilizadas no estudo.

Tabela 1. Municípios, identificação das estações, coordenadas geográficas se período da análise comparativa dos dados meteorológicos das estações automáticas e convencionais do Estado do Piauí selecionadas para avaliação.

Municípios	Estação (ID) *	Coordenadas Geográficas			Período (anos)
		Lat	Long	Alt (m)	
1. Paulistana	A330	-8,13°	-41,14°	374,0	2008-2014
	82882	-8,13°	-41,13°	374,2	
2. Picos	A343	-7,07°	-41,40°	233,0	2009-2014
	82780	-7,03°	-41,48°	207,9	
3. São João do Piauí	A331	-8,36°	-42,25°	235,0	2008-2014
	82879	-8,35°	-42,25°	235,3	
4. Floriano	A311	-6,77°	-43,02°	123,3	2008-2014
	82678	-6,76°	-43,01°	123,2	
5. Parnaíba	A308	-3,07°	-41,78°	57,0	2003-2006
	82287	-3,08°	-41,76°	79,5	2008-2014
6. Piriapiri	A335	-4,28°	-41,79°	161,0	2008-2014
	82474	-4,26°	-41,78°	161,1	

*Identificação da estação na rede de estações automáticas (linha superior) e número sinótico da estação convencional (OMM) (linha inferior).

3.2 Organização e tabulação dos dados

Os dados coletados foram divididos em três períodos: anual, seco e chuvoso. O período anual abrangeu todos os meses do ano, o período chuvoso (dezembro a maio em Floriano, janeiro a maio em Parnaíba e Piriapiri e nos demais, janeiro a abril) e seco (junho a novembro em Floriano, junho a dezembro em Parnaíba e Piriapiri e nos demais, maio a dezembro), conforme recomendação do extrato do balanço hídrico climatológico de cada município (ANEXO 1).

Com o auxílio do software Excel 2007[®], os dados coletados passaram por uma análise preliminar para adequação e padronização das datas, pois os equipamentos das duas estações meteorológicas estão sujeitos a falhas, tanto mecânica quanto humana. Essa medida foi estabelecida para que as datas das estações se equiparassem para a realização da comparação através da correlação de dados. Os dias em que houve falhas nas coletas de dados em uma das estações foram eliminados. Por meio de visualização gráfica detectou-se os dados discrepantes, sendo excluídos. Na Tabela 2 é sumarizado, para cada local, período do ano e elemento climático, o número de dias com dados disponíveis nas duas modalidades de estação. Obviamente, o número de dias usados na análise comparativa foi limitado pelo período comum de registro de dados nas duas estações. Por exemplo, em Paulistana, para Tmax, no período anual, há disponibilidade de 2373 dias com dados na EMA e 2201 dias na EMC. Porém, usou-se 2201 dias para a

análise comparativa da Tmax, número esse limitado pela disponibilidade de dados da EMC.

Os dados da estação meteorológica automática foram ajustados ao fuso-horário local sendo subtraídas três horas, uma vez que os dados estão disponíveis no site do INMET em horário UTC (Coordinated Universal Time), que corresponde ao fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo.

Tabela 2. Número de dias com dados disponíveis para cada elemento meteorológico obtidos nas estações meteorológicas automáticas e convencionais usado no estudo, divididos em períodos anual, chuvoso e seco.

Local	Tmáx (°C)		Tmin (°C)		URméd (%)		U ₂ (ms ⁻¹)		P atm (hPa)		Pp (mm)		Rs (MJm ⁻² dia ⁻¹)	Ins (h)
	EMA	EMC	EMA	EMC	EMA	EMC	EMA	EMC	EMA	EMC	EMA	EMC		
Período anual														
Paulistana	2373	2201	2373	2201	2295	2211	2372	2211	2361	2211	2373	2201	2373	2201
Picos	1925	2068	1915	2068	1881	2068	1172	2068	1887	2068	1925	2068	1915	2068
São João do Piauí	2341	2417	2341	2417	2308	2102	2341	2102	2318	2102	2341	2417	2341	2417
Floriano	2333	2541	2333	2541	2333	2557	2333	2557	2228	2557	2333	2546	2333	2546
Parnaíba	3588	4016	3588	4016	3558	4016	3588	4016	3610	4016	3619	4016	3619	4016
Piripiri	2262	2454	2262	2454	2246	2445	2262	2445	2262	0	2262	2454	2262	2454
Período chuvoso														
Paulistana	956	811	956	811	946	813	956	813	941	813	-	-	956	811
Picos	624	720	624	720	619	720	414	720	624	720	-	-	624	720
São João do Piauí	828	814	828	814	821	685	828	685	823	685	-	-	828	814
Floriano	1102	1271	1102	1271	1102	1276	1102	1276	1102	1276	-	-	1102	1271
Parnaíba	1451	1672	1451	1672	1424	1672	1451	1672	1428	1672	-	-	1451	1672
Piripiri	980	1053	980	1053	953	1041	980	1041	980	0	-	-	980	1053
Período seco														
Paulistana	1417	1390	1417	1390	1349	1398	1416	1398	1420	1398	-	-	1417	1390
Picos	1301	1348	1291	1348	1262	1348	758	1348	1263	1348	-	-	1291	1348
São João do Piauí	1513	1603	1513	1603	1487	1417	1513	1417	1495	1417	-	-	1513	1603
Floriano	1231	1270	1231	1275	1231	1281	1231	1281	1126	1281	-	-	1231	1275
Parnaíba	2137	2344	2137	2344	2134	2344	2137	2344	2182	2344	-	-	2168	2344
Piripiri	1282	1401	1282	1401	1293	1404	1282	1404	1282	0	-	-	1282	1401
Total	29644	31394	29624	31399	29242	30798	28136	30798	29332	25098	14853	15702	29686	31404

Tmáx: temperatura máxima do ar; Tmin: temperatura mínima do ar; URméd: umidade relativa média do ar; U₂: velocidade média do vento a 10 m de altura; Patm: pressão atmosférica; Pp: precipitação; Rs: radiação solar (somente para EMA) e Ins: insolação (somente para EMC).

3.3 Elementos meteorológicos avaliados

Os elementos meteorológicos avaliados nas estações automáticas e convencionais foram: temperaturas do ar máxima (°C) mínima (°C) e média (°C), umidade relativa média do ar (%), velocidade do vento a 10 m (m s^{-1}), precipitação pluviométrica (mm) e pressão atmosférica média (hPa), analisando-se esses elementos em escala diária.

Os elementos meteorológicos observados nas estações, assim como o elemento sensor, sua sensibilidade e fabricante são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Elementos meteorológicos obtidos nas estações meteorológicas convencionais (EMC) e automáticas (EMA), com seus respectivos elementos sensores, sensibilidade e fabricante.

Estação	Elemento climático	Elemento sensor	Sensibilidade	Fabricante
EMC	Temperatura máxima	Mercúrio	0,2°C	R Fuess
	Temperatura mínima	Álcool	0,2°C	R Fuess
	Umidade relativa do ar	Cabelo humano	5 %	R Fuess
	Precipitação	Pluviômetro	0,1 mm	R Fuess
	Pressão atmosférica	Mercúrio	0,1 hPa	R Fuess
	Velocidade do vento	Conjunto de 3 canecas	0,1 m.s^{-1}	R Fuess
	Insolação	Esfera de cristal	0,1 h	R Fuess
EMA	Temperatura máxima	Termistor	0,1 °C	Vaisala
	Temperatura mínima	Termistor	0,1 °C	Vaisala
	Umidade relativa do ar	Capacitor	3%	Vaisala
	Precipitação	Sistema de balança	0,1 mm	Vaisala
	Pressão atmosférica	Capacitor	0,1 hPa	Vaisala
	Velocidade do vento	Conjunto de 3 canetas	0,11 m.s^{-1}	Vaisala
	Radiação solar global	Fotodiodo de silício	0,01 W.m^{-2}	Vaisala

Nas Figuras 3 e 4, observam-se os sensores usados nas leituras dos dados meteorológicos nas estações meteorológicas convencionais e automáticas, respectivamente.



Figura 3. Sensores meteorológicos presentes nas estações meteorológicas convencionais: termômetro de máxima (A), termômetro de mínima (B), termômetro de bulbo seco (C), termômetro de bulbo úmido (D), termohigrógrafo (E), sensor de velocidade (F) e direção do vento (G), heliógrafo (H), pluviômetro (I) e barógrafo (J).

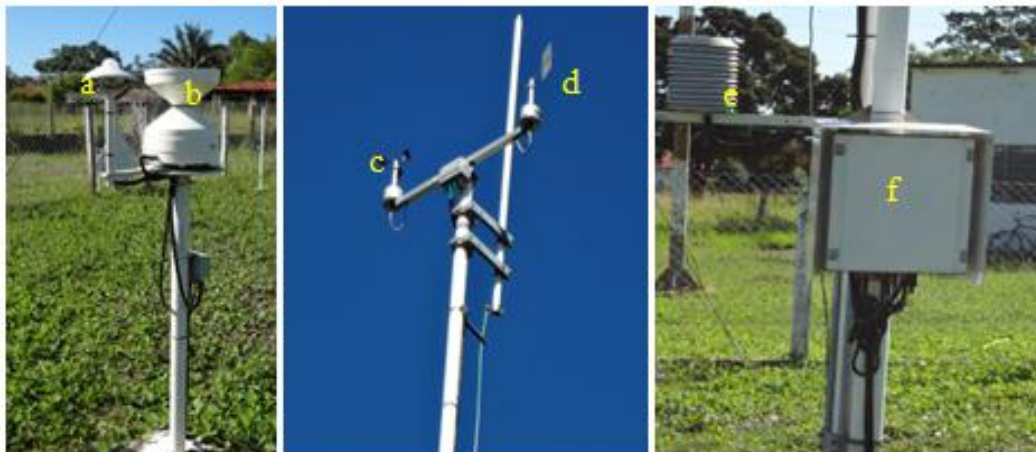


Figura 4. Sensores meteorológicos presentes na estações automáticas: radiômetro (A) e pluviômetro de balança (B), sensor de velocidade (C) e direção do vento (D), abrigo meteorológico (E) e sistema de armazenamento e transmissão dos dados (F).

Nas estações convencionais, a temperatura (T_{med}) e umidade relativa do ar média (UR_{med}) foram obtidas por duas metodologias, sendo a primeira recomendada pela FAO:

$$T_{\text{méd}} = \frac{T_{\text{máx}} + T_{\text{min}}}{2} \quad (2)$$

$$UR_{\text{méd}} = \frac{U_{\text{máx}} + U_{\text{min}}}{2} \quad (3)$$

e a segunda adotada pelo INMET:

$$T_{\text{méd}} = \frac{T_{9:00} + 2T_{21:00} + T_{\text{máx}} + T_{\text{min}}}{5} \quad (4)$$

$$UR_{\text{méd}} = \frac{(UR_{9:00} + UR_{\text{máx}} + U_{\text{min}} + 2UR_{21:00})}{5} \quad (5)$$

Onde: Tmax: temperatura máxima do ar; Tmin: temperatura mínima do ar; T_{9:00}: temperatura do ar lida as 9:00 horas; T_{15:00}: temperatura do ar lida as 15:00 horas; U_{max}: umidade relativa máxima do ar; U_{min}: umidade relativa mínima do ar; UR_{9:00}: umidade relativa do ar do ar lida as 9:00 horas; UR_{15:00}: umidade relativa do ar lida as 15:00 horas; UR_{21:00}: umidade relativa do ar lida as 21:00 horas.

Na Tabela 4 são apresentadas as formas como foram obtidos os elementos meteorológicos nas estações convencionais e automáticas.

Tabela 4. Formas de obtenção dos elementos meteorológico nas estações convencionais (EMC) e automáticas (EMA).

Elemento	EMC	EMA
T _{máx}	Leituras às 21:00h*	> valor das 24:00h
T _{min}	Leituras às 9:00h*	<valor das 24:00h
T _{med}	Eq. 2 e Eq 4	$\frac{\sum T_i}{24}$
UR _{med}	Eq. 3 e Eq. 5	$\frac{\sum UR}{24}$
P _{p n+1}	Leitura às 9:00 h	Somatório das chuvas coletadas desde 9:00h do dia n às 9:00h do dia n+1
Patm	$\frac{Patm_{9:00} + Patm_{15:00} + Patm_{21:00}}{3}$	$\frac{\sum P_{Atm}}{24}$
V _v	$\frac{Vv_{9:00} + Vv_{15:00} + Vv_{21:00}}{3}$	$\frac{\sum Vv}{24}$
Rs	$Rs = Ra \left(a + b * \frac{n}{N} \right)$	Piranômetro

* A temperatura máxima diária é observada cerca de 2- 4 horas após o meio dia solar. Porém, é medida nas estações convencionais as 21:00 horas.

** A temperatura mínima diária ocorre próximo ao nascer do Sol. Contudo, é lida nas estações convencionais as 9:00 horas.

3.4 Estimativa da radiação solar líquida

Como as estações que compõem o estudo não dispõem de sensores de radiação líquida foi necessária a sua estimativa. A estimativa da radiação líquida (R_n), em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foi realizada conforme metodologia proposta por Nolêto et al. (2014), onde a estimativa da radiação líquida foi feita a partir de dados de radiação solar global (R_s):

$$R_n = 0,6914 (R_s) \quad (6)$$

A metodologia descrita acima para a estimativa da radiação líquida global foi utilizada porque apesar de ser calibrada apenas para Teresina, PI, representa bem as demais condições climáticas específicas do Piauí (ANEXO 2).

Nas estações automáticas, a radiação solar global foi medida por um piranômetro. Nas estações convencionais, a radiação solar global (R_s), em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$, foi estimada a partir dos dados de insolação, por meio da equação de Angström - Prescott (Allen et al., 1998):

$$R_s = R_a \left(a + b * \frac{n}{N} \right) \quad (7)$$

em que: R_s é a radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); n representa as horas de insolação (h dia^{-1}); N é a duração máxima possível do dia (h dia^{-1}); R_a é a radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); a é o coeficiente que expressa a fração da radiação no topo da atmosfera que atinge a terra em dias totalmente nublados, correspondente à fração difusa, e b é o coeficiente complementar que expressa o total de radiação solar global.

Os valores dos coeficientes a e b da equação de Angström-Prescott usados para cada município no período anual, chuvoso e seco (ANEXO 3) são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores anuais e sazonais dos coeficientes a e b da equação de Angström - Prescott para os municípios que compõem o estudo.

Municípios	Período anual		Período chuvoso		Período seco	
	a	b	a	b	a	b
Paulistana ⁽¹⁾	0,2786	0,4894	0,2883	0,4748	0,2640	0,5079
Picos ⁽¹⁾	0,2525	0,4948	0,2773	0,4338	0,2645	0,4863
São João do Piauí ⁽¹⁾	0,3010	0,4656	0,2966	0,4504	0,3399	0,4083
Florianópolis ⁽¹⁾	0,2402	0,3969	0,2485	0,3623	0,2626	0,3794
Parnaíba ⁽²⁾	0,3207	0,4598	0,3107	0,5383	0,3130	0,5086
Piripiri ⁽¹⁾	0,3315	0,4091	0,3280	0,4167	0,3200	0,4041

⁽¹⁾ Fonte: Próprio autor. ⁽²⁾ Fonte: Andrade Júnior et al. (2012).

As estimativas de R_a e N foram efetuadas conforme as equações abaixo propostas pela FAO 56 (Allen et al., 1998) e aplicadas por Pereira et al. (1997) e Andrade Júnior et al. (2012):

$$Ra = 37,586 \text{ dr} (\omega_s \text{ sen } \varphi \text{ sen } \delta + \cos \varphi \cos \delta \text{ sen } \omega_s) \quad (8)$$

$$\text{dr} = 1 + 0,033 \cos \left(J \frac{2\pi}{365} \right) \quad (9)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi - \tan \delta) \quad (10)$$

$$\delta = 0,4093 \text{ sen} \left(J \frac{2\pi}{365} - 1,405 \right) \quad (11)$$

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (12)$$

em que: dr: distância relativa Terra - Sol; ω_s : ângulo horário do pôr do Sol (rad); φ : latitude do local (rad); δ : declinação solar (rad) e J: número do dia do ano.

3.5 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Os dados obtidos nas estações automáticas e convencionais foram utilizados ainda na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o, mm), pelo método de Penman-Monteith, utilizando a parametrização apresentada por Smith (1991) como mostra a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 275} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (13)$$

Em que: ET_o corresponde à evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (mm dia⁻¹), G: o fluxo de calor no solo, (MJ m⁻² dia⁻¹), T: temperatura média do ar (°C), U₂: velocidade do vento a 2m de altura (m s⁻¹), (e_s-e_a): corresponde ao déficit de pressão de vapor (kPa), Δ é declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹), γ é a constante psicométrica (kPa °C⁻¹), 0,409 é o inverso do calor latente de evaporação a 20°C (kg MJ⁻¹) e 900 é o fator de conversão.

Segundo Allen et al. (1998), a magnitude do fluxo de calor no solo em períodos diários é relativamente baixa e pode ser desprezada (G = 0).

A pressão de saturação de vapor (e_s) foi calculada de acordo com o Boletim da FAO 56 (Allen et al., 1998), a seguir:

$$e_s = \frac{0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_{\max_c}}{T_{\max_c} + 237,3}\right) + 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 T_{\min_c}}{T_{\min_c} + 237,3}\right)}{2} \quad (14)$$

Em que: T_{max_c}: temperatura máxima (°C); T_{min_c}: temperatura mínima (°C).

A pressão parcial de vapor (e_a) foi definida por:

$$e_a = UR \frac{e_s}{100} \quad (15)$$

Sendo: UR a umidade relativa e e_s a pressão de saturação de vapor (kPa).

A declividade da curva de pressão de saturação de vapor (Δ) foi obtida a partir da equação:

$$\Delta = \frac{4098e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (16)$$

Em que T é a temperatura média do ar ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

A constante psicrométrica foi dada por:

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (17)$$

Onde: P é a pressão atmosférica média (kPa); λ é o calor latente de evaporação da água dado por:

$$\lambda = 2,501 - (0,002361 T) \quad (18)$$

Em que: λ é o calor latente de evaporação (MJ kg^{-1}); T é a temperatura média.

Para o método de Penman-Monteith, a velocidade do vento é requerida a 2m de altura. Porém, tanto na EMA quanto na EMC, os sensores estão instalados a 10m. Para corrigir essa diferença, utilizou-se a conversão proposta por Smith (1991) para a cobertura padrão, onde:

$$U_{2m} = \{4,868[\text{Ln}(67,75Z - 5,42)]^{-1}\} U_z = 0,748 U_{10m} \quad (19)$$

sendo: U_{2m} a velocidade do vento a 2m e U_{10m} é a velocidade média diária do vento (m.s^{-1}) na altura $Z = 10\text{m}$.

3.6 Análise dos resultados

Para a comparação dos dados obtidos nas estações convencionais e automáticas foi utilizada a análise de regressão linear e determinado o coeficiente de determinação (R^2), que indica precisão máxima quando R^2 tende a 1. Além disso, utilizou-se o índice de concordância de Willmott (d) (WILLMOTT et al., 1985), o coeficiente de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997), coeficiente de correlação (r) e o erro absoluto médio (EAM):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (20)$$

$$c = d \cdot r \quad (21)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (22)$$

$$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad (23)$$

em que: Em que O_i são os dados coletados na EMC, P_i os dados coletados na EMA, \bar{O} as médias dos dados da EMC; n é o número de observações e EMC e EMA, os dados oriundos das estações meteorológicas convencional e automática, respectivamente.

Os valores dos coeficientes de correlação (r) e dos índices de desempenho ou confiança (c) encontrados foram classificados seguindo-se a classificação proposta por Hopkins (2000) (Tabela 6) e por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 7), respectivamente.

Tabela 6. Classificação das correlações de acordo com Hopkins (2000)

Coeficiente de Correlação (r)	Correlação
0,0 - 0,1	Muito baixa
0,1 - 0,3	Baixa
0,3 - 0,5	Moderada
0,5 - 0,7	Alta
0,7 - 0,9	Muito alta
0,9 - 1,0	Quase perfeita

Tabela 7. Critério de interpretação do desempenho pelo índice “ c ”, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “ c ”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Foi realizado ainda a correlação das variáveis meteorológicas com os valores das estimativas de ETo obtidas pelo método Penman-Monteith, com o objetivo de identificar os efeitos das variáveis meteorológicas sobre o processo de evapotranspiração de referência nos municípios estudados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estações convencionais e automáticas

4.1.1 Temperatura máxima do ar

Os índices estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura máxima do ar entre as duas estações no período anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí estão na Tabela 8.

Tabela 8. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura máxima do ar entre as duas estações em municípios situados no Estado do Piauí.

Local	Temperatura máxima do ar (°C)					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Período anual						
Paulistana	0,984	-0,056	0,991	0,999	0,990	Ótimo
Picos	0,955	-0,209	0,977	0,986	0,963	Ótimo
São João do Piauí	0,831	-0,300	0,911	0,918	0,836	Muito Bom
Floriano	0,953	0,100	0,976	0,996	0,972	Ótimo
Parnaíba	0,766	-0,382	0,875	0,814	0,712	Bom
Piripiri	0,789	-0,226	0,888	0,845	0,750	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,985	-0,050	0,992	0,999	0,991	Ótimo
Picos	0,918	-0,102	0,958	0,982	0,940	Ótimo
São João do Piauí	0,89	-0,136	0,943	0,900	0,849	Muito Bom
Floriano	0,919	0,350	0,958	0,988	0,947	Ótimo
Parnaíba	0,733	-0,362	0,856	0,879	0,752	Bom
Piripiri	0,700	-0,486	0,836	0,800	0,668	Bom
Período seco						
Paulistana	0,983	-0,055	0,991	0,999	0,990	Ótimo
Picos	0,877	-0,273	0,936	0,966	0,904	Ótimo
São João do Piauí	0,806	-0,293	0,897	0,909	0,816	Muito Bom
Floriano	0,941	-0,100	0,970	0,991	0,961	Ótimo
Parnaíba	0,954	-0,273	0,976	0,989	0,965	Ótimo
Piripiri	0,780	-0,440	0,883	0,892	0,787	Muito Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

4.1.1.1 Período anual

As estações localizadas nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,984$), Picos ($R^2= 0,955$) e Floriano ($R^2= 0,953$) apresentaram dados de temperatura máxima do ar com baixa dispersão, indicando alta precisão dos dados entre as duas estações. Possivelmente, esse comportamento é decorrente da menor variabilidade da temperatura do ar nesses locais. As maiores dispersões, por sua vez, foram encontradas nas estações situadas em Piriipiri ($R^2= 0,789$) e Parnaíba ($R^2= 0,766$). Esses menores ajustes provavelmente devem-se ao fato dos locais estarem situados ao norte do estado, recebendo influência direta das frentes marítimas, o que propicia maior variação da temperatura do ar ao longo do ano.

Silva et al. (2003), em Maringá, PR e Oliveira et al (2008), em Jaboticabal, obtiveram boa precisão para os dados de temperatura máxima do ar, com valores de R^2 iguais a 0,99 e 0,97, sendo superiores a maioria dos encontrados no presente estudo. Este fato, possivelmente, é explicado pelas diferenças de calibração dos sensores e pelo tamanho da série de dados utilizadas nos trabalhos. Em Teresina, PI, Carvalho (2014) verificou que a temperatura máxima foi a variável que apresentou maior correlação entre as medidas do sensor automático e convencional.

A exceção de Floriano (EAM= $0,100\text{ }^\circ\text{C}$), as estações meteorológicas automáticas apresentaram valores de temperatura máxima do ar superiores aos obtidos nas estações convencionais, corroborando com Sentelhas et al. (1997). As maiores e menores diferenças foram constatadas em Parnaíba ($-0,382\text{ }^\circ\text{C}$) e Paulistana ($-0,056\text{ }^\circ\text{C}$), respectivamente. Nos demais locais, as diferenças foram: Picos (EAM= $-0,209\text{ }^\circ\text{C}$), São João do Piauí (EAM= $-0,300\text{ }^\circ\text{C}$) e Piriipiri (EAM= $-0,226\text{ }^\circ\text{C}$). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Oliveira e Volpe (2003), Sentelhas et al. (1997) e Fisch e Santos (1977), que foi de $1,00$, $0,73$ e $1,04\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. Essas diferenças encontradas são atribuídas aos tipos de sensores utilizados, sendo um termopar na EMA e um termômetro de mercúrio na EMC

Camargo e Hubbard (1998) determinaram os erros das estimativas entre as variáveis agrometeorológicas e as distâncias das estações meteorológicas, em duas regiões nos EUA, com diferentes tipos climáticos, subúmido e semiárido. Observaram que a variação depende fundamentalmente do elemento meteorológico (temperatura máxima, mínima e média do ar, precipitação pluvial, umidade relativa, radiação solar), da época do ano e da região considerada. Na região com clima semiárido, houve erros de estimativa maiores que a região com clima subúmido, principalmente durante o

inverno. Durante o verão, o erro de estimativa para temperatura do ar para distância de 100 km para a região semiárida foi de 2 °C, enquanto para a região subúmida foi de 1,0 °C aproximadamente.

A correlação entre os dados das duas estações foi quase perfeita entre as estações situadas em Paulistana ($r= 0,991$), Picos ($r= 0,977$) e São João do Piauí ($r= 0,911$) e em Floriano ($r= 0,976$). Nos demais municípios, a correlação foi muito alta: Parnaíba ($r= 0,875$) e Piripiri ($r= 0,888$). Realizando uma análise comparativa entre os dois tipos de estações em três cidades do Espírito Santo (Linhares, São Mateus e Vitória), Ramos et al. (2008) encontraram correlação quase perfeita para a temperatura máxima do ar com valores de 0,952, 0,925 e 0,969, respectivamente.

Em relação ao índice de concordância (d) de Willmott, encontrou-se valores elevados para as duas estações nos municípios de Paulistana (0,999), Picos (0,989), São João do Piauí, (0,918) e Floriano (0,996), enquanto que em Parnaíba e Piripiri, os valores encontrados foram menores, iguais a 0,814 e 0,845, respectivamente. Cunha e Martins (2004), em Jaboticabal, encontraram alta concordância (0,999) para a temperatura máxima. Em estudos semelhantes realizados por Souza, Galvani e Assunção (2002), verificaram que as variáveis térmicas apresentaram uma melhor concordância em relação às outras variáveis.

Assim sendo, verificou-se que os melhores desempenhos entre os dados das duas estações foram encontrados para os municípios de Paulistana, Picos e Floriano, considerado ótimo. Nos municípios de Parnaíba e Piripiri, por sua vez, o desempenho decresceu, sendo considerado bom.

Carvalho (2014), em Teresina, PI, e Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, PB, encontraram desempenho ótimo para o mesmo elemento meteorológico.

4.1.1.2 Período chuvoso

Na comparação dos dados de temperatura máxima do ar realizada durante o período chuvoso, as melhores precisões dos dados foram constatadas nas estações dos municípios de Paulistana ($R^2= 0,985$), Picos ($R^2= 0,913$) e Floriano ($R^2= 0,919$). As maiores discrepâncias mantiveram-se nas estações situadas nos municípios de Parnaíba ($R^2= 0,733$) e Piripiri ($R^2= 0,700$). Esse mesmo comportamento foi constatado no período anual.

Assim como no período anual, os dados das estações meteorológicas automáticas foram subestimados pelos das convencionais em todos os municípios, à exceção de

Floriano (EAM= 0,350°C). As maiores discrepâncias dos dados entre as duas estações foram encontradas em Piripiri (EAM= -0,486 °C) e as menores, em Paulistana (EAM= -0,050°C). As demais diferenças registradas foram: Picos (EAM= -0,102 °C), São João do Piauí (EAM= -0,136 °C) e Parnaíba (EAM= -0,362°C). Em comparação ao período anual, as diferenças dos dados entre as estações decresceram em Paulistana (0,006 °C), Picos (0,107°C), São João do Piauí (0,164 °C) e Parnaíba (0,02 °C). Nos demais, ocorreu o inverso: Floriano (0,250 °C) e Piripiri (0,260 °C)

A correlação entre as medidas de temperatura máxima do ar do sensor automático e convencional foi quase perfeita nas estações situadas em Floriano ($r= 0,958$), Paulistana ($r= 0,992$), Picos ($r= 0,958$) e São João do Piauí ($r= 0,943$). Nas estações localizadas em Parnaíba e Piripiri, foi classificada como muito alta, com valores iguais a 0,856 e 0,836, respectivamente, conforme verificado no período anual

Assim como a correlação, o índice de concordância dos dados entre as duas estações manteve-se no mesmo patamar observado para o período anual, ou seja, com valores superiores a 0,90 nas estações localizadas nos municípios de Paulistana ($d= 0,999$), Picos ($d= 0,982$), São João do Piauí ($d= 0,900$) e Floriano ($d= 0,988$), decrescendo em Parnaíba ($d= 0,879$) e Piripiri ($d= 0,800$).

Como reflexo desse comportamento, as estações repetiram o mesmo desempenho encontrado no período anual para todos os municípios, com desempenho ótimo para as estações situadas em Paulistana, Picos e Floriano; muito bom para São João do Piauí, e Bom para Parnaíba e Piripiri.

4.1.1.3 Período seco

Os maiores valores de temperatura máxima do ar registrados no período seco favoreceu a análise comparativa dos dados entre as duas estações localizadas em Parnaíba ($R^2= 0,954$), com aumento da precisão dos dados e prejudicou nos municípios de Picos ($R^2= 0,877$) e São João do Piauí ($R^2= 0,806$), que apresentaram dados mais dispersos. Os demais mantiveram o mesmo comportamento observado nos períodos anteriores.

As estações meteorológicas automáticas localizadas em todos os municípios superestimaram as medidas das convencionais. As maiores diferenças entre os dados das duas estações foram encontradas em Piripiri (EMA= -0,440 °C) e as menores em Floriano (EAM= -0,100 °C). Em comparação ao período chuvoso, verificou-se que as diferenças dos dados entre as duas estações decresceram nas estações de Floriano

(0,250 °C), Parnaíba (0,089 °C) e Piripiri (0,046°C), e aumentaram nos demais: Paulistana (0,005 °C), Picos (0,171 °C) e São João do Piauí (0,157 °C). Em relação ao período anual, as discrepâncias mantiveram praticamente as mesmas em Paulistana e Floriano, e aumentaram em Picos (0,064 °C) e Piripiri (0,214 °C).

A correlação dos dados foi quase perfeita em Floriano ($r= 0,970$), Parnaíba ($r= 0,976$), Paulistana ($r= 0,991$) e muito alta em Piripiri ($r= 0,883$) e São João do Piauí ($r= 0,897$). Em comparação com o período chuvoso e anual, houve decréscimo da correlação em São João do Piauí e aumento em Parnaíba e continuando a mesma nas estações dos demais locais.

Os valores encontrados para o índice de concordância entre as duas estações nos municípios foram: Paulistana ($d= 0,999$), Picos ($d= 0,966$), São João do Piauí ($d= 0,909$), Floriano ($d= 0,992$), Parnaíba ($d= 0,989$) e Piripiri ($d= 0,892$). Com isso, constatou-se que a concordância dos dados aumentou em relação aos períodos anteriores, nos municípios de Parnaíba e Piripiri, mantendo-se praticamente a mesma nos demais locais.

Conseqüentemente, as estações situadas em Picos e São João do Piauí, embora tenham apresentado dados mais dispersos nessa época, continuaram com o mesmo desempenho observado nos períodos anteriores. Porém, em Parnaíba e Piripiri, os desempenhos foram considerados ótimo e muito bom, superiores aos constatados no período chuvoso e anual. Os demais mantiveram a mesma performance.

4.1.2 Temperatura mínima do ar

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura mínima do ar entre as duas estações nos período anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí estão na Tabela 9.

4.1.2.1 Período anual

Para a temperatura mínima do ar, verificou-se maior precisão dos dados entre as duas estações nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,903$), São João do Piauí ($R^2= 0,900$) e Floriano ($R^2= 0,920$). Enquanto isso, nos municípios de Parnaíba ($R^2= 0,774$) e Piripiri ($R^2= 0,763$) foram observadas as maiores dispersões dos dados, assim como constatado para a temperatura máxima. As maiores dispersões dos dados

verificadas em Parnaíba e Piripiri são justificadas pelas mesmas razões expostas para a temperatura máxima do ar.

Tabela 9. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico temperatura mínima entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Temperatura mínima (°C)					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Período anual						
Paulistana	0,903	0,216	0,986	0,986	0,936	Ótimo
Picos	0,850	0,359	0,921	0,934	0,861	Ótimo
São João do Piauí	0,900	0,113	0,948	0,985	0,934	Ótimo
Floriano	0,920	0,364	0,959	0,980	0,939	Ótimo
Parnaíba	0,774	0,426	0,879	0,853	0,749	Bom
Piripiri	0,763	0,428	0,873	0,843	0,735	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,819	-0,269	0,904	0,953	0,862	Ótimo
Picos	0,786	0,308	0,886	0,945	0,837	Muito Bom
São João do Piauí	0,869	0,119	0,932	0,986	0,919	Ótimo
Floriano	0,750	0,337	0,866	0,952	0,824	Muito Bom
Parnaíba	0,756	0,358	0,869	0,875	0,760	Muito Bom
Piripiri	0,630	0,388	0,793	0,848	0,672	Bom
Período seco						
Paulistana	0,904	-0,233	0,950	0,985	0,936	Ótimo
Picos	0,860	0,388	0,927	0,933	0,865	Ótimo
São João do Piauí	0,909	0,099	0,953	0,987	0,941	Ótimo
Floriano	0,950	0,382	0,974	0,988	0,962	Ótimo
Parnaíba	0,813	0,319	0,901	0,861	0,775	Muito Bom
Piripiri	0,689	0,389	0,830	0,899	0,746	Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

Na região do Submédio São Francisco, PE, Silva et al. (2004) não obtiveram boa precisão para os dados de temperatura mínima do ar, assim como constatado em Parnaíba e Piripiri. Os autores atribuíram seus resultados as diferenças dos sensores das duas estações. Em contrapartida, Pereira et al. (2008), em Londrina, PR, concluíram que a temperatura mínima foi o elemento que apresentou a melhor correlação das medidas entre o sensor automático e convencional, com valor de R² igual a 0,994, superior aos obtidos no presente estudo.

Os valores de temperatura mínima do ar medidos na estação convencional superestimaram os obtidos na automática em todos os municípios, concordando com Almeida e Hermenegildo (2013). As maiores diferenças entre os dados das duas estações foram observadas em Piripiri (EAM= 0,428°C) e as menores em São João do

Piauí (EAM= 0,113°C). Os demais erros encontrados foram: Paulistana (EAM= 0,216 °C), Picos (EAM= 0,359 °C), Parnaíba (EAM= 0,426 °C). Sentelhas et al. (1997), em Piracicaba, SP, encontraram erro de 0,41°C para a o mesmo elemento meteorológico, semelhante aos constatados em Parnaíba e Piripiri.

Os municípios de Paulistana (r= 0,986), Picos (r= 0,921), São João do Piauí (r= 0,948) e Floriano (r= 0,959), apresentaram correlação quase perfeita, igualmente verificado por Carvalho (2014), em Teresina, PI. Nos demais, a correlação foi muito alta: Parnaíba (r= 0,879) e Piripiri(r= 0,873).

A concordância dos dados foi alta nos municípios de Paulistana (d= 0,986), Picos (d= 0,934), São João do Piauí (d= 0,985), Floriano (d= 0,980), assim também como observado por Cunha e Martins (2004). Contudo, decresceu nos municípios de Parnaíba (d= 0,853) e Piripiri (d= 0,843).

Sendo assim, verificou-se alto desempenho entre os dados de temperatura mínima obtidos nas duas estações, nos municípios de Paulistana, Picos, São João do Piauí e Floriano, classificado como ótimo, mesma performance encontrada por Vieira et al. (2010), em Mossoró, RN. Enquanto isso, nos municípios de Parnaíba e Piripiri, o desempenho foi inferior, classificado como bom. Esse comportamento deve se repetir para a temperatura média do ar, já que a mesma é calculada a partir da temperatura máxima e mínima.

4.1.2.2 Período chuvoso

Os menores valores de temperatura do ar registrados no período chuvoso, prejudicou a análise comparativa dos dados, uma vez que constatou-se uma maior dispersão dos dados de temperatura mínima em relação ao período anual em todos os locais: Paulistana ($R^2= 0,819$), Picos ($R^2= 0,786$), São João do Piauí ($R^2= 0,869$), Floriano ($R^2= 0,750$), Parnaíba ($R^2= 0,756$) e Piripiri ($R^2= 0,630$).

As discrepâncias entre os dados obtidos nas duas estações aumentaram em Paulistana (0,053°C), São João do Piauí (0,006 °C), diminuindo nos demais locais: Picos (0,051°C), Floriano (0,027°C), Parnaíba (0,068°C) e Piripiri (0,04 °C). Mesmo assim, as maiores diferenças entre os dados das duas estações continuaram sendo observadas em Piripiri (EAM= 0,388 °C), e as menores em São João do Piauí (EAM= 0,119°C).

A correlação dos dados apresentou mudança apenas no município de Picos (de quase perfeita para muito alta), repetindo a mesma categoria nos demais: Paulistana

($r= 0,904$), São João do Piauí ($r= 0,932$), Floriano ($r= 0,866$), Parnaíba ($r= 0,869$) e Piriipiri ($r= 0,793$). A concordância dos dados manteve valores elevados, acima de 0,90, nos municípios de Paulistana ($d= 0,953$), Picos ($d= 0,945$), São João do Piauí ($d= 0,986$) e Floriano ($d= 0,952$), diminuindo em Parnaíba ($d= 0,875$) e Piriipiri ($d= 0,848$). Conseqüentemente, o desempenho dos dados foi semelhante aos do período anual: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (ótimo), Floriano (muito bom), Parnaíba (muito bom) e Piriipiri (bom).

4.1.2.3 Período seco

Nesse período do ano, as menores dispersões dos dados entre as duas estações foram observadas nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,904$), São João do Piauí ($R^2= 0,909$) e Floriano ($R^2= 0,950$). Nos demais, os ajustes foram menores: Picos ($R^2= 0,860$), Parnaíba ($R^2= 0,813$) e Piriipiri ($R^2= 0,689$). Em todos os locais, a precisão dos dados foi maior quando comparada ao período chuvoso. Os ajustes encontrados, contudo, foram semelhantes aos observados no período anual.

As estações meteorológicas automáticas e convencionais localizadas em Piriipiri e São João do Piauí, apresentaram, respectivamente, as maiores e menores diferenças entre os dados de temperatura mínima, com valores de $0,389^{\circ}\text{C}$ e $0,099^{\circ}\text{C}$. Ao se comparar as diferenças observadas no período seco em relação às obtidas no período chuvoso, percebeu-se que as discrepâncias aumentaram apenas em Picos ($0,08^{\circ}\text{C}$). Contudo, em relação ao período anual, as diferenças aumentaram não só em Picos ($0,029^{\circ}\text{C}$), mas também em Paulistana ($0,017^{\circ}\text{C}$), São João do Piauí ($0,018^{\circ}\text{C}$).

Assim como no período chuvoso e anual, a correlação dos dados variou de muito alta a quase perfeita: Paulistana ($r= 0,950$), Picos ($r= 0,927$), São João do Piauí ($r= 0,953$), Floriano ($r= 0,974$), Parnaíba ($r= 0,901$) e Piriipiri ($r= 0,830$).

Os dados de temperatura mínima do ar entre as duas estações mantiveram boa concordância nos municípios de Paulistana ($d= 0,985$), Picos ($d= 0,933$), São João do Piauí ($d= 0,987$), Floriano ($d= 0,988$), mas apresentou decréscimos em Parnaíba ($d= 0,861$) e Piriipiri ($d= 0,899$), mesmo comportamento observado no período chuvoso e anual. Em decorrência desse comportamento, os desempenhos obtidos foram semelhantes aos constatados nos períodos anteriores: Paulistana (ótimo), Picos (ótimo), São João do Piauí (ótimo), Floriano (ótimo), Parnaíba (muito bom) e Piriipiri (bom).

4.1.3 Temperatura média do ar (Tmed)

4.1.3.1 Tmed calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí estão na Tabela 10.

Tabela 10. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia adotada pela FAO no período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Tmed do ar (obtida na EMC pela metodologia adotada pela FAO)					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,911	0,268	0,954	0,985	0,940	Ótimo
Picos	0,842	0,440	0,917	0,936	0,858	Ótimo
São João do Piauí	0,836	0,370	0,914	0,938	0,857	Ótimo
Floriano	0,909	0,859	0,953	0,878	0,837	Muito Bom
Parnaíba	0,702	1,950	0,837	0,811	0,678	Bom
Piripiri	0,730	1,944	0,854	0,850	0,726	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,854	0,361	0,924	0,937	0,865	Ótimo
Picos	0,815	0,867	0,902	0,806	0,727	Muito Bom
São João do Piauí	0,808	0,488	0,898	0,908	0,816	Muito Bom
Floriano	0,790	1,157	0,888	0,855	0,760	Muito Bom
Parnaíba	0,714	1,657	0,844	0,809	0,683	Bom
Piripiri	0,689	1,333	0,830	0,835	0,693	Bom
Período seco						
Paulistana	0,930	0,158	0,964	0,993	0,957	Ótimo
Picos	0,866	0,240	0,930	0,971	0,903	Ótimo
São João do Piauí	0,836	0,335	0,914	0,956	0,874	Ótimo
Floriano	0,909	0,686	0,953	0,935	0,891	Ótimo
Parnaíba	0,706	1,105	0,840	0,897	0,753	Bom
Piripiri	0,739	1,142	0,859	0,867	0,745	Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

4.1.3.1.1 Período anual

A precisão dos dados foi boa nos municípios de Paulistana (R²= 0,911) e Floriano (R²= 0,909). As maiores dispersões dos dados foram constatadas entre as duas estações localizadas em Parnaíba (R²= 0,702) e Piripiri (R²= 0,730), assim como

constatado para a temperatura máxima e mínima. Também utilizando o mesmo método, Vieira et al. (2010), em Mossoró, RN, obtiveram $R^2= 0,845$, superior aos constatados nos municípios de Parnaíba e Piri-piri. Em Teresina, Carvalho (2014), obteve $R^2= 0,901$, valor próximo ao observado em Paulistana e Floriano.

Os valores de temperatura média do ar obtidos nas estações convencionais superestimaram os obtidos nas automáticas em todos os municípios, conforme observado também por Sentelhas (1998), em Piracicaba, SP e Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, PB. Os maiores erros foram encontrados em Parnaíba (EAM= 1,950 °C), valor este ligeiramente superior aos encontrados por Fisch e Santos (1997) e Sentelhas et al. (1997), que observaram diferenças médias de 1,2°C. Em contrapartida, os menores erros foram observados em Paulistana (EAM= 0,268°C), inferior ao constatado por Oliveira et al. (2003), de 0,41°C.

A correlação dos dados foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,954$), Picos ($r= 0,917$), São João do Piauí ($r= 0,914$) e Floriano ($r= 0,953$), igualmente constatado por Carvalho (2014), em Teresina, PI. Nos demais foi classificada como muito alta: Parnaíba ($r= 0,837$) e Piri-piri ($r= 0,854$).

A concordância dos dados foi também alta nos municípios de Paulistana ($d= 0,985$), Picos ($d= 0,936$) e São João do Piauí ($d= 0,938$), valores semelhantes aos encontrados por Pereira et al. (2008), em Londrina, PR e Scarpare et al. (2006) que foi de 0,977 e 0,968. Porém, em Floriano ($d= 0,878$), Parnaíba ($d= 0,811$) e Piri-piri ($d= 0,850$), a concordância sofreu decréscimo. Em decorrência desse comportamento, os melhores desempenhos foram observados nos municípios de Paulistana, Picos e São João do Piauí, com mesma performance encontrada por Carvalho (2014), em Teresina, PI, enquanto em Parnaíba e Piri-piri, foi considerado bom.

Segundo Jerszurki e Souza (2010), a metodologia adotada pela FAO é largamente utilizada em inúmeros trabalhos por utilizar apenas temperaturas extremas. Allen et al. (1998), por exemplo, descrevem que a estimativa da evapotranspiração de referência com método de Penman-Monteith (FAO) pode utilizar a temperatura média diária do ar determinada a partir da média das temperaturas máxima e mínima diária

Teremoto et al. (2009), em Lavras, MG, utilizando a mesma equação, observaram um bom desempenho estatístico, porém notou-se uma pequena tendência em superestimar a temperatura média diária, podendo-se atribuir à razão de que essa equação leva em consideração somente os valores extremos de temperaturas, não

conseguindo identificar as variações ao longo dia. Mesmo assim, o autor recomenda o uso do método na ausência de maior quantidade de leituras distribuídas ao longo do dia.

4.1.3.1.2 Período chuvoso

No período chuvoso, observou-se uma maior dispersão dos dados de temperatura média em relação ao período anual, com discreta redução da precisão: Paulistana ($R^2= 0,854$), Picos ($R^2= 0,815$), São João do Piauí ($R^2= 0,808$), Floriano ($R^2= 0,790$), e Piripiri ($R^2= 0,689$).

As discrepâncias entre os dados aumentaram em todos os municípios em relação ao período anual, passando a apresentar valores de 0,361; 0,867; 0,488; 1,157; 1,657 e 1,333 para os municípios de Paulistana, Pico, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri, respectivamente. Os maiores e menores erros mantiveram-se nas duas estações situadas em Parnaíba (EAM= 1,657°C) e Paulistana (EAM= 0,361°C), respectivamente.

A correlação dos dados, assim como no período anual, foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,924$) e Picos ($r= 0,902$). Contudo, decresceu em São João do Piauí (quase perfeita para muito alta) e Floriano (quase perfeita para muito alta). Essas reduções ocorreram em consequência do aumento da dispersão dos dados, em relação ao período anual. Em Parnaíba ($r= 0,844$) e Piripiri ($r= 0,830$), a correlação manteve-se muito alta.

A concordância dos dados também apresentou valores ligeiramente inferiores aos encontrados no período anual em todos os municípios: Paulistana ($d= 0,937$), Picos ($d= 0,806$), São João do Piauí ($d= 0,908$), Floriano ($d= 0,855$), Parnaíba ($d= 0,809$) e Piripiri ($d= 0,835$). Mesmo assim, o desempenho estatístico dos dados manteve-se alto em todos os locais, conforme observado no período anual

4.1.3.1.2 Período seco

No período seco, houve uma menor dispersão dos dados em relação ao período chuvoso, obtendo-se valores de precisão semelhantes aos constatados no período anual: Paulistana ($R^2= 0,930$), Picos ($R^2= 0,866$), São João do Piauí ($R^2= 0,836$), Floriano ($R^2= 0,909$), Parnaíba ($R^2= 0,706$) e Piripiri ($R^2= 0,739$). Jerszurki e Souza (2010) encontraram restrições para utilizar a temperatura média do ar calculada pelo método dos extremos (FAO), principalmente nas estações do verão e primavera.

As maiores diferenças entre os dados de temperatura média ar foram encontradas em Piripiri (EAM= 1,142°C) e Paulistana (EAM= 0,158°C). Em comparação ao período chuvoso e anual, as discrepâncias diminuíram em todos dos locais, passando a apresentar valores de 0,158; 0,240; 0,335; 0,686; 1,105 e 1,142 °C para os municípios de Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri, respectivamente.

A correlação dos dados foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,964$), Picos ($r= 0,930$), São João do Piauí ($r= 0,914$) e Floriano ($r= 0,953$) e Muito Alta em Parnaíba ($r= 0,840$) e Piripiri ($r= 0,859$). Esse mesmo comportamento foi encontrado no período chuvoso e anual.

A concordância dos dados também se manteve no mesmo patamar observado no período chuvoso e anual: Paulistana ($d= 0,993$), Picos ($d= 0,971$), São João do Piauí ($d= 0,956$), Floriano ($d= 0,935$), Parnaíba ($d= 0,897$) e Piripiri ($d= 0,867$). Em decorrência disso, o desempenho estatístico entre os dados obtidos nas duas estações apresentou comportamento similar ao verificado no período chuvoso e anual, sendo classificado como ótimo para os municípios de Paulistana, São João do Piauí, Picos e Floriano, enquanto em Parnaíba e Piripiri foi considerado bom.

4.1.3.2 Tmed calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pelo INMET

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média do ar calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia adotada pelo INMET, no período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí estão na Tabela 11.

4.1.3.2.1 Período anual

A precisão dos dados foi boa nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,933$), Floriano ($R^2= 0,908$). As maiores dispersões dos dados foram constatadas nos municípios de Parnaíba ($R^2= 0,737$) e Piripiri ($R^2= 0,760$). Esse mesmo comportamento foi verificado quando a temperatura média na estação convencional foi calculada pelo método adotado pela FAO. Magalhães (2008), em Lavras, MG e Oliveira et al. (2008), em Jaboticabal, SP, obtiveram boa precisão dos dados de temperatura média calculada nas

estações convencionais pela mesma metodologia, com valores de R^2 iguais a 0,95 e 0,97, superiores aos constatados no presente estudo.

Tabela 11. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de temperatura média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pelo método adotado pelo INMET no período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Tmed do ar (obtida na EMC pela metodologia adotada pela INMET)					
	R^2	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,933	-0,127	0,965	0,993	0,959	Ótimo
Picos	0,845	0,277	0,919	0,955	0,877	Ótimo
São João do Piauí	0,857	-0,123	0,925	0,970	0,897	Ótimo
Floriano	0,908	0,224	0,952	0,982	0,935	Ótimo
Parnaíba	0,737	0,344	0,858	0,850	0,729	Bom
Piripiri	0,760	-0,340	0,872	0,836	0,728	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,886	-0,214	0,941	0,973	0,915	Ótimo
Picos	0,861	0,412	0,927	0,957	0,888	Ótimo
São João do Piauí	0,865	0,065	0,930	0,975	0,906	Ótimo
Floriano	0,833	0,196	0,912	0,950	0,867	Ótimo
Parnaíba	0,715	0,364	0,845	0,824	0,696	Bom
Piripiri	0,696	-0,340	0,834	0,883	0,736	Bom
Período seco						
Paulistana	0,943	-0,100	0,971	0,996	0,967	Ótimo
Picos	0,824	0,216	0,907	0,953	0,865	Ótimo
São João do Piauí	0,855	-0,145	0,924	0,978	0,904	Ótimo
Floriano	0,897	0,115	0,947	0,983	0,931	Ótimo
Parnaíba	0,762	-0,242	0,872	0,801	0,699	Bom
Piripiri	0,726	0,257	0,852	0,846	0,720	Bom

R^2 = coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

As maiores diferenças foram observadas em Parnaíba (EAM= 0,344 °C) e as menores em São João do Piauí (EAM= -0,123 °C). As demais discrepâncias encontradas foram: Paulistana (EAM= -0,127°C), Picos (EAM= 0,277 °C), Floriano (EAM= 0,224 °C) e Piripiri (EAM= -0,340°C). Estes valores, contudo, foram inferiores aos encontrados por Oliveira et al. (2008) e Almeida et al. (2008), que observaram diferenças de 0,41 e 0,66°C, respectivamente, para o mesmo elemento.

Os municípios de Paulistana, São João do Piauí, Picos e Floriano apresentaram dados com correlação quase perfeita, decrescendo para muito alta nos demais: Parnaíba (r= 0,858) e Piripiri (r= 0,872). A concordância dos dados entre as duas estações também seguiu a mesmo comportamento, ou seja, com valores mais elevados para os

municípios de Paulistana ($d= 0,993$), Picos ($d= 0,955$), São João do Piauí ($d= 0,970$) e Floriano ($d= 0,982$), decrescendo em Parnaíba ($d= 0,850$) e Piripiri ($d= 0,836$).

Com isso, os melhores desempenhos estatísticos foram verificados em Paulistana, Picos, São João do Piauí e Floriano, classificado como ótimo. Entretanto, nas estações localizadas em Parnaíba e Piripiri, o desempenho foi inferior, considerado bom. Em Teresina, Carvalho (2014), obteve alto desempenho entre os dados de temperatura média comparados entre as duas estações, sendo classificado como muito bom.

Ao se comparar os dados de temperatura média do ar calculado nas estações convencionais pelas duas metodologias no período anual, observou-se comportamento similar, embora as discrepâncias entre os dados tenham sido maiores na maioria dos municípios quando se utilizou a equação adotada pela FAO.

4.1.3.2.1 Período chuvoso

No período chuvoso, a precisão dos dados decresceu nos municípios de Paulistana ($R^2= 0,886$), Floriano ($R^2= 0,833$), Piripiri ($R^2= 0,696$) em comparação ao período anual, aumentando levemente nos demais locais: Picos ($R^2= 0,861$), São João do Piauí ($R^2= 0,865$) e manteve-se praticamente constante em Parnaíba ($R^2= 0,715$).

As maiores diferenças entre os dados obtidos nas duas estações mantiveram-se em Parnaíba ($EAM= 0,364^{\circ}C$) e São João do Piauí ($EAM= 0,065^{\circ}C$). Em comparação ao período anual, as diferenças decresceram em Paulistana ($0,087^{\circ}C$), São João do Piauí ($0,058^{\circ}C$), apresentaram comportamento inverso em Picos ($0,135^{\circ}C$), Floriano ($0,172^{\circ}C$) e Parnaíba ($0,02^{\circ}C$), e manteve-se praticamente a mesma em Piripiri.

A correlação dos dados entre as duas estações localizadas foi quase perfeita em Paulistana ($r= 0,941$), Picos ($r= 0,927$), São João do Piauí ($r= 0,930$), Floriano e Muito Alta em Parnaíba ($r= 0,845$) e Piripiri ($r= 0,834$), similar ao observado no período anual. O índice de concordância de Wilmott (d) seguiu o mesmo comportamento observado no período anual: Paulistana ($d= 0,973$), Picos ($d= 0,957$), São João do Piauí ($d= 0,975$), Floriano ($d= 0,950$), Parnaíba ($d= 0,824$) e Piripiri ($d= 0,883$). Assim sendo, repetindo o mesmo comportamento observado no período anual, o desempenho obtido entre os dados foram altos nos municípios situados de Paulistana, São João do Piauí, Picos e Floriano, classificado como ótimo e menor nos municípios de Parnaíba e Piripiri, similar ao observado quando a temperatura média do ar foi calculada por meio da equação adotada pela FAO.

4.1.3.3 Período seco

No período seco, a precisão dos dados foi maior em comparação ao período chuvoso: Paulistana ($R^2= 0,943$), Picos ($R^2= 0,824$), São João do Piauí ($R^2= 0,855$), Floriano ($R^2= 0,897$), Parnaíba ($R^2= 0,762$) e Piripiri ($R^2= 0,726$), com valores mais similares aos constatados no período anual.

Os municípios de Paulistana (EAM= $-0,100^\circ\text{C}$) e Piripiri (EAM= $0,257^\circ\text{C}$), apresentaram as menores e maiores diferenças entre os dados de temperatura média obtidos entre as duas estações, respectivamente. Em comparação ao período chuvoso e anual, as discrepâncias aumentaram apenas em São João do Piauí ($0,08^\circ\text{C}$ e $0,022^\circ\text{C}$, respectivamente).

A correlação dos dados, assim como no período chuvoso e anual, foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,971$), Picos ($r= 0,907$), São João do Piauí ($r= 0,924$), Floriano ($r= 0,947$) e muito alta nos demais: Parnaíba ($r= 0,872$) e Piripiri ($r= 0,852$)

Na mesma linha, seguiu a concordância dos dados: Paulistana ($d= 0,996$), Picos ($d= 0,953$), São João do Piauí ($d= 0,978$) e Floriano ($d= 0,983$), diminuindo em Parnaíba ($d= 0,801$), e Piripiri ($d= 0,846$). Consequentemente, os desempenhos obtidos entre os dados de temperatura média também foram exatamente iguais aos encontrados no período chuvoso e anual: Paulistana (ótimo), Picos (ótimo), São João do Piauí (ótimo), Floriano (ótimo), Parnaíba (bom) e Piripiri (bom).

De maneira geral, comparando os dados de temperatura média do ar obtidos nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações diárias com os obtidos nas estações convencionais pelas duas metodologias (FAO e INMET), verificou-se que os indicadores estatísticos foram similares tanto no período anual, chuvoso e seco, contudo as discrepâncias foram superiores quando se utilizou o método proposto pela FAO, uma vez que se baseia apenas na temperatura máxima e mínima diária. Apesar disso, recomenda-se o seu uso na ausência na maior quantidade de dados distribuídos ao longo do dia.

Ledo et al. (2011) compararam diferentes metodologias de obtenção da temperatura média diária do ar para cidade de Natal, RN. Adotaram como padrão o método recomendado pelo INMET, e constataram que o método recomendado pela FAO apresentou maior superestimativa dos valores de temperatura média do ar em relação ao padrão. Porém, Borges et al. (2014) observaram que os dois métodos podem ser utilizados sem problemas nas condições climáticas de Bom Jesus da Lapa, BA.

Porém ressalta-se que, a escolha de um dos métodos depende da disponibilidade do registro dos dados.

4.1.4 Umidade relativa média do ar (URmed)

4.1.4.1 URmed calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa do ar média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO, no período anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí estão na Tabela 12.

Tabela 12. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela FAO no período anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí

Local	URmed obtida na EMC pela metodologia recomendada pela FAO					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,860	2,248	0,927	0,809	0,750	Bom
Picos	0,759	3,701	0,871	0,802	0,698	Bom
São João do Piauí	0,908	2,345	0,952	0,865	0,824	Muito Bom
Floriano	0,849	-2,441	0,921	0,827	0,762	Muito Bom
Piripiri	0,799	2,119	0,893	0,791	0,707	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,903	2,088	0,950	0,850	0,807	Muito Bom
Picos	0,713	3,818	0,844	0,824	0,695	Bom
São João do Piauí	0,867	2,360	0,931	0,865	0,805	Muito Bom
Floriano	0,711	-2,458	0,843	0,842	0,709	Bom
Piripiri	0,802	-2,221	0,895	0,851	0,761	Muito Bom
Período seco						
Paulistana	0,756	3,053	0,869	0,858	0,746	Bom
Picos	0,703	-3,347	0,838	0,819	0,686	Bom
São João do Piauí	0,909	2,132	0,953	0,814	0,776	Muito Bom
Floriano	0,864	2,202	0,929	0,825	0,766	Muito Bom
Piripiri	0,726	-2,962	0,852	0,849	0,723	Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

*Em Parnaíba, não foi possível obter a umidade relativa média através do método adotado pela FAO na estação convencional, devido à ausência de dados horários completos (9h, 15h e 21h). Contudo, foi possível obter pela equação adotada pelo INMET através dos dados cedidos pela Embrapa Meio-Norte, onde a umidade já vem calculada diariamente justamente por meio dessa metodologia.

4.1.4.1.1 Período anual

Para a umidade relativa média, calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pela FAO, a melhor precisão dos dados foi observada entre as duas estações localizadas no município de São João do Piauí ($R^2= 0,908$). Nos demais locais, a dispersão dos dados foi maior: Paulistana ($R^2= 0,860$), Picos ($R^2= 0,759$), Floriano ($R^2= 0,849$) e Piripiri ($R^2= 0,799$). Em Piripiri, a dispersão dos dados observada possivelmente é atribuída a maior variação da umidade relativa do ar, uma vez que o município se encontra em uma zona de transição climática com o Estado do Maranhão. No caso das estações situadas nos municípios de Paulistana, Picos e Floriano, a menor precisão dos dados está mais relacionada a falhas dos sensores, tais como a perda de elasticidade dos fios de cabelo, ocasionada pelo acúmulo de poeira, nos sensores das estações convencionais ou também a problemas de calibração e limpeza nos sensores capacitivos das estações automáticas.

Ramos et al. (2008), comparando dados obtidos nas duas estações em três cidades do Estado do Espírito Santo (Linhares, São Mateus e Vitória), também verificaram alta dispersão dos dados de umidade relativa do ar, com valores de R^2 iguais a 0,712, 0,796 e 0,647, respectivamente, em contrapartida, Magalhães (2008) em Lavras, MG, obteve alta precisão dos dados ($R^2= 0,955$) para o mesmo elemento meteorológico.

A umidade relativa média do ar foi o elemento analisado que mostrou as maiores diferenças entre a EMC e EMA. A exceção de Floriano (EAM= -2,441%), houve superestimativa da EMC em relação a EMA, com diferenças de 2,248; 3,701; 2,345 e 2,119 % entre as duas estações nos municípios de Paulistana, Picos, São João do Piauí, e Piripiri, respectivamente. Estes valores, contudo, foram inferiores aos obtidos por Oliveira e Volpe (2003), de 5,9 %, Pereira et al. (2008), de 6,5 % e Almeida et al. (2008), de 9,2%.

As diferenças de valores na obtenção dos dados podem ocorrer devido ao tipo de elemento sensível dos instrumentos, que no caso da automática é um capacitor e na convencional, um termohigrógrafo, bem como a diferença na amostragem utilizada para se calcular a média da EMA e da EMC (PEREIRA et al., 2008). Segundo Oliveira e Volpe (2003) é conveniente, ao se utilizar dados da EMA, muito critério na obtenção e manipulação, além de uma análise de consistência, por serem comuns valores de umidade relativa do ar superiores a 100%.

A correlação dos dados foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,927$), São João do Piauí ($r= 0,952$) e Floriano ($r= 0,921$), igualmente verificado por Carvalho (2014) em Teresina, PI. Nos demais, foi classificada como muito alta: Picos ($r= 0,871$), e Piriipiri ($r= 0,893$), conforme observado também por Silva et al. (2004) na região do Submédio São Francisco.

Apesar disso, a concordância dos dados não foi boa, apresentando valores inferiores a 0,90: Paulistana ($d= 0,809$), Picos ($d= 0,802$), São João do Piauí ($d= 0,865$), Floriano ($d= 0,827$) e Piriipiri ($d= 0,791$). Comportamento semelhante foi constatado por Scarpate et al. (2006), em Piracicaba, SP.

Em termos de desempenho estatístico, as estações localizadas em São João do Piauí e Floriano apresentaram desempenho classificado como muito bom, assim como verificado por Carvalho (2014) em Teresina, PI. Nos demais locais, o desempenho foi considerado bom.

No Estado do Piauí, segundo Silva et al. (2004), a umidade relativa do ar oscila entre 60 e 90% em quase todo trimestre dezembro, janeiro e fevereiro, porém para a área do semiárido, esta flutuação sofre reduções devidas aos fatores provocadores do transporte de umidade e a sua orografia. No trimestre janeiro, fevereiro e março, a flutuação da umidade relativa do ar decai significativamente os seus valores (60 a 75%), e que a predominância da orografia e dos lençóis de águas é que determina o conteúdo de umidade disponível na atmosfera. Na área ao norte do Estado, onde as maiores concentrações de umidade relativa do ar ocorrem nos meses de fevereiro, março e abril, têm suas contribuições provocadas pelas formações das linhas de instabilidades, brisas, posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e vórtices ciclônicos de ar superior. Contudo, essa variabilidade da umidade relativa do ar existente entre as regiões do Estado do Piauí não influenciou na análise comparativa dos dados.

4.1.4.1.2 Período chuvoso

Os maiores valores de umidade relativa do ar juntamente com as maiores variações deste elemento meteorológico que são observados no período chuvoso, prejudicou a análise comparativa dos dados nos municípios de Picos ($R^2= 0,713$), São João do Piauí ($R^2= 0,867$) e Floriano ($R^2= 0,711$). As duas estações localizadas em Picos continuaram a apresentar as maiores discrepâncias dos dados, com valores de 3,818 %. A diferença dos dados, a exceção de Paulistana (0,160%), aumentou em todos

os locais: Picos (0,117 %), São João do Piauí (0,015%), Floriano (0,017%) e Piripiri (0,102 %).

A correlação dos dados foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,950$), São João do Piauí ($r= 0,931$), muito Alta em Picos ($r= 0,844$), Floriano ($r= 0,843$) e Piripiri ($r= 0,895$), comportamento semelhante ao constatado no período anual. A concordância dos dados novamente não foi boa: Paulistana ($d= 0,850$), Picos ($d= 0,824$), São João do Piauí ($d= 0,865$), Floriano ($d= 0,842$) e Piripiri ($d= 0,851$). Mesmo assim, o desempenho estatístico dos dados foi muito bom nos municípios de Paulistana, São João do Piauí e Piripiri, decrescendo para bom nos demais, similar ao observado no período anual.

4.1.4.1.3 Período seco

A precisão dos dados foi boa apenas entre as duas estações localizadas no município de São João do Piauí, com valor de R^2 igual a 0,909. Nos demais locais, a dispersão dos dados foi maior: Paulistana ($R^2= 0,756$), Picos ($R^2= 0,703$), Floriano ($R^2= 0,864$) e Piripiri ($R^2= 0,726$). Em comparação ao período chuvoso, a precisão dos dados decresceu nas estações situadas em Paulistana, Picos e Piripiri, aumentando nos demais. Comparado ao período anual, contudo, o ajustado dos dados diminuiu em todos os municípios, com exceção de São João do Piauí e Floriano.

Houve superestimativa dos dados de umidade relativa do ar obtidos na EMA em relação a EMC nos municípios de Picos e Piripiri. As maiores discrepâncias dos dados foram constatadas entre as duas estações de Picos ($EAM= -3,347$ %) e as menores em São João do Piauí ($EAM= 2,132$ %). Em comparação ao período chuvoso, as diferenças aumentaram nos municípios de Paulistana (0,965 %) e Piripiri (0,741), diminuindo nos demais: Picos (0,471 %), São João do Piauí (0,228 %) e Floriano (0,256 %). Comparado ao período anual, o erro médio aumentou entre os dados obtidos nas duas estações localizadas também em Paulistana (0,805 %) e Piripiri (0,843 %), diminuindo em Picos (0,358 %), São João do Piauí (0,213 %) e Floriano (0,239 %).

A correlação dos dados apresentou comportamento similar ao constatado no período chuvoso e anual, sendo classificada como quase perfeita nos municípios de São João do Piauí ($r= 0,953$) e Floriano ($r= 0,929$), e muito alta em Paulistana ($r= 0,869$), Picos ($r= 0,838$) e Piripiri ($r= 0,852$).

Contudo, a concordância dos dados, assim como no período chuvoso e anual não foi boa: Paulistana ($d= 0,858$), Picos ($d= 0,819$), São João do Piauí ($d= 0,814$), Floriano

(d= 0,825) e Piripiri (d= 0,849). Assim sendo, o índice de desempenho estatístico não sofreu maiores alterações em relação ao período chuvoso e anual: Paulistana (bom), Picos (bom), São João do Piauí (muito bom), Floriano (muito bom) e Piripiri (bom).

4.1.4.2 URmed calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia recomendada pela INMET

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa do ar média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia recomendada pela INMET, no período anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí estão na Tabela 13.

Tabela 13. Coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de umidade relativa média calculada nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações horárias e nas convencionais pela metodologia adotada pelo INMET no período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	URmédia obtida na EMC pela metodologia adotada pela INMET					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,839	3,238	0,915	0,824	0,754	Bom
Picos	0,755	-3,320	0,868	0,826	0,717	Bom
São João do Piauí	0,905	2,154	0,951	0,897	0,853	Ótimo
Floriano	0,918	2,843	0,958	0,814	0,779	Muito Bom
Parnaíba	0,881	-1,331	0,938	0,848	0,795	Muito Bom
Piripiri	0,780	2,445	0,883	0,829	0,732	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,860	3,596	0,927	0,899	0,833	Muito Bom
Picos	0,763	-4,592	0,873	0,800	0,698	Bom
São João do Piauí	0,849	1,337	0,921	0,898	0,827	Muito Bom
Floriano	0,760	3,312	0,871	0,823	0,717	Bom
Parnaíba	0,734	-1,230	0,856	0,829	0,710	Bom
Piripiri	0,765	2,184	0,874	0,801	0,700	Bom
Período seco						
Paulistana	0,752	3,808	0,867	0,874	0,757	Bom
Picos	0,717	-2,146	0,846	0,875	0,740	Bom
São João do Piauí	0,906	1,321	0,951	0,818	0,778	Muito Bom
Floriano	0,866	2,522	0,930	0,861	0,801	Muito Bom
Parnaíba	0,824	1,518	0,907	0,867	0,787	Muito Bom
Piripiri	0,705	2,383	0,839	0,896	0,752	Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho

4.1.4.2.1 Período anual

Para a umidade relativa média do ar calculada nas estações meteorológicas convencionais pela metodologia adotada pela INMET, a melhor precisão dos dados foi observada entre as duas estações localizadas nos municípios de São João do Piauí ($R^2= 0,905$) e Floriano ($R^2= 0,918$). Nos demais locais, a dispersão dos dados foi maior: Paulistana ($R^2= 0,830$), Picos ($R^2= 0,755$), Parnaíba ($R^2= 0,881$) e Piripiri ($R^2= 0,780$). Também utilizando a mesma equação para o cálculo da umidade relativa média do ar, Souza et al. (2003) em Maringá, PR e Almeida e Hermenegildo (2013) em Areia, PB, encontraram R^2 de 0,888 e 0,834, semelhantes aos constatados em Paulistana e Parnaíba.

As maiores diferenças entre os dados de umidade relativa do ar foram visualizadas entre as duas estações situadas em Picos (EAM= -3,320 %) e as menores em Parnaíba (EAM= -1,331 %). Houve superestimativa da EMC em relação a EMA nas estações situadas nos municípios de Paulistana (EAM= 3,238 %) e Floriano (EAM= 2,843 %). Nas demais, as diferenças foram: São João do Piauí (EAM= 2,154 %) e Piripiri (EAM= 2,445 %). As diferenças encontradas foram próximas as obtidas por Fisch e Santos (1997), que foi de 3 % e dos 3,6% relatados por Sentelhas et al. (1997).

A correlação dos dados foi quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,915$), São João do Piauí ($r= 0,951$), Floriano ($r= 0,958$) e Parnaíba ($r= 0,938$). Nos demais, foi classificada como muito alta: Picos ($r= 0,861$) e Piripiri ($r= 0,883$). Em contrapartida, a concordância dos dados não foi boa em nenhum dos municípios: Paulistana ($d= 0,829$), Picos ($d= 0,826$), São João do Piauí ($d= 0,897$), Floriano ($d= 0,814$), Parnaíba ($d= 0,848$) e Piripiri ($d= 0,829$). Em Maringá, PR, Souza et al. (2003) obtiveram alta correlação ($r= 0,938$) e concordância dos dados ($d=0,996$).

Contudo, o desempenho estatístico dos dados comparados entre as duas estações foi alto nos municípios de São João do Piauí (ótimo), Floriano (muito bom) e Parnaíba (muito bom), decrescendo para bom nos demais, mesma performance encontrada por Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, PB.

4.1.4.2.2 Período chuvoso

Os maiores valores de umidade relativa do ar no período chuvoso não favoreceu a comparação dos dados nos municípios de São João do Piauí ($R^2= 0,849$), Floriano ($R^2= 0,760$), Parnaíba ($R^2= 0,734$) e Piripiri ($R^2= 0,765$), que apresentaram dados com maior dispersão em relação ao período anual.

As maiores diferenças entre os dados continuaram entre as duas estações situadas em Picos (EAM= -4,592%) e as menores em Parnaíba (EAM= -1,230 %), com superestimativa da EMA em relação a EMC. Em comparação ao período anual, as diferenças aumentaram em Paulistana (0,358 %), Picos (1,272 %) e Floriano (0,469 %), diminuindo nas demais: São João do Piauí (0,817 %), Parnaíba (0,101 %) e Piripiri (0,261 %).

A correlação dos dados entre as duas estações apresentou comportamento similar ao constatado no período anual, sendo classificada como quase perfeita nos municípios de Paulistana ($r= 0,927$), São João do Piauí ($r= 0,921$) e muito alta nos demais: Picos ($r= 0,873$), Floriano ($r= 0,871$), Parnaíba ($r= 0,856$) e Piripiri ($r= 0,874$).

Assim como no período anual, a concordância dos dados não foi boa em nenhum dos municípios: Paulistana ($d= 0,899$), Picos ($d= 0,800$), São João do Piauí ($d= 0,898$), Floriano ($d= 0,823$), Parnaíba ($d= 0,829$) e Piripiri ($d= 0,801$). Com isso, os desempenhos estatísticos não apresentaram maiores mudanças em relação ao período anual: Paulistana (muito bom), Picos (bom), São João do Piauí (muito bom), Floriano (bom), Parnaíba (bom) e Piripiri (bom).

4.1.4.2.2 Período seco

A precisão dos dados foi boa apenas entre as duas estações localizadas no município de São João do Piauí, com valor de R^2 igual a 0,906. Nos demais locais, houve maior dispersão dos dados: Paulistana ($R^2= 0,752$), Picos ($R^2= 0,717$), Floriano ($R^2= 0,866$), Parnaíba ($R^2= 0,824$) e Piripiri ($R^2= 0,705$). Em comparação ao período chuvoso, a precisão dos dados decresceu nas estações situadas em Paulistana, Picos e Piripiri, aumentando nas demais. Comparado ao período anual, contudo, o ajuste dos dados diminuiu em todos os municípios, com exceção de São João do Piauí.

Houve superestimativa dos dados obtidos na EMA em relação a EMC apenas no município de Picos (EAM= -2,146 %). As maiores discrepâncias dos dados foram constatadas entre as duas estações de Paulistana (EAM= 3,808 %) e as menores em São João do Piauí (EAM= 1,321 %). Em comparação ao período chuvoso, as diferenças

aumentaram nos municípios de Paulistana (0,212), Parnaíba (0,288 %) e Piripiri (0,199 %), diminuindo nos demais: Picos (2,446 %), São João do Piauí (0,016 %) e Floriano (0,790 %). Comparado ao período anual, o erro médio aumentou também entre os dados obtidos nas duas estações localizadas em Paulistana (0,570 %) e Parnaíba (0,187 %), diminuindo nas demais: Picos (1,174 %), São João do Piauí (0,833 %), Floriano (0,321 %) e Piripiri (0,062 %).

A correlação dos dados entre as duas estações foi classificada como quase perfeita nos municípios de São João do Piauí ($r=0,951$), Floriano ($r=0,930$) e Parnaíba ($r=0,907$) e muito alta em Paulistana ($r=0,867$), Picos ($r=0,846$) e Piripiri ($r=0,839$). Comportamento similar foi constatado no período chuvoso e anual.

A concordância dos dados, assim como no período chuvoso e anual não foi boa: Paulistana ($d=0,874$), Picos ($d=0,875$), São João do Piauí ($d=0,818$), Floriano ($d=0,861$), Parnaíba ($d=0,867$) e Piripiri ($d=0,896$). Com isso, os desempenhos estatísticos dos dados também foram semelhantes aos verificados no período chuvoso e anual: Paulistana (bom), Picos (bom), São João do Piauí (muito bom), Floriano (muito bom), Parnaíba (muito bom) e Piripiri (bom).

De maneira geral, comparando os dados de umidade relativa do ar obtidos nas estações meteorológicas automáticas pela média das 24 observações diárias com os obtidos nas estações convencionais pelas duas metodologias (FAO e INMET), verificou-se que os indicadores estatísticos foram semelhantes tanto no período anual, chuvoso e seco, indicando que as duas equações foram consideradas satisfatórias.

4.1.5 Precipitação

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados de precipitação entre as duas estações são visualizados na Tabela 14. Verificou-se pequena dispersão dos dados, indicando boa precisão para este meteorológico entre as duas estações em todos os municípios: Paulistana (0,944), Picos (0,925), São João do Piauí (0,974), Floriano (0,978), Parnaíba (0,980) e Piripiri (0,904). Cunha e Martins (2004), Oliveira et al. (2008) e Scarpate et al. (2006) também encontraram boa precisão para os dados de precipitação nos municípios de Botucatu, Jaboticabal, e Piracicaba, SP, com R^2 de 0,975, 0,973 e 0,990, respectivamente.

Com exceção de Paulistana ($EAM=0,178$ mm), houve superestimativa da EMA em relação a EMC igualmente observado por Silva et al. (2004) para a Região do Submédio São Francisco, PE. A diferença entre os dados obtidos nas duas estações

foram pequenas, sendo que em Paulistana e Parnaíba (EAM= 0,178 e EAM= -0,100 mm, respectivamente) ficou dentro da faixa de resolução mínima do sensor que varia de 0,10 a 0,20 mm, dependendo da marca. WMO (1983) recomenda a utilização de sensores com resolução mínima de 0,20 mm. Esta diferença não pode ser justificada pelos sensores da EMA quando comparado com o da EMC, mas ao elemento chuva por ser extremamente variável no tempo e no espaço (ALMEIDA, 2012) Comportamento semelhante foi observado por Cunha e Martins (2004).

Tabela 14. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico precipitação entre as duas estações situadas em municípios no Estado do Piauí.

Local	Precipitação (mm)					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Período anual						
Paulistana	0,944	0,178	0,971	0,932	0,905	Ótimo
Picos	0,925	-0,339	0,961	0,918	0,883	Ótimo
São João do Piauí	0,974	-0,400	0,986	0,996	0,991	Ótimo
Floriano	0,978	-0,300	0,988	0,940	0,929	Ótimo
Parnaíba	0,980	-0,100	0,989	0,9067	0,8975	Ótimo
Piripiri	0,904	-0,346	0,950	0,965	0,917	Ótimo

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

Nos demais locais, as diferenças foram: Picos (- 0,339 mm), São João do Piauí (- 0,400 mm), Floriano (- 0,300 mm) e Piripiri (- 0,346 mm), inferiores às obtidas por outros trabalhos existentes na literatura, tais como os de Sentelhas et al. (1997), Magalhães (2008), Oliveira et al. (2008) e Silva et al. (2004), que encontraram valores de 0,47; 0,87; 0,46 e 2,23 mm, respectivamente. As pequenas diferenças observadas no presente estudo são justificadas pela proximidade entre as duas estações em todos os municípios.

O coeficiente de correlação *r* proposto por Hopkins (2000), foi classificado como quase perfeito para todos os municípios abrangidos no estudo: Floriano (0,98), Picos (0,96), Piripiri (0,95), São João do Piauí (0,98), Parnaíba (0,98) e Paulistana (0,97), igualmente observado por Carvalho (2014), em Teresina, PI.

O índice de concordância de Willmott (*d*) foi superior a 0,90 em todos os municípios: Floriano (0,94), Picos (0,91), Piripiri (0,96), São João do Piauí (0,99), Parnaíba (0,90) e Paulistana (0,93). Lucas et al. (2006), em Recife, PE e Garcez et al. (2010), em Belém, PA e Scarpore et al. (2006), em Piracicaba, obtiveram valores de 0,99;

0,97 e 0,99, respectivamente, para o mesmo índice matemático, semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Como resultado, verificou-se que ambos os municípios apresentaram desempenho classificado como ótimo. Carvalho (2014), em Teresina, PI e Almeida e Hermenegildo (2013), em Areia, PB, comparando dados de uma estação automática e convencional, também encontraram desempenho classificado como ótimo para a precipitação.

4.1.6 Pressão atmosférica

Os coeficientes estatísticos para análise de concordância dos dados pressão atmosférica comparados entre as duas estações no período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí estão na Tabela 15.

Tabela 15. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico pressão atmosférica entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Pressão atmosférica (hPa)					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Período anual						
Paulistana	0,976	0,140	0,987	0,999	0,987	Ótimo
Picos	0,940	3,292	0,969	0,834	0,796	Muito Bom
São João do Piauí	0,952	0,461	0,976	0,991	0,968	Ótimo
Floriano	0,902	0,799	0,949	0,906	0,860	Ótimo
Parnaíba	0,878	1,179	0,937	0,842	0,788	Muito Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,917	0,184	0,957	0,999	0,956	Ótimo
Picos	0,924	3,169	0,961	0,860	0,827	Muito Bom
São João do Piauí	0,859	0,546	0,926	0,989	0,917	Ótimo
Floriano	0,811	0,901	0,900	0,816	0,734	Bom
Parnaíba	0,825	1,010	0,907	0,869	0,788	Muito Bom
Período seco						
Paulistana	0,981	0,107	0,990	0,999	0,989	Ótimo
Picos	0,935	3,359	0,966	0,834	0,806	Muito Bom
São João do Piauí	0,950	0,383	0,974	0,991	0,965	Ótimo
Floriano	0,915	0,760	0,955	0,922	0,882	Ótimo
Parnaíba	0,899	1,229	0,948	0,859	0,814	Muito Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho

*Em Piri-piri, não foi realizada análise comparativa entre os dados da EMA e EMC para a pressão atmosférica, devido à ausência de dados para este elemento meteorológico no período que compreende este estudo na estação convencional.

4.1.6.1 Período anual

Para a pressão atmosférica, verificou-se boa precisão dos dados para os municípios de Paulistana ($R^2= 0,975$), Picos ($R^2= 0,940$), São João do Piauí ($R^2= 0,952$) e Floriano ($R^2= 0,902$), sofrendo ligeiro decréscimo em Parnaíba ($R^2= 0,878$). Souza et al. (2003) em Maringá, PR e Oliveira et al. (2008) em Jaboticabal, SP, encontraram boa precisão para o mesmo elemento meteorológico em seus estudos, com valores de R^2 de 0,960, 0,911, semelhantes aos constatados na maioria dos municípios.

Os valores de pressão atmosférica obtidos pela estação meteorológica convencional foram consistentemente superiores aos da automática em todos os municípios. As maiores diferenças foram observadas nos municípios de Picos (3,292 hPa) e Parnaíba (1,179hPa), sendo justificadas pelas diferenças de altitude entre as duas estações (233 m para a EMA e 207,9 m para a EMC, em Picos, e de 57 m para a EMA e 79,5 m para a EMC, em Parnaíba).

Segundo Wallace e Hobbes (1977), para uma variação de 28 m na altitude em condições de atmosfera padrão e ar seco, tem-se uma variação de 3,17 hPa no valor médio da pressão atmosférica. Sousa et al. (2002), em Maringá, também observaram valores superiores obtidos pela EMC para o mesmo elemento meteorológico. Os autores atribuíram tal diferença, que foi de 2,8 hPa, à diferença de altitude entre as duas estações (542m para a EMC e 570m para a EMA).

Nos demais municípios, as estações estão localizadas praticamente na mesma cota de altitude. Nesse caso, as diferenças encontradas (0,140 hPa em Paulistana, 0,461 hPa em São João do Piauí e 0,799 hPa em Floriano) podem ser atribuídas ao princípio de medição dos equipamentos e/ou ao fato da pressão atmosférica ser obtida na EMC a partir da média de três leituras diárias (9, 15 e 21 h), enquanto que na EMA, foi calculada pela média dos valores registrados a cada hora do dia (0 a 24 h).

Mesmo assim, a correlação entre os dados das duas estações foi classificada como quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,987$), Picos ($r= 0,969$), São João do Piauí ($r= 0,976$), Floriano ($r= 0,949$) e Parnaíba ($r= 0,937$). Já os valores do índice de concordância de Wilmott obtidos foram altos em Paulistana ($d= 0,999$), Picos ($d= 0,834$), São João do Piauí ($d= 0,991$), Floriano ($d= 0,906$), diminuindo em Parnaíba ($d= 0,842$). Oliveira et al. (2008), em Jaboticabal, SP, obtiveram altos valores de correlação (0,963), porém baixa concordância (0,740) para a pressão atmosférica.

Contudo, o desempenho dos dados comparados entre as duas estações foram altos em todos os municípios: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (ótimo), Floriano (ótimo) e Parnaíba (muito bom). Segundo Carvalho (2014), a pressão atmosférica é influenciada pela radiação solar, temperatura do ar, altitude. Como a variação desses fatores é relativamente pequena, em função da proximidade da linha do Equador, a pressão atmosférica é pouco influenciada.

4.1.6.2 Período chuvoso

Apenas os municípios de Picos e Paulistana continuaram com boa precisão ($R^2= 0,917$ e $0,924$). No período chuvoso, a temperatura do ar diminuiu causando a compressão do ar e, conseqüentemente, o aumento da pressão atmosférica, o que prejudicou a análise comparativa dos dados nos demais locais: São João do Piauí ($R^2= 0,859$) e Floriano ($R^2= 0,811$) e Parnaíba ($R^2= 0,825$).

Os dados das estações meteorológicas convencionais novamente superestimaram os das automáticas. As maiores diferenças registradas entre nas duas estações continuaram sendo em Picos (EAM= 3,169 hPa) e Parnaíba (EAM= 1,010 hPa), e nos demais locais, as diferenças aumentaram em comparação às verificadas no período anual: Paulistana (0,044 hPa), São João do Piauí (0,085 hPa) e Floriano (0,102 hPa).

A correlação obtida entre os dados novamente foi classificada como quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,957$), Picos ($r= 0,961$), São João do Piauí ($r= 0,926$), Floriano ($r= 0,900$) e Parnaíba ($r= 0,907$). Porém, o mesmo não foi verificado para o índice de concordância, que apresentou valores inferiores em Floriano ($d= 0,816$), e nos demais municípios não teve muitas mudanças: Picos ($d= 0,860$), São João do Piauí ($d= 0,989$), Floriano ($d= 0,816$) e Parnaíba ($d= 0,869$).

Mesmo assim, o desempenho dos dados foi alto em todos os municípios: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (ótimo), Floriano (bom) e Parnaíba (muito bom), comportamento similar ao constatado no período anual.

4.1.6.3 Período seco

No período seco, a precisão dos dados aumentou em comparação ao período chuvoso, passando a apresentar valores similares aos verificados no período anual: Paulistana ($R^2= 0,981$), Picos ($R^2= 0,935$), São João do Piauí ($R^2= 0,950$), Floriano ($R^2= 0,915$) e Parnaíba ($R^2= 0,899$). No período seco, a temperatura do ar aumenta,

causando a expansão do ar e, conseqüentemente, diminuição da pressão atmosférica, o que favoreceu a análise comparativa dos dados.

As estações meteorológicas convencionais continuaram a apresentar dados superiores aos das automáticas. As maiores diferenças entre as duas estações continuaram sendo registradas em Picos (3,35 hPa) e Parnaíba (1,22 hPa). Nos demais locais, as discrepâncias diminuíram em comparação ao período chuvoso: Paulistana (0,077 hPa), São João do Piauí (0,163 hPa) e Floriano (0,141 hPa) e ao anual: Paulistana (0,033 hPa), São João do Piauí (0,078 hPa) e Floriano (0,039 hPa).

Conforme constatado nos períodos anual e chuvoso, a correlação dos dados foi quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,990$), Picos ($r= 0,966$), São João do Piauí ($r= 0,974$), Floriano ($r= 0,955$) e Parnaíba ($r= 0,948$). O índice de concordância de Willmott apresentou valores superiores a 0,90 nos municípios de Paulistana ($d= 0,999$) São João do Piauí ($d= 0,991$) e Floriano ($d= 0,922$), reduzindo em Picos ($d= 0,834$) e Parnaíba ($d= 0,859$). Contudo, assim como no período chuvoso e anual, os desempenhos verificados foram altos em todos os locais: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (ótimo), Floriano (ótimo) e Parnaíba (muito bom).

4.1.7 Velocidade do vento

Os indicadores estatísticos para análise de concordância dos dados de velocidade do vento entre as duas estações nos períodos anual, chuvoso e seco para municípios localizados no Estado do Piauí estão na Tabela 16.

Tabela 16. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico velocidade do vento (10 m de altura) entre as duas estações em municípios localizados no Estado do Piauí.

Local	Velocidade do vento (m.s ⁻¹) – 10 m					Desempenho
	R ²	EAM	r	d	c	
Período anual						
Paulistana	0,712	0,353	0,843	0,908	0,766	Muito Bom
Picos	0,567	-0,186	0,752	0,941	0,708	Bom
São João do Piauí	0,681	0,410	0,825	0,858	0,708	Bom
Floriano	0,524	0,136	0,738	0,928	0,671	Bom
Parnaíba	0,730	0,539	0,854	0,940	0,803	Muito Bom
Piripiri	0,450	0,389	0,670	0,793	0,531	Sofrível
Período chuvoso						
Paulistana	0,602	0,418	0,775	0,806	0,625	Mediano
Picos	0,462	-0,203	0,679	0,924	0,628	Mediano
São João do Piauí	0,482	0,442	0,694	0,812	0,563	Sofrível
Floriano	0,506	-0,134	0,711	0,900	0,640	Mediano
Parnaíba	0,665	0,540	0,815	0,810	0,660	Bom
Piripiri	0,385	0,313	0,620	0,797	0,495	Mau
Período seco						
Paulistana	0,626	0,305	0,791	0,869	0,687	Bom
Picos	0,514	-0,172	0,716	0,926	0,663	Bom
São João do Piauí	0,664	0,394	0,814	0,912	0,743	Bom
Floriano	0,432	0,169	0,657	0,889	0,583	Sofrível
Parnaíba	0,758	0,421	0,870	0,949	0,826	Muito Bom
Piripiri	0,419	0,458	0,647	0,752	0,486	Mau

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho

4.1.7.1 Período anual

Para a velocidade do vento, a precisão dos dados não foi boa em nenhum dos municípios, sendo a pior dentre todos os elementos meteorológicos avaliados. Os valores obtidos foram: Paulistana (R²= 0,712), Picos (R²= 0,567), São João do Piauí (R²= 0,681), Floriano (R²= 0,524), Parnaíba (R²= 0,730) e Piripiri (R²= 0,450). Sentelhas (1998) e Cunha e Martins (2004), também não encontraram boa precisão para este mesmo elemento meteorológico, com valores de 0,569 e 0,329, respectivamente.

Sentelhas (1998) atribuiu essa grande dispersão dos dados ao fato de que a velocidade do vento a 2m na EMC foi estimada em função da velocidade observada a 10m, segundo o método recomendado por Allen et al. (1989) e apresentado por Smith (1991), sendo, portanto, uma das fontes dos erros observados. No presente estudo, porém, comparou-se a velocidade do vento a 10 m de altura. Assim sendo, acredita-se que a alta dispersão dos dados encontrada é justificada nesse caso, às diferenças de sensibilidade dos sensores das duas estações e à própria natureza desse

elemento meteorológico, caracterizada pela grande variabilidade na sua ocorrência, que pode causar dispersão dos valores medidos, conforme mencionado por Cunha e Martins (2004).

As estações meteorológicas convencionais apresentaram dados de velocidade do vento superiores aos das automáticas, à exceção do município de Picos (EAM= $-0,186 \text{ m s}^{-1}$). As maiores diferenças entre os dados foram observadas nas estações de Parnaíba (EAM= $0,539 \text{ m s}^{-1}$), ao passo que as menores foram registradas em Floriano (EMA= $0,036 \text{ m s}^{-1}$). As demais discrepâncias observadas foram: Paulistana (EAM= $0,353 \text{ m s}^{-1}$), São João do Piauí (EAM= $0,410 \text{ m s}^{-1}$) e Piriipiri (EAM= $0,389 \text{ m s}^{-1}$). Essas diferenças foram semelhantes às encontradas por Oliveira e Volpe (2003), que foi de $0,37 \text{ m s}^{-1}$ e inferior às obtidas por Sentelhas et al. (1997), de $0,71 \text{ m s}^{-1}$.

Os sensores de velocidade do vento utilizados são diferentes para a EMA e EMC, cada uma tem seu próprio momento de partida como de parada, fazendo com que exista um maior efeito da inércia no conjunto das canecas do anemógrafo da EMC (PEREIRA et al., 2008). Mesmo que se utilizem sensores de um mesmo modelo e adequadamente calibrados, haverá diferenças entre as medidas de velocidade do vento obtidas em função dos sensores estarem em pontos diferentes num mesmo local (CUNHA e MARTINS, 2004).

Os municípios de Paulistana ($r= 0,854$), Picos ($r= 0,752$) e São João do Piauí ($r= 0,825$) apresentaram correlação classificada como muito alta. Na mesma categoria, encontrou-se Floriano ($r= 0,738$) e Parnaíba ($r= 0,854$), enquanto que as estações de Piriipiri, apresentaram correlação menor ($0,670$), classificada como alta. Os valores de correlação obtidos foram superiores aos encontrados por Carvalho (2014) em Teresina, que foi de $0,573$.

À exceção das estações situadas nos municípios de Piriipiri ($d= 0,793$) e São João do Piauí ($d= 0,708$), a concordância dos dados entre as duas estações foi superior a $0,90$ nos demais locais: Floriano ($d= 0,928$), Paulistana ($d= 0,940$), Parnaíba ($d= 0,908$) e Picos ($d= 0,941$). Valores semelhantes para a concordância dos dados de velocidade do vento foram observados por Pereira et al. (2008) e Souza et al. (2004), que foi de $0,914$ e $0,868$, respectivamente.

Em termos de desempenho, as duas estações situadas em Paulistana, juntamente com as de Parnaíba, apresentaram melhor desempenho, classificadas como muito bom. As estações dos municípios de Picos, São João do Piauí e Floriano apresentaram

desempenho inferior, considerado bom. O pior desempenho para a velocidade do vento, no entanto, foi registrado entre as duas estações de Piripiri, classificada como sofrível, mesma performance encontrada por Carvalho (2014), em Teresina, PI.

4.1.7.2 Período chuvoso

Todas as estações apresentaram alta dispersão para os dados de velocidade do vento, indicando baixa precisão para o elemento meteorológico, mesmo comportamento observado no período anual. Os valores de precisão encontrados foram: Floriano ($R^2= 0,506$), Parnaíba ($R^2= 0,665$), Paulistana ($R^2= 0,602$), Picos ($R^2= 0,462$), Piripiri ($R^2= 0,385$) e São João do Piauí ($R^2= 0,482$).

As maiores diferenças entre os dados foram encontradas em Parnaíba ($EAM= 0,540 \text{ m s}^{-1}$) e as menores foram verificadas em Floriano ($EAM= -0,134 \text{ m s}^{-1}$). Em comparação com o período anual, as discrepâncias aumentaram em Paulistana ($0,065 \text{ m s}^{-1}$), Picos ($0,017 \text{ m s}^{-1}$), São João do Piauí ($0,032 \text{ m s}^{-1}$), diminuiu em Piripiri ($0,076 \text{ m s}^{-1}$), e nos demais, mantiveram-se praticamente as mesmas.

A correlação dos dados, assim como no período anual, foi muito alta nos municípios de Paulistana ($r= 0,775$), Floriano ($r= 0,711$) e Parnaíba ($r= 0,815$), decrescendo para alta em Picos ($r= 0,679$) e São João do Piauí ($r= 0,694$). Porém, a concordância dos dados continuou alta apenas em Picos ($d= 0,924$) e Floriano ($d= 0,900$). Como consequência, todos os municípios apresentaram desempenho inferior ao verificado no período anual: Paulistana (mediano), Picos (mediano), São João do Piauí (sofrível), Floriano (mediano), Parnaíba (bom) e Piripiri (mau).

4.1.7.3 Período seco

Os dados de velocidade do vento novamente apresentaram baixa precisão, conforme já constatado no período anual e chuvoso, com valores para cada município iguais a: Paulistana ($R^2= 0,626$), Picos ($R^2= 0,514$), São João do Piauí ($R^2= 0,664$), Floriano ($R^2= 0,432$), Parnaíba ($R^2= 0,758$) e Piripiri ($R^2= 0,419$).

Os dados das estações meteorológicas convencionais novamente superestimaram os obtidos nas automáticas, à exceção do município de Picos ($EAM= 0,172 \text{ m s}^{-1}$). As menores diferenças entre os dados das duas estações foram constatadas em Floriano ($EAM= 0,169 \text{ m s}^{-1}$), repetindo o mesmo comportamento observado nos período anual e chuvoso, enquanto as maiores foram encontradas em Piripiri ($EAM= 0,458 \text{ m s}^{-1}$).

Porém, quando a análise comparativa foi realizada nos períodos chuvoso e anual, as maiores discrepâncias entre os dados foram observadas em Parnaíba.

As estações localizadas nos municípios de Paulistana ($r= 0,791$), Picos ($r= 0,716$), São João do Piauí ($r= 0,814$) e Parnaíba ($r= 0,870$) apresentaram correlação muito alta. Enquanto isso, nas estações dos municípios de Floriano e Piripiri, a correlação foi inferior, classificada como alta. Comparada ao período chuvoso, a correlação decresceu apenas entre as duas estações localizadas em Floriano (muito alta para alta), aumentando em Picos (alta para muito alta) e São João do Piauí (alta para muito alta) e mantendo-se na mesma categoria nas estações situadas nos demais municípios. Em relação ao período anual, no entanto, houve mudança na correlação dos dados apenas em Floriano, que novamente sofreu redução (muito alta para alta).

A concordância dos dados foi superior a 0,90 nos municípios de Picos ($d= 0,926$) e São João do Piauí ($d= 0,912$) e Parnaíba ($d= 0,949$). Em comparação ao período chuvoso, a concordância aumentou em Parnaíba, Paulistana e São João do Piauí, e apresentou declínio em Floriano e Piripiri. Em relação ao período anual, no entanto, a concordância manteve-se em Parnaíba, aumentou em São João do Piauí, e nas estações dos demais municípios decresceu.

Os desempenhos obtidos entre os dados de velocidade do vento para cada município foram: Floriano (sofrível), Parnaíba (muito bom), Paulistana (bom), Picos (bom), Piripiri (mau) e São João do Piauí (bom). Em comparação ao período chuvoso, houve aumento no desempenho dos dados nas estações de Paulistana (mediano para bom), Picos (mediano para bom), São João do Piauí (sofrível para bom) e Parnaíba (bom para muito bom), havendo decréscimos apenas em Floriano (mediano para sofrível). Porém, em comparação ao período anual, o desempenho dos dados decresceu novamente em Floriano (bom para sofrível), e nos demais locais, mantiveram-se performances similares.

4.1.8 Radiação solar global

Os indicadores estatísticos para análise de concordância dos dados de radiação solar global medidos na EMA e estimados na EMC nos períodos anual, chuvoso e seco para municípios situados no Estado do Piauí estão na Tabela 17.

Tabela 17. Indicadores estatísticos para a análise de concordância do elemento meteorológico radiação solar global entre as duas estações em municípios situados no Estado do Piauí no período anual, chuvoso e seco.

Local	Radiação solar global (MJ.m ⁻² dia ⁻¹)					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,817	0,514	0,903	0,700	0,632	Mediano
Picos	0,815	0,270	0,902	0,732	0,660	Bom
São João do Piauí	0,829	0,548	0,910	0,788	0,717	Bom
Floriano	0,840	-0,441	0,916	0,817	0,748	Bom
Parnaíba	0,814	-0,912	0,902	0,805	0,726	Bom
Piripiri	0,830	0,199	0,911	0,762	0,694	Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,899	0,260	0,948	0,704	0,667	Bom
Picos	0,867	-0,220	0,931	0,867	0,807	Muito Bom
São João do Piauí	0,869	-0,251	0,932	0,888	0,827	Muito Bom
Floriano	0,860	-0,285	0,927	0,810	0,751	Bom
Parnaíba	0,840	0,380	0,916	0,814	0,746	Bom
Piripiri	0,812	-0,216	0,901	0,779	0,701	Bom
Período seco						
Paulistana	0,919	0,220	0,958	0,889	0,852	Ótimo
Picos	0,864	0,115	0,929	0,871	0,809	Muito Bom
São João do Piauí	0,874	-0,108	0,934	0,831	0,776	Muito Bom
Floriano	0,837	-0,869	0,914	0,802	0,733	Bom
Parnaíba	0,827	-0,665	0,909	0,890	0,809	Muito Bom
Piripiri	0,871	0,580	0,933	0,825	0,769	Muito Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

4.1.8.1 Período anual

Na comparação dos dados de radiação solar entre as duas estações, verificou-se que a precisão dos dados foi razoável em todos os municípios: Paulistana (R²= 0,817), Picos (R²= 0,815), São João do Piauí (R²= 0,829), Floriano (R²= 0,840), Parnaíba (R²= 0,814) e Piripiri (R²= 0,830). Contudo, Magalhães (2008) em Lavras, MG e Fraga Júnior et al. (2012) em Ouricuri, PE, encontraram alta dispersão dos dados para o mesmo elemento meteorológico, com valores de R² iguais 0,642 e 0,669, inferiores aos obtidos no presente estudo. Este comportamento é justificado pelo fato de que no

presente estudo, os coeficientes a e b da equação de Angström-PreScott foram calculados especificamente para cada município, permitindo assim, uma maior proximidade dos dados de radiação solar estimados pela EMC em relação aos medidos pela EMA.

Os dados das estações meteorológicas convencionais superestimaram aos obtidos nas automáticas em todos os locais, a exceção de Floriano ($EAM= 0,441 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e Parnaíba ($EAM= 0,912 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). As maiores discrepâncias entre os dados foram observadas em Parnaíba ($EAM= 0,912 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e as menores em Piripiri ($EAM= 0,199 \text{ MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$). Valores de radiação solar maiores na EMC em relação à EMA também foram observados por Scarpate et al. (2006), em Piracicaba, SP, com erro médio de $0,125 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A correlação dos dados foi quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,903$), Picos ($r= 0,902$), São João do Piauí ($r= 0,910$), Floriano ($r= 0,916$), Parnaíba ($r= 0,902$) e Piripiri ($r= 0,911$), enquanto em Ouricuri, PE, Queiroz et al. (2012), obtiveram correlação classificada como muito alta.

No entanto, a concordância dos dados foi baixa, com valores de 0,700; 0,732; 0,788; 0,817; 0,805 e 0,762 para os municípios de Paulistana, Picos, São João do Piauí, Floriano, Parnaíba e Piripiri. Em Piracicaba, SP, Scarpate et al. (2006) comparou dados de temperatura média, umidade relativa, radiação solar e precipitação, e verificaram que a radiação solar apresentou a pior concordância ($d= 0,652$) entre os elementos avaliados.

Mesmo assim, o desempenho estatístico dos dados foi considerado mediano em Paulistana, e bom nos demais locais. Esse comportamento deve se repetir para a radiação líquida, uma vez que foi estimada com base apenas na radiação solar global, e também para a evapotranspiração de referência, uma vez que a radiação solar é o elemento meteorológico que mais influência em sua estimativa.

4.1.8.2 Período chuvoso

Os menores valores de radiação solar global registrados no período chuvoso propiciaram um leve incremento na precisão dos dados: Paulistana ($R^2= 0,899$), Picos ($R^2= 0,867$), São João do Piauí ($R^2= 0,869$), Floriano ($R^2= 0,860$), Parnaíba ($R^2= 0,840$), a exceção das duas estações localizadas em Piripiri ($R^2= 0,812$).

Os dados das estações automáticas superestimaram os obtidos nas convencionais apenas nos municípios de Parnaíba ($EAM= 0,380 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Paulistana

(EAM= 0,260 MJ m⁻² dia⁻¹). As maiores e menores discrepâncias dos dados continuaram sendo observadas em Parnaíba (EAM= 0,380 MJ m⁻² dia⁻¹) e Piripiri (EAM= 0,216 MJ m⁻² dia⁻¹), respectivamente. Em relação ao período anual, as diferenças entre os dados aumentaram apenas entre as duas estações localizadas em Piripiri (0,017 MJ m⁻² dia⁻¹).

A correlação dos dados, assim como no período anual, foi quase perfeita em todos os municípios: Paulistana (r= 0,948), Picos (r= 0,931), São João do Piauí (r= 0,932), Floriano (r= 0,927), Parnaíba (r= 0,916) e Piripiri (r= 0,901). A concordância dos dados permaneceu baixa, com valores inferiores a 0,90: Paulistana (d= 0,704), Picos (d= 0,867), São João do Piauí (d= 0,888), Floriano (d= 0,810), Parnaíba (d= 0,814) e Piripiri (d= 0,779). Mesmo assim, os desempenhos obtidos foram: Paulistana (bom), Picos (muito bom), São João do Piauí (muito bom), Floriano (bom), Parnaíba (bom) e Piripiri (bom), bastante similares aos observados no período anual.

4.1.8.3 Período seco

No período seco, embora haja menor nebulosidade, a análise comparativa dos dados de radiação solar apresentou ajustes similares aos constatados no período chuvoso e levemente superiores aos do período anual: Paulistana (R²= 0,919), Picos (R²= 0,864), São João do Piauí (R²= 0,874), Floriano (R²= 0,837), Parnaíba (R²= 0,827) e Piripiri (R²= 0,871).

As diferenças entre os dados das duas estações foram maiores no município de Floriano (EAM= 0,869 MJ m⁻² dia⁻¹) e menores em São João do Piauí (EAM= 0,108 MJ m⁻² dia⁻¹). Em comparação ao período chuvoso, observou-se que as discrepâncias dos dados aumentaram nos municípios de Floriano (0,584 MJ m⁻² dia⁻¹), Parnaíba (0,285 MJ m⁻² dia⁻¹) e Piripiri (0,364 MJ m⁻² dia⁻¹) e diminuiu nos municípios de Paulistana (0,040 MJ m⁻² dia⁻¹), Picos (0,105 MJ m⁻² dia⁻¹) e São João do Piauí (0,143 MJ m⁻² dia⁻¹). Já em relação ao período anual, à exceção de Floriano (0,428 MJ m⁻² dia⁻¹) e Piripiri (0,381 MJ m⁻² dia⁻¹), as diferenças reduziram: Paulistana (0,294 MJ m⁻² dia⁻¹), Picos (0,155 MJ m⁻² dia⁻¹), São João do Piauí (0,440 MJ m⁻² dia⁻¹) e Parnaíba (0,247 MJ m⁻² dia⁻¹).

A correlação dos dados em todos os municípios variou de 0,90 a 1, sendo classificada como quase perfeita: Paulistana (r= 0,958), Picos (r= 0,929), São João do Piauí (r= 0,934), Floriano (r= 0,914), Parnaíba (r= 0,909) e Piripiri (r= 0,933). Este mesmo comportamento foi constatado nos períodos chuvoso e anual.

A concordância dos dados, de maneira geral, continuou apresentando valores inferiores a 0,90: Paulistana (d= 0,889), Picos (d= 0,871), São João do Piauí (d= 0,831), Floriano (d= 0,803), Parnaíba (d= 0,890) e Piripiri (d= 0,825). Mesmo assim, os desempenhos obtidos foram altos: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (muito bom), Floriano (bom), Parnaíba (muito bom) e Piripiri (muito bom), semelhantes às performances observadas no período chuvoso e anual.

4.1.9 Radiação solar líquida

Os índices estatísticos para análise de concordância dos dados de radiação solar líquida entre as duas estações nos período anual, chuvoso e seco para municípios localizados no Estado do Piauí são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Indicadores estatísticos para a análise de concordância dos dados de radiação solar líquida em municípios localizados no Estado do Piauí nos períodos anual, chuvoso e seco.

Local	Radiação solar líquida (MJ m ⁻² dia ⁻¹)					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,833	0,329	0,912	0,932	0,850	Ótimo
Picos	0,831	0,522	0,911	0,896	0,816	Muito Bom
São João do Piauí	0,836	0,345	0,914	0,931	0,851	Ótimo
Floriano	0,803	-0,519	0,896	0,820	0,734	Bom
Parnaíba	0,810	-0,736	0,900	0,823	0,740	Bom
Piripiri	0,843	0,398	0,918	0,875	0,803	Muito Bom
Período chuvoso						
Paulistana	0,849	0,223	0,921	0,941	0,867	Ótimo
Picos	0,919	-0,151	0,958	0,966	0,926	Ótimo
São João do Piauí	0,856	-0,124	0,925	0,923	0,853	Ótimo
Floriano	0,881	-0,199	0,938	0,915	0,858	Ótimo
Parnaíba	0,890	-0,183	0,943	0,953	0,899	Ótimo
Piripiri	0,871	-0,157	0,933	0,962	0,897	Ótimo
Período seco						
Paulistana	0,841	-0,157	0,917	0,908	0,832	Muito Bom
Picos	0,848	0,205	0,920	0,946	0,871	Ótimo
São João do Piauí	0,856	-0,192	0,925	0,975	0,902	Ótimo
Floriano	0,885	-0,138	0,940	0,903	0,849	Muito Bom
Parnaíba	0,811	0,446	0,900	0,898	0,808	Muito Bom
Piripiri	0,832	0,358	0,912	0,929	0,847	Muito Bom

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio, r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

4.1.9.1 Período anual

Em todos os municípios, a precisão dos dados de radiação solar líquida foi razoável, assim também como constatado para a radiação solar: Paulistana ($R^2= 0,833$), Picos ($R^2= 0,831$), São João do Piauí ($R^2= 0,836$), Floriano ($R^2= 0,803$), Parnaíba ($R^2= 0,810$) e Piripiri ($R^2= 0,843$). Os resultados favoráveis obtidos para a radiação solar líquida podem ser atribuídos a simplicidade da equação utilizada para sua estimativa, que requer o conhecimento apenas da radiação solar, e que apesar de ser calibrada apenas para Teresina, PI, representa bem as demais condições climáticas específicas do Piauí. Com esse comportamento, espera-se obter bons resultados também para a evapotranspiração de referência, pois segundo Sentelhas (1998), a R_n é o principal elemento meteorológico envolvido no processo de evapotranspiração.

Sentelhas (1998), em Piracicaba, SP e Magalhães (2008), em Lavras, MG, encontraram para o mesmo elemento meteorológico, valores de R^2 iguais a 0,665 e 0,640, inferiores aos observados no presente estudo. Esses resultados contraditórios podem ser explicados pelas diferenças metodológicas na estimativa da radiação líquida. Magalhães (2008) em sua pesquisa estimou a radiação solar líquida pela diferença entre o balanço de ondas curtas e longas, onde a radiação solar nas estações convencionais foi estimada com base na insolação, por meio da equação da Angström-Prescott, utilizando $a= 0,25$ e $b= 0,50$, conforme proposto pela FAO. Enquanto isso, Sentelhas (1998) estimou a radiação solar líquida utilizando a equação de Brunt. O autor afirma que esta equação não é uma boa alternativa para a estimativa da R_n e sugere a elaboração de equações estatísticas de estimativa da R_n , tanto para dados provenientes da EMC como da EMA, visto que sensores para tais medidas são inexistentes na maioria das estações meteorológicas que operam no Brasil.

Os valores estimados de radiação solar líquida nas estações convencionais superestimaram os das automáticas, a exceção das estações situadas nos municípios de Floriano ($EAM= 0,519 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Picos ($EAM= 0,736 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Nos demais locais, as discrepâncias entre os dados foram de 0,329; 0,522; 0,345 e 0,398 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ para Paulistana, Picos, São João do Piauí e Piripiri, respectivamente. Valores superiores foram encontrados por Sentelhas (1998), em Piracicaba, SP, de 2,67 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A correlação dos dados foi quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,912$), Picos ($r= 0,911$), São João do Piauí ($r= 0,914$), Floriano ($r= 0,900$), Parnaíba

($r= 0,900$) e Piripiri ($r= 0,841$). A concordância dos dados apresentou valores superiores nos municípios de Paulistana ($d= 0,932$), Picos ($d= 0,896$) e São João do Piauí ($d= 0,931$). Em Teresina, PI, Carvalho (2014), também encontrou correlação muito alta ($r= 0,853$) e boa concordância ($d= 0,989$) para o mesmo elemento meteorológico.

Mesmo assim, o desempenho estatístico dos dados foi alto em todos os locais: Paulistana (ótimo), Picos (muito bom), São João do Piauí (ótimo), Floriano (bom), Parnaíba (bom) e Piripiri (muito bom). Em Teresina, PI, Carvalho (2014), obteve também alto desempenho para os dados de radiação líquida, classificado muito bom.

4.1.9. 2 Período chuvoso

A precisão dos dados de radiação solar líquida sofreu leve incremento em todos os municípios, quando comparado aos ajustes obtidos no período anual: Paulistana ($R^2= 0,849$), Picos ($R^2= 0,919$), São João do Piauí ($R^2= 0,856$), Floriano ($R^2= 0,881$), Parnaíba ($R^2= 0,890$) e Piripiri ($R^2= 0,871$).

Os dados de radiação solar líquida estimados nas estações meteorológicas convencionais superestimaram os das automáticas apenas no município de Paulistana ($EAM= 0,223 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). As maiores discrepâncias foram constatadas em Paulistana ($EAM= 0,223 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e as menores em Picos ($EAM= 0,351 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e São João do Piauí ($EAM= 0,324 \text{ MJ m}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Em relação ao período anual, as diferenças entre os dados sofreram redução em todos os municípios: Paulistana ($0,106 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Picos ($0,371 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), São João do Piauí ($0,221 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Floriano ($0,320 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Parnaíba ($0,553 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Piripiri ($0,241 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A correlação dos dados, assim como no período anual, foi classificada como quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,921$), Picos ($r= 0,958$), São João do Piauí ($r= 0,925$), Floriano ($r= 0,938$), Parnaíba ($r= 0,943$) e Piripiri ($r= 0,933$). A concordância dos dados melhorou em relação ao período anual, apresentando valores superiores a 0,90 em todos os municípios: Paulistana ($d= 0,941$), Picos ($d= 0,966$), São João do Piauí ($d= 0,923$), Floriano ($d= 0,915$), Parnaíba ($d= 0,953$) e Piripiri ($d= 0,962$). Conseqüentemente, o desempenho estatístico dos dados foi alto, sendo classificado como ótimo em todos os municípios.

4.1.9. 3 Período seco

No período seco, a precisão dos dados de radiação líquida decresceu em relação ao período chuvoso, nos municípios de Picos ($R^2= 0,848$), Parnaíba ($R^2= 0,811$) e Piripiri ($R^2= 0,832$), mantendo-se praticamente a mesma nos demais locais: Paulistana ($R^2= 0,841$), São João do Piauí ($R^2= 0,856$) e Floriano ($R^2= 0,885$). Em comparação ao período anual, contudo, houve maior diferença no ajuste dos dados apenas nas duas estações situadas em Floriano ($R^2= 0,885$).

As maiores diferenças entre os dados foram constatadas em Parnaíba ($EAM= 0,446 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e as menores, por sua vez, em Floriano ($EAM= 0,138 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Em relação ao período chuvoso, observou-se que as discrepâncias diminuíram em Paulistana ($0,066 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Floriano ($0,061 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), aumentando nos demais: Picos ($0,054 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), São João do Piauí ($0,068 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Parnaíba ($0,263 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Piripiri ($0,201 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Em relação ao período anual, entretanto, as diferenças observadas decresceram em todos os municípios: Paulistana ($0,172 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Picos ($0,317 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), São João do Piauí ($0,153 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), Parnaíba ($0,290 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e Piripiri ($0,040 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A correlação dos dados, assim como no período chuvoso e anual, foi classificada como quase perfeita em todos os locais: Paulistana ($r= 0,917$), Picos ($r= 0,920$), São João do Piauí ($r= 0,925$), Floriano ($r= 0,940$), Parnaíba ($r= 0,900$) e Piripiri ($r= 0,912$). A concordância dos dados, por sua vez, foi boa em todos os municípios, assim como no período chuvoso: Paulistana ($d= 0,908$), Picos ($d= 0,946$), São João do Piauí ($d= 0,975$), Floriano ($d= 0,903$), Parnaíba ($d= 0,898$) e Piripiri ($d= 0,929$).

Como consequência, o desempenho dos dados entre as duas estações foi alto em todos os municípios: Paulistana (muito bom), Picos (ótimo), São João do Piauí (ótimo), Floriano (muito bom), Parnaíba (muito bom) e Piripiri (muito bom), comportamento similar ao constatado no período chuvoso e anual.

4.2 Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de elementos meteorológicos observados na EMC e na EMA.

Os indicadores estatísticos para análise de concordância dos dados de evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith a partir de elementos meteorológicos observados na EMC e EMA nos período anual, chuvoso e seco em municípios localizados no Estado do Piauí são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Indicadores estatísticos para a análise de concordância dos dados evapotranspiração de referência diária em municípios localizados no Estado do Piauí nos períodos anual, chuvoso e seco.

Local	Evapotranspiração de referência (mm dia ⁻¹)					
	R ²	EAM	r	d	c	Desempenho
Período anual						
Paulistana	0,864	0,619	0,929	0,974	0,905	Ótimo
Picos	0,885	0,550	0,940	0,978	0,920	Ótimo
São João do Piauí	0,894	0,596	0,945	0,984	0,930	Ótimo
Floriano	0,876	-0,219	0,935	0,980	0,917	Ótimo
Parnaíba	0,850	0,711	0,921	0,970	0,894	Ótimo
Piripiri	0,865	0,518	0,930	0,945	0,878	Ótimo
Período chuvoso						
Paulistana	0,833	0,358	0,912	0,961	0,877	Ótimo
Picos	0,921	0,290	0,958	0,997	0,956	Ótimo
São João do Piauí	0,876	0,504	0,935	0,987	0,923	Ótimo
Floriano	0,903	-0,110	0,950	0,994	0,944	Ótimo
Parnaíba	0,800	0,777	0,894	0,988	0,883	Ótimo
Piripiri	0,810	0,589	0,900	0,982	0,982	Ótimo
Período seco						
Paulistana	0,854	0,229	0,924	0,985	0,910	Ótimo
Picos	0,861	0,391	0,927	0,986	0,914	Ótimo
São João do Piauí	0,868	0,218	0,931	0,978	0,911	Ótimo
Floriano	0,818	-0,232	0,904	0,965	0,872	Ótimo
Parnaíba	0,801	0,410	0,894	0,944	0,844	Muito Bom
Piripiri	0,812	0,334	0,901	0,991	0,893	Ótimo

R²= coeficiente de determinação; EAM= o erro absoluto médio; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância e c= índice de desempenho.

4.2.1 Período anual

Os dados de evapotranspiração de referência estimados entre as duas estações apresentou valores de precisão semelhantes em todos os municípios: Paulistana (R²= 0,864), Picos (R²= 0,885), São João do Piauí (R²= 0,894), Floriano (R²= 0,876), Parnaíba (R²= 0,850) e Piripiri (R²= 0,865). Sentelhas (1998), em Piracicaba, SP e

Fraga Júnior et al. (2012), em Ouricuri, PE encontram valores de R^2 iguais a 0,829 e 0,844, respectivamente, semelhantes aos obtidos no presente estudo.

Os valores de ETo apresentaram tendência de superestimativa da EMC em relação a EMA, devido a menor precisão dos sensores da EMC para se obter os componentes da ETo, a exceção das duas estações localizadas em Floriano (EAM= 0,219 mm dia⁻¹), sendo essa a menor diferença média encontrada entre os dados, enquanto a maior, foi observada em Parnaíba (EAM= 0,711 mm dia⁻¹). Silva et al. (2004) encontraram erro de 2,08 mm dia⁻¹, semelhante ao constatado entre as duas estações localizadas em Floriano. É importante ressaltar que essas diferenças poderão resultar na aplicação de lâminas de irrigação em déficit e/ou excesso, afetando conseqüentemente a produtividade das culturas, o que mostra a importância da utilização de dados meteorológicos consistentes para se estimar a evapotranspiração de referência.

A correlação dos dados foi classificada como quase perfeita em todos os municípios: Paulistana ($r= 0,929$), Picos ($r= 0,940$), São João do Piauí ($r= 0,945$), Floriano ($r= 0,935$), Parnaíba ($r= 0,921$) e Piripiri ($r= 0,930$), igualmente observado por Carvalho (2014) em Teresina, PI.

Para o índice de concordância de Willmott, também foi obtido valores elevados para todos os locais: Paulistana ($d=0,974$), Picos ($d=0,974$) e São João do Piauí ($d=0,984$), Floriano ($d=0,980$), Parnaíba ($d=0,970$) e Piripiri ($d= 0,945$). Valores inferiores foram obtidos por Silva et al. (2004) na região do Submédio São Francisco, de 0,597.

Como consequência, verificou-se alto desempenho estatístico entre os dados de ETo comparados entre as duas estações, sendo classificado como ótimo em todos os municípios. Carvalho (2014), em Teresina, PI, também comparando dados de ETo entre as duas estações, obteve o mesmo desempenho.

4.2.1 Período chuvoso

A precisão dos dados de ETo em comparação ao período anual, sofreu leve incremento nos municípios de Picos ($R^2= 0,921$), Floriano ($R^2= 0,903$), e nos demais, ocorreu o inverso: Paulistana ($R^2= 0,833$), São João do Piauí ($R^2= 0,876$), Parnaíba ($R^2= 0,800$) e Piripiri ($R^2= 0,810$). Esse fato demonstra que os menores valores de ETo ocorridos no período chuvoso favoreceram a comparação dos dados.

A maior diferença dos dados de ETo entre as duas estações foi registrada novamente no município de Parnaíba (EAM= 0,777 mm dia⁻¹) e a menor em Floriano (EAM= -0,110 mm dia⁻¹). Em relação ao período anual, a discrepância dos dados aumentou em Parnaíba (0,066 mm dia⁻¹) e Piripiri (0,071 mm dia⁻¹), diminuindo nos demais: Paulistana (0,261 mm dia⁻¹), Picos (0,260 mm dia⁻¹), São João do Piauí (0,092 mm dia⁻¹) e Floriano (0,109 mm dia⁻¹).

Contudo, a correlação dos dados foi classificada como quase perfeita nos municípios de Paulistana (r= 0,912), Picos (r= 0,958), São João do Piauí (r= 0,935), Floriano (r= 0,950), Piripiri (r= 0,900), assim como no período anual, e muito alta em Parnaíba (r= 0,894). Para a concordância dos dados, verificaram-se valores elevados em todos os municípios: Paulistana (d= 0,961), Picos (d= 0,997), São João do Piauí (d= 0,987), Floriano (d= 0,994), Parnaíba (d= 0,988) e Piripiri (d= 0,982). Este mesmo comportamento foi observado no período anual. Sendo assim, o desempenho dos dados foi novamente classificado como ótimo em todos os locais.

4.2.3 Período seco

No período seco, a precisão dos dados de ETo decresceu em relação ao período chuvoso, nos municípios de Picos (R²= 0,861) e (R²= 0,810) e Piripiri (R²= 0,832), aumentou em Paulistana (R²= 0,850) e nos demais locais, manteve-se praticamente a mesma: São João do Piauí (R²= 0,868), Parnaíba (R²= 0,801) e Piripiri (R²= 0,812). Em comparação ao período anual, contudo, houve maior diferença no ajuste dos dados nas estações situadas em Floriano (R²= 0,818), Parnaíba (R²= 0,801) e Piripiri (R²= 0,812).

As menores discrepâncias entre os dados de ETo nas duas estações foram registrados em São João do Piauí (EAM= 0,218 mm dia⁻¹) e as maiores em Parnaíba (EAM= 0,410 mm dia⁻¹). Em relação ao período chuvoso, as diferenças entre os dados, a exceção de Picos (0,101 mm dia⁻¹) e Floriano (0,122 mm dia⁻¹), diminuíram: Paulistana (0,129 mm dia⁻¹), São João do Piauí (0,286 mm dia⁻¹), Parnaíba (0,367mm dia⁻¹) e Piripiri (0,255 mm dia⁻¹). Comparado ao período anual, as diferenças decresceram apenas em São João do Piauí (0,013 mm dia⁻¹).

Assim como no período chuvoso e anual, a correlação dos dados foi alta em todos os municípios: Paulistana (r= 0,924), Picos (r= 0,927), São João do Piauí (r= 0,931), Floriano (r= 0,904), Parnaíba (r= 0,894) e Piripiri (r= 0,901). O índice de concordância de Willmott seguiu o mesmo comportamento: Paulistana (d= 0,985),

Picos (d= 0,986), São João do Piauí (d= 0,978), Floriano (d= 0,965), Parnaíba (d= 0,944) e Piriipiri (d= 0,991). Assim sendo, obteve-se elevados desempenhos entre os dados, classificado como muito bom em Parnaíba e nos demais, ótimo, similar aos constatados no período chuvoso e anual.

4.3 Influência dos elementos meteorológicos na estimativa da evapotranspiração de referência.

A correlação da evapotranspiração de referência estimada por Penman-Monteith com a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e insolação nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí encontra-se na Tabela 20.

Tabela 20. Correlação da ETo por Penman-Monteith com as variáveis meteorológicas: temperatura (T), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), radiação solar global (Rs) e insolação (n) nos períodos anual, chuvoso e seco em municípios situados no Estado do Piauí.

Local	T (°C)		UR (%)		Vv		Rs	In
	EMA	EMC	EMA	EMC	EMA	EMC		
Período anual								
Paulistana	0,581	0,534	-0,795	-0,819	0,522	0,494	0,825	0,817
Picos	0,516	0,533	-0,845	-0,840	0,636	0,535	0,854	0,860
São João do Piauí	0,535	0,579	-0,869	-0,836	0,667	0,638	0,856	0,835
Floriano	0,555	0,682	-0,784	-0,839	0,664	0,644	0,874	0,837
Parnaíba	0,757	0,751	-0,740	-0,798	0,778	0,720	0,818	0,851
Piriipiri	0,816	0,886	-0,872	-0,830	0,708	0,712	0,881	0,823
Média	0,627	0,661	-0,818	-0,827	0,662	0,623	0,818	0,820
Período chuvoso								
Paulistana	0,795	0,700	-0,854	-0,834	0,534	0,503	0,858	0,838
Picos	0,870	0,741	-0,792	-0,827	0,567	0,520	0,906	0,872
São João do Piauí	0,766	0,734	-0,776	-0,717	0,484	0,453	0,921	0,884
Floriano	0,737	0,782	-0,691	-0,627	0,431	0,496	0,974	0,986
Parnaíba	0,749	0,726	-0,767	-0,816	0,680	0,697	0,919	0,807
Piriipiri	0,755	0,760	-0,792	-0,750	0,610	0,653	0,868	0,830
Média	0,745	0,707	-0,762	-0,761	0,534	0,527	0,907	0,818
Período seco								
Paulistana	0,438	0,472	-0,704	-0,725	0,406	0,418	0,858	0,880
Picos	0,513	0,524	-0,893	-0,812	0,534	0,528	0,913	0,836
São João do Piauí	0,505	0,485	-0,856	-0,823	0,518	0,531	0,892	0,838
Floriano	0,571	0,597	-0,780	-0,806	0,695	0,643	0,865	0,852
Parnaíba	0,725	0,683	-0,791	-0,785	0,790	0,662	0,816	0,800
Piriipiri	0,790	0,720	-0,874	-0,819	0,714	0,682	0,882	0,819
Média	0,590	0,563	-0,816	-0,778	0,609	0,577	0,854	0,787

EMA: estação meteorológica automática; EMC: estação meteorológica convencional.

As maiores contribuições da temperatura do ar na estimativa da evapotranspiração de referência foram observadas no período chuvoso, com valor médio de correlação igual a 0,745 e 0,707, com dados de temperatura do ar obtidos na EMA e na EMC, respectivamente. Esse comportamento é reflexo da maior variabilidade desse elemento meteorológico nesse período do ano. No período seco, a variação da temperatura do ar é menor, o que contribuiu para que outros elementos exercessem maior influência na estimativa da ETo. Com isso, a correlação decresceu, passando a apresentar valor médio de 0,590 e 0,563, na EMA e EMC. A média anual foi de 0,627 e 0,661 na EMA e EMC, inferior a obtida por Araújo et al. (2011) no estado do Espírito Santo, que foi de 0,79. Tais resultados demonstram que o uso de equações para a estimativa da ETo baseadas apenas na temperatura do ar devem ser usadas com cautela nos municípios envolvidos no estudo.

A umidade relativa do ar apresentou tendência oposta à dos demais elementos meteorológicos analisados. Esse comportamento era esperado, pois a ETo diminui com o aumento da umidade do ar e vice-versa. A influência desse elemento sobre a ETo foi alta, com valores médios dos coeficientes de correlação iguais a -0,818 (EMA) e -0,827 (EMC) no período anual; -0,779 (EMA) e -0,762 (EMC) no período chuvoso e -0,816 (EMA) e -0,795 (EMC) no período seco. Alencar (2011), em Viçosa, MG, também encontrou correlação alta entre a ETo e umidade relativa do ar, sendo depois da temperatura do ar, a variável que apresentou maiores efeitos sobre a ETo.

A correlação da ETo com a velocidade do vento foi positiva. Os maiores valores do coeficiente de correlação foram obtidos nos municípios de Parnaíba e Piripiri, devido a influência do clima litorâneo. Em uma análise dos componentes principais da ETo de três regiões climáticas diferentes do Centro-Sul do Ceará, Andrade et al. (2003), concluíram que as variáveis envolvidas no processo de evapotranspiração de maior significância na região de clima tropical chuvoso foram a velocidade do vento e a umidade relativa do ar. Nas estações localizadas em região de clima semiárido a variável razão de insolação foi a que apresentou maior influência, seguida da precipitação anual e velocidade do vento.

Os coeficientes de correlação da ETo com a radiação solar global e insolação foram altos, conforme também constatado para a umidade relativa do ar, demonstrando maior influência desses elementos na estimativa da ETo nos municípios avaliados. Amorim (1998), estudando as ligações da evapotranspiração com os elementos climáticos no município de Governador Dix-Sept Rosado, situado na região agrícola de

Mossoró, RN, observou que a insolação foi o elemento meteorológico de maior influência no processo da evapotranspiração e a temperatura média, o elemento que apresentou menor efeito no processo. Silveira e Andrade (2002), analisando os componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração no Estado do Ceará, constataram que, entre os elementos climatológicos estudados, os com maior peso no processo da evapotranspiração foram insolação e umidade relativa do ar.

Estudos sobre a influência das variáveis meteorológicas nas estimativas da evapotranspiração de referência nas diversas regiões brasileiras mostram diferentes resultados ocasionados pela grande variabilidade climática no país. Por esta razão, estudos regionais são necessários para fornecer informações precisas às condições locais que poderão proporcionar ajustes em métodos de estimativa da ETo adequados à região em estudo (HALLAL, 2012).

5. CONCLUSÕES

Os melhores ajustes dos dados, entre os dois tipos de estação, foram constatados para a precipitação e pressão atmosférica; intermediários, para a temperatura do ar, umidade relativa do ar média, radiação solar global e radiação solar líquida e os piores, para a velocidade do vento;

Houve pequena variação na análise comparativa dos dados em relação aos períodos anual, chuvoso e seco;

As diferentes metodologias utilizadas para estimar a temperatura e umidade relativa média do ar não exerceram influência na comparação dos dados;

A umidade relativa do ar, radiação solar global e insolação foram os elementos meteorológicos que exerceram maior influência na estimativa na evapotranspiração de referência nos municípios avaliados;

A evapotranspiração de referência (ET_o) estimada com dados obtidos nas duas modalidades de estações apresentou pequena diferença em relação à estimada com dados oriundos das automáticas nos municípios avaliados.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. P. **Tendências dos elementos climáticos e da evapotranspiração da cultura do milho para a região de Viçosa, MG**. 2011. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 1998.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

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.; HERMENEGILDO, G. M. S. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estações meteorológicas convencionais e automáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n.1, 2013.

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.

ALVES, V. C. **Desempenho de herbicidas na cultura de milho (Zeamays L.)**. 2001. 104p. Tese (Dourado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

AMORIM, M. C. **Avaliação da eficácia do lisímetro de lençol freático constante, do tanque classe “A” e do modelo de Penman-Monteith (FAO) para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)**. 1998. 56f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANDRADE, E. M. de.; SILVEIRA, S. S.; AZEVEDO, B. M. de. Investigação da Estrutura Multivariada da Evapotranspiração na Região Centro Sul do Ceará pela Análise de Componentes Principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 39-44, 2003.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NOLÊTO, D. H.; SILVA, M. E.; BRAGA, D. L.; BASTOS, E. A. Coeficientes da equação de Ansgtrom-Preccott para Parnaíba, Piauí. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 1, p. 50-54, 2012.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SENTELHAS, P. C.; LIMA, M. G.; AGUIAR, M. J. N.; LEITE, D. A. S. R. Zoneamento agroclimático para as culturas de milho e de soja no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 544-550, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, F. A. M.; LIMA, M. G.; AMARAL, A. B. Zoneamento de aptidão climática para o algodoeiro herbáceo no Estado do Piauí, **Revista Ciência Agronômica**, v. 20, n. 2, p. 175-184, 2009.

ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.

ARAÚJO, G. L.; REIS, E. F.; MOREIRA, G. R. Correlações entre variáveis climatológicas e seus efeitos sobre a evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5,nº. 2, p.96 – 104, 2011.

AZEVEDO, H. J. BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de água, em sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.152-158, 2000.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídrico em cana-de-açúcar (Saccharum spp.)**. 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; FARIA, R. T. Manejo econômico da irrigação do feijão caupi via modelo de simulação. **Irriga**, v. 5, n. 2, p. 84-98, 2000.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.36, p.86-92. 2006.

BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; CARVALHO, J. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para as “áreas de baixada e de tabuleiros” da região Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes: UENF, 14 p., 1996, Boletim Técnico.

BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; HOFFMANN, L. L. Tecnologia de aplicação de fungicidas – parte I. **Revisão Anual de Patologia de plantas -RAPP**. v.15, 2007. p.243-276.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Exigências edafoclimáticas. In: BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. (orgs.). **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa, 2004. p. 15-23.

BORGES, T. K. S.; SANTOS, N. T.; SILVA, M. G.; PEREIRA, F. A. C.; SANTOS, K. S.; OLIVEIRA, A. S. Comparação de métodos no cálculo da temperatura média diária do ar em Bom Jesus da Lapa, Bahia. In: Inovagri International Meeting., 2, 2014, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza, 2014.

CAMARGO, A.P.; ALFONSI, R. R.; PINTO, H. S.; CHIARINI, J. V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas de cerrado. In: Simpósio sobre o Cerrado., 6, 1977, São Paulo. **Resumos...** São Paulo, 1977.

CAMARGO, A.P.; PINTO, H. S.; PEDRO JR., M. J.; et al. **Aptidão climática de culturas agrícolas:** In: São Paulo – Secretaria da Agricultura. Zoneamento agrícola do Estado de São Paulo. São Paulo, SA-SP, 1974, V.1, p.109-149.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMARGO, M.B.P.; HUBBARD, K.G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid portions of the United States high plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.93, p.141-148, 1998.

CARVALHO, M. W. L. **Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Teresina-PI.** 2014. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal), Universidade Federal do Piauí, Teresina.

CASAROLI, D.; FAGAN, E. B.; SIMON, J.; MEDEIROS, S. P.; MANFRON, P. A.; NETO, D. D. N.; LIER, Q. J. V.; MULLER, L.; MARTIN, T. N. Radiação solar e aspectos fisiológicos na cultura da soja. **Uruguiana**, v. 14, n. 2, p. 102-120, 2007.

COSTA, N. P.; FRANÇA-NETO, J. B.; PEREIRA, J. E.; MESQUITA, C. M.; KRZYANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. Efeito de sementes verdes na qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 23, n. 2, p.102-107, 2001.

CRISPIM, J. E. **A cana-de-açúcar em Santa Catarina.** Secretaria de agricultura e abastecimento. Empresa de pesquisa agropecuária e extensão rural de Santa Catarina. Urussanga – SC, 2006.

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.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; NETO, P. C. **Observações meteorológicas de superfície.** Lavras: UFLA, 2003.14p. Notas de aula.

DIDONET, A. D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J. L.; IDE, F. Efeito da radiação solar e temperatura na definição do número de grãos em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 933-938, 2002.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Estudos FAO- Irrigação e Drenagem, no 33, p. 306, 1994, (Traduzido por Gheyi H, R, et al,- UFPB).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2000, 360p.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Rome: FAO, 1990. 313p. paper, 90

FERNANDES, A. L. T.; FOLEGATTI, M. V.; PEREIRA, A. R. Avaliação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo (*Chrysanthemum* spp.) cultivado em estufa plástica. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 139-149, 2006.

FERNANDES, J. L.; OLIVEIRA, J. B.; SOUZA, A. L. M.; SILVA, G. S.; IZÍDIO, N. S. C. Avaliação de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência em Campos Sales-CE. **Revista Conexões**, v. 6, n. 3, p. 58-67, 2012.

FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado em meteorologia). São José dos Campos: INPE, 2005.

FERREIRA, D. B.; SANTOS, L. A.; DIAS, F. C.; CONDE, F. C.; MALHEIROS, A. R.; SANTOS, F. D.; SALVADOR, M. A. Influência da variabilidade climática da precipitação sobre a cultura da soja no município de Diamantino- MT. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia., 17, 2011, Guarapari. **Resumos...** Guarapari, 2011.

FERREIRA, J. O. P. **Evapotranspiração e coeficientes de cultura da melancia irrigada por gotejamento em Alvorada do Gurguéia, PI**. 2010. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal.

FERREIRA, W. P. M.; COSTA, L. da SOUZA, C. F. Modelo de estimativa de produtividade da soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em função da variabilidade da temperatura. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 4. P. 400-407, 2007.

FISCH, G. F., 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. **Resumos...** Piracicaba, 1997.

FRAGA JÚNIOR, L. S.; VELLAME, L. M.; MARINHO, L. B.; BARBOSA, R. P. Estação meteorológica convencional e automática na estimativa da ETo em Ouricuri – PE. In: I Inovagri International Meeting e IV Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação., 2012, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza, 2012.

GARCÊZ, S. L. A. ; SOUSA, A. M. L. Estudo comparativo da precipitação monitorada por estações automática e convencional na UFPA. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia., 16, 2010, Belém. **Resumos...** Belém, 2010.

GIANOTTI, A. R. C; SOUZA, M. J. H.; MACHADO, E. L. M.; PEREIRA, I. M.; VIEIRA, A.D.; MAGALHÃES, M. R. Análise microclimática em duas fitofisionomias do Cerrado no Alto Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Meteorologia**,v.28; n.3, 246-256, 2013.

GROSSI, M. C.; SILVA, R. F.; ANDRADE, C. L. T.; JUSTINO, F. Influência da radiação solar e da temperatura do ar na produtividade potencial simulada do milho (*Zea mays L*) em Sete Lagoas, MG. In: Congresso brasileiro de agrometeorologia., 17, 2011, Espírito Santo. **Resumos...** Espírito Santo, 2011.

HALLAL, M. O. C. **Análise e comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Pelotas, RS.** 2012. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v.1, n.2, p. 96-99,1985.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology**, 103, 137-157, 2000.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics.** 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 23 fevereiro. 2015.

INAM. Strategy of Development of Meteorology – **From a traditional meteorological institute to a modern service organization by 2010.** INAM 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações meteorológicas convencionais.** Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2015a.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações meteorológicas automáticas**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2015b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Balanço hídrico climatológico**. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 08 de março de 2015c

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Rede de Estações Meteorológicas Automáticas do INMET**. NOTA TÉCNICA N. 001. 2011. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2015.

JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M. Estimativa da temperatura média diária do ar em distintas regiões brasileiras empregando métodos alternativos. **Scientia Agraria**, v. 11, n. 5, p. 407-416, 2010.

KASHYAP, P. S.; PANDA, R. K. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. **Agricultural Water Management**, 50. p. 9-25, 2001.

KLOCKE, N. L.; HUBBARD, K. G.; KRANZ, W. L.; WATTS, D. G. **Evapotranspiration (ET) or Crop Water Use**, 1996.

LEDO, E. R. F.; SILVA, M. G.; NOGUEIRA, D. H.; MIRANDA, E. P.; LIMA, L. D. P. Avaliação de diferentes metodologias empregadas na estimativa de temperatura média diária do ar, Natal-RN. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem., 21, 2011, Petrolina. **Resumos...** Petrolina, 2011.

LUCAS, E. W. M. ; ANJOS, R. J. ; SOUSA, F. A. S. ; ABREU, S. F. . ANÁLISE OBSERVACIONAL E ESTATÍSTICA DOS DADOS METEOROLÓGICOS DAS ESTAÇÕES CONVENCIONAL E AUTOMÁTICA DE RECIFE/PE. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia., 14, 2006, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis, 2006.

LUCCHESI, A. A. **Fatores da produção vegetal**. In: CASTRO, P. R. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 1-11.

MAGALHÃES, C. A. S. **Estudo físico-hídrico em lisímetros e comparação de elementos climáticos na região de Lavras, MG**. 2008. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2008). **Zoneamento Agrícola de Risco Climático**. Instrução Normativa Nº 2, de 9 de outubro de 2008.

MARIN, F. R. **Introdução ao uso de sistemas automáticos de aquisição de dados na agrometeorologia**. Documentos, Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, 28p, 2005.

MAVI, H. S.; TUPPER, G. J. **Agrometeorology – Principles and application of climate studies in agriculture**. New York: Food Products Press. 2004. 364p.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE**. 2002. 103p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior Luiz de Queiroz, Piracicaba, 103 p., 2002.

MELLO, L. T. A.; FORTES, L. T. G.; LUCIO, P. S.; MANHAES, F. P.; LUCAS, E. W. M. Uma análise comparativa de dados meteorológicos observados em estações automáticas e convencionais do INMET. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia., 15, 2008, São Paulo. **Resumos...** São Paulo. 2008.

MENDONÇA, E. A. **Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB**. 2008. 114p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

MONTEITH, J. L. Evaporation and surface temperature. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v.107, n.451, p.1-27, 1981.

MOURA A.D.; LORENZZETTI J.A. Aplicações da meteorologia na agricultura e na pesca. **Boletim da sociedade brasileira de meteorologia**, v.30, n. 2-3, p. 16-17, ago-nov, 2006.

NOLÊTO, D. H.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS E. A. Estimativa da radiação líquida disponível para a microrregião de Teresina, Piauí, Brasil. . In: XI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola e XXIII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, Cancun. **Resumos...** Cancun. Quintana Roo, México. 2014.

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

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.253-260, 2003.

OLIVEIRA, A.D. **Comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática.** Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista. 2003. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

OLIVEIRA, M. J.; BAPTISTA, G. M. M.; MACHADO, W. P. Distribuição e representatividade espacial da rede brasileira de estações climatológicas do INMET para uso potencial dos dados de temperatura do ar. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia., 17, 2012, Gramado. **Resumos...** Gramado, 2012.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**, São Paulo: Ceres, 1981. 440p.

Parcial RTP-3 (Tomo II). **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Teresina, PI. 2009.

PEREIRA, A. R. **Agrometeorologia simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather**. *Bragantia*, v.64, n.2, p.311-313, 2005.

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

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PEREIRA, G. M. **Simulação das Perdas de água por evaporação e da uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão**. 1992. 120p. Dissertação(Departamento de Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

PRATES, J. E. Circulações termicamente forçadas em áreas cultivadas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 31-41, 1997.

QUEIROZ, M. Z. S. S.; VELLAME, L. M.; FREITAS, M. S. C.; PEIXOTO, G. K. S. Estimativa da ETo a partir de duas estações meteorológicas em Ouricuri-PE. In: Congresso da rede Norte e Nordeste de Ensino, Pesquisa e Inovação.,7, 2012, Palmas. **Resumos...** Palmas, 2012.

RAMOS, H. E. A.; NÓBREGA, N. E. F.; SILVA, J. G. F.; PAGUNG, F. S.; STORCH, P. R. Avaliação comparativa de dados meteorológicos obtidos em estações convencionais e automáticas, localizadas em três municípios do estado do Espírito Santo. XV Congresso Brasileiro de Meteorologia . São Paulo. **Resumos...** São Paulo. 2008.

RIBEIRO, A. A.; SIMEÃO, M.; SANTOS, A. R. B.; SILVA, E. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Balanço hídrico climatológico para o município de Bom Jesus, PI. In: Encontro Multidisciplinar do CPCE e Seminário de Pós-Graduação da UFPI (SEPUFPI), 1, Bom Jesus. **Resumos..** Bom Jesus: UFPI.

RIBEIRO, A. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. M.; SIMEÃO, M.; MOURA, R. S. Métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência para Pipiri, Piauí. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2014.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar.** Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências. 1995. 99p.

RUNGE, E. C.A.; ODELL, R.T. The relation between precipitation, temperature and yield for soybeans in the Agronomy South Farm, Urbana, Illinois, **Agronomy Journal**, v. 52, n. 5, p. 245-247, 1960.

SANS, L. M. A. Influência dos atributos climáticos na implantação do milho e sorgo em safrinha. In: Seminário nacional milho safrinha., 10, 2009, Rio Verde. **Resumos...** Rio Verde, 2009.

SANTOS, E. R. dos; RIBEIRO, A G. Clima e agricultura no município de Caramandel-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 5. 2002, Curitiba, **Resumos...** Curitiba: UFPR, 2002.

SCARPARE, F. V. ; OLIVEIRA, G. X. S.; SIMON, J. ; PIEDADE, S. M. S. ; ANGELOCCI, L. R. . Comparação da uniformidade de dados meteorológicos de estação meteorológica convencional e automática. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia., 14, 2006, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba, 2006.

SEIBERT, J.; MORÉN, A. S. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type rain gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 98-99, p. 341-348, 1999.

SENTELHAS, P. C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith.** 2004. 161p. (Tese de Livre-Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática.** 1998. 112p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de balsa utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 301-304, 2002.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO J. E. B. A. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola.** INMET. Capítulo 1. 2009.

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 convencionais e automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 2, p. 215-221, 1997.

SILVA, A. A. F.; SOUZA, L. B. Análise da pluviosidade da primavera-verão 2005/2006 e influência na produtividade de soja no Tocantins. **Revista GeoNorte**, v.2, n.5, p.898 – 909 , 2012.

SILVA, C. O. ; GOMES, ADRIANO ALEX NASCIMENTO ; LEAL, CLARICE MARIA ; DIAS, NILDO DA SILVA ; SILVA, ÊNIO FARIAS DE FRANÇA E SILVA ; FIGUEREDO JUNIOR, L. G. M. Análise da Umidade Relativa do Ar do Estado do Piauí. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP., 12, 2004. Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba, 2004.

SILVA, R. F.; GROSSI, M. C.; JUSTINO, F.; ANDRADE, C. L. T. Efeito do aumento e diminuição da temperatura na produtividade real do milho (*Zea mays* L.) em Sete Lagoas, MG. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Guarapari. **Resumos...** Guarapari, ES. 2011.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; TURCO, S. H. **Comparação de dados meteorológicos obtidos em estações meteorológica convencional e automática no submédio São Francisco.** 2004. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/>>. Acessado em: 21 de maio de 2015.

SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira.** 2000. 129p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

SILVEIRA, S. S.; ANDRADE, E. M. de. Análise de componentes principais na investigação da estrutura multivariada da evapotranspiração. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 171-177, 2002.

SIMEÃO, M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. M.; RIBEIRO, A. A.; ALMEIDA, K. N. S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no município de Floriano, PI. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 42, Campo Grande. **Resumos...** Campo Grande, 2014.

SIMEÃO, M.; OLIVEIRA, A. E. S.; SANTOS, A. R. B.; MOUSINHO, F. E. P.; RIBEIRO, A. A. Determinação da ETC e Kc para o feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) na região de Teresina, Piauí. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 196-202, 2013.

SMITH, M. **Report on expert consultation on procedures for revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SOUSA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; NETO, A. O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado do Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEL, T.; MARTIM, C. C. M.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, v.1, n. 1, p. 34-43, 2013.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Avaliação de elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu - PR. **Resumos...**, Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira Meteorologia, 2002.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 25, no. 2, p. 203-207, 2003.

STEIDLE NETO, A. J. S.; ZOUNIER, S.; MAROUELLI, W.; CARRIJO, O. A. Razão entre radiação fotossinteticamente ativa e radiação global no cultivo do tomateiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 626-631, Nov./dez. 2008.

STRASSBURGER, A. S.; MENEZES, A. J. E. A.; PERLEBERG, T. D.; EICHOLZ, E. D.; MENDEZ, M. E. G.; SCHOFFEL, 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3ªed. Sunderland: Sinauer Associates, 2004.

TANAKA, A. A. **Avaliação de métodos de estimativa da radiação solar global e da evapotranspiração de referência para o Estado de Mato Grosso**. 2013. 110p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

TEIXEIRA, A. H. C. LIMA FILHO, J. M. P. **Cultivo da Mangueira: Clima. Sistemas de Produção**. 2. EMBRAPA, Julho, 2004.

TERAMOTO, E. T.; CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A. Comparação entre valores de temperatura média do ar de estação convencional com valores obtidos em estação automática e análise de equações para estimativas de médias da temperatura do ar em Lavras, MG. **Ciência Agrotecnologia**, v. 33, Edição Especial, p. 1798-1803, 2009.

TERÃO, D.; CUNHA e CASTRO, J. M.; LIMA, M. F.; BATISTA, D. C.; BARBOSA, M. A. G.; REIS, A.; DIAS, R. C. S. **Sistema de produção de melancia**. Embrapa semiárido, 2010.

THORNTHWAITE, C. W. **An approach toward a ration classification of climate**. Geogr. Rev., v. 38, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Climatology, v.1, n.8, p.1- 104, 1955.

TURCO, J. E. P., BARBOSA, J. C. **Avaliação de duas estações meteorológicas automatizadas, para estimativa diária da evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith**. Irriga., v. 13, n. 3, p. 339-354, 2008.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

VIEIRA, R. Y. M.; OLIVEIRA, A. D. O.; SOBRINHO, J. E.; PEREIRA, V. C.; MELO, S. B.; SILVA, F. G. Comparação de dados meteorológicos obtidos através das estações meteorológicas convencional e automática em Mossoró – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16, 2010, Belém. **Resumos..**, Belém – PA: Sociedade Brasileira Meteorologia, 2010.

VILARINHO, S. F. S. **Influência da localização nas medições efetuadas por uma estação meteorológica, no Campus de Gualtar**. 2009.78p. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade do Minho, Braga.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: na introductory survey**. New York: Academic Press, 1977.

WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. Geneva: World Meteorological Organization, 1983. 230 p.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K. M.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995-9005, 1985.

Anexo 1

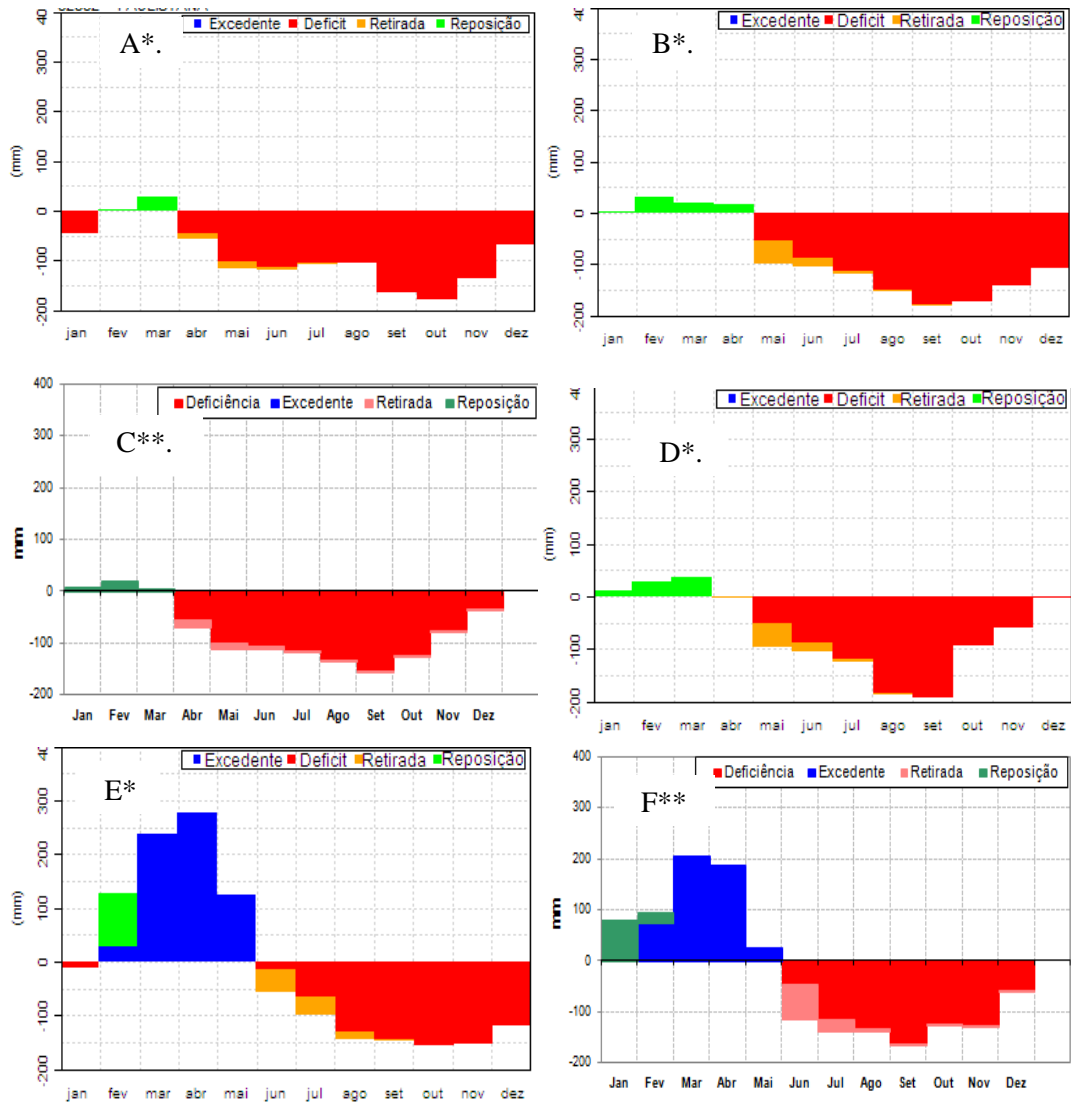


Figura 5. Balanço hídrico climatológico para os municípios que compõem o estudo: Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

* Fonte: INMET (2015c)

** Fonte: Autor

Anexo 2

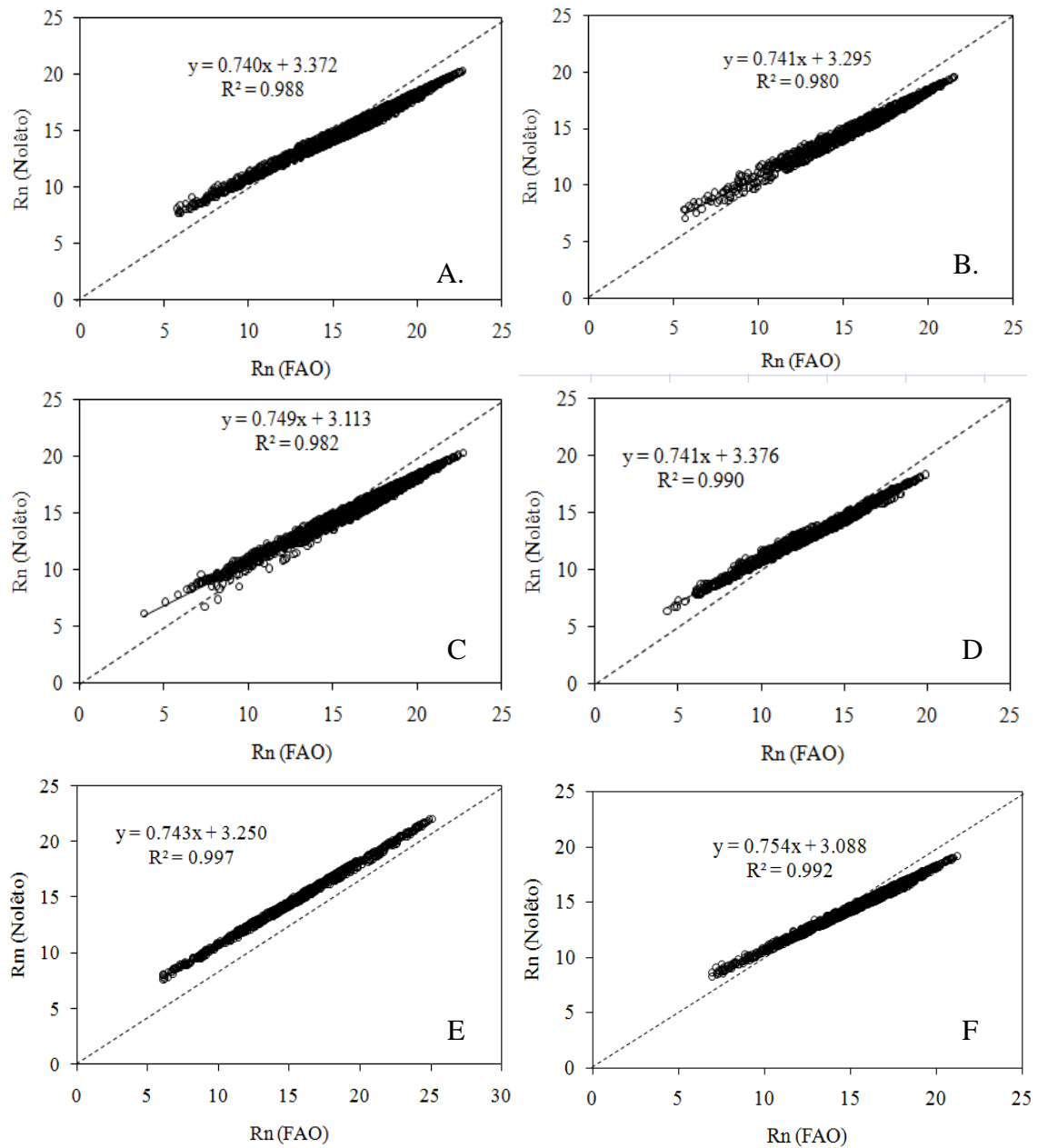


Figura 6. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período anual utilizando dados obtidos nas estações automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piri-piri (F).

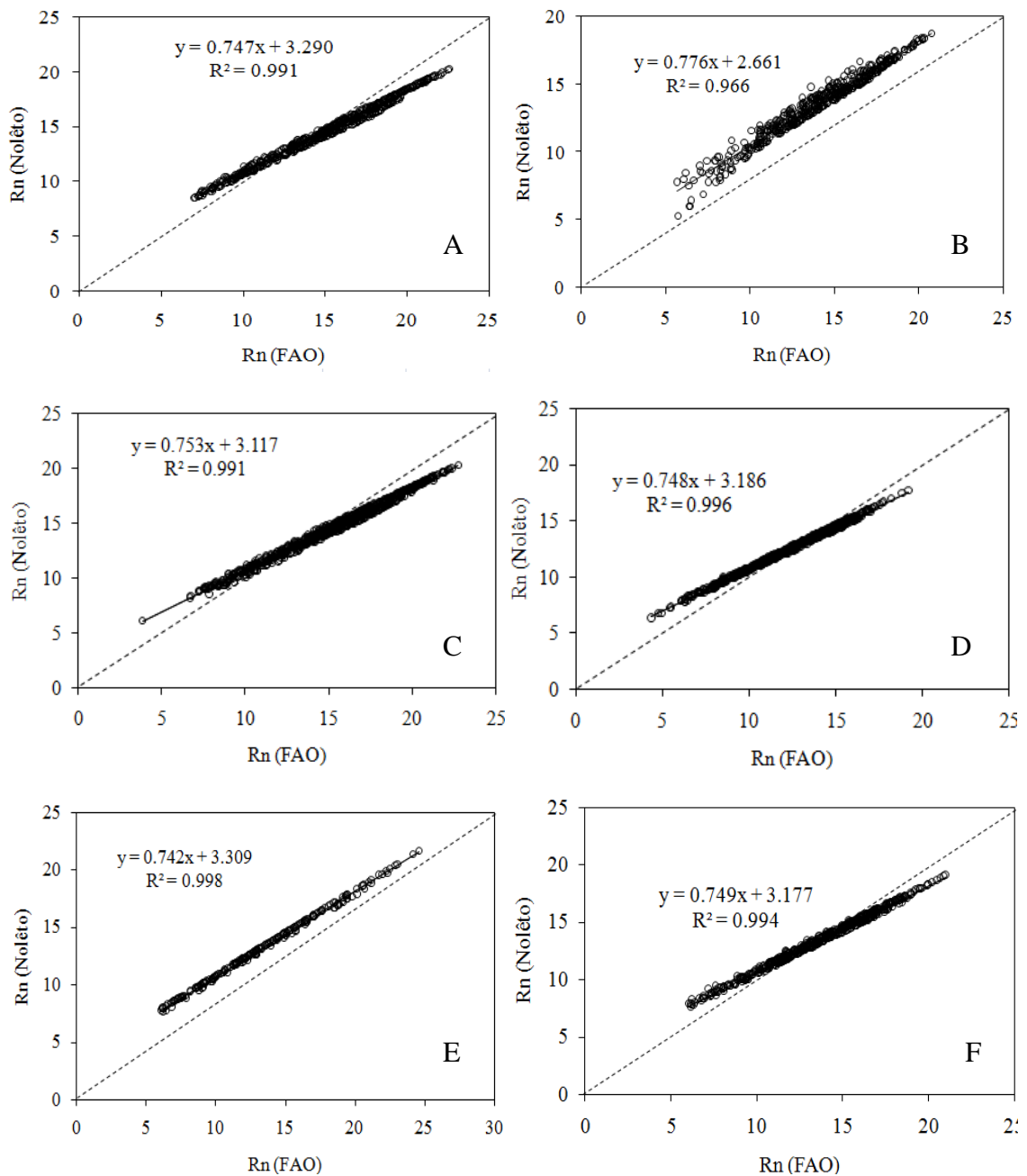


Figura 7. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período chuvoso utilizando dados obtidos nas estações automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

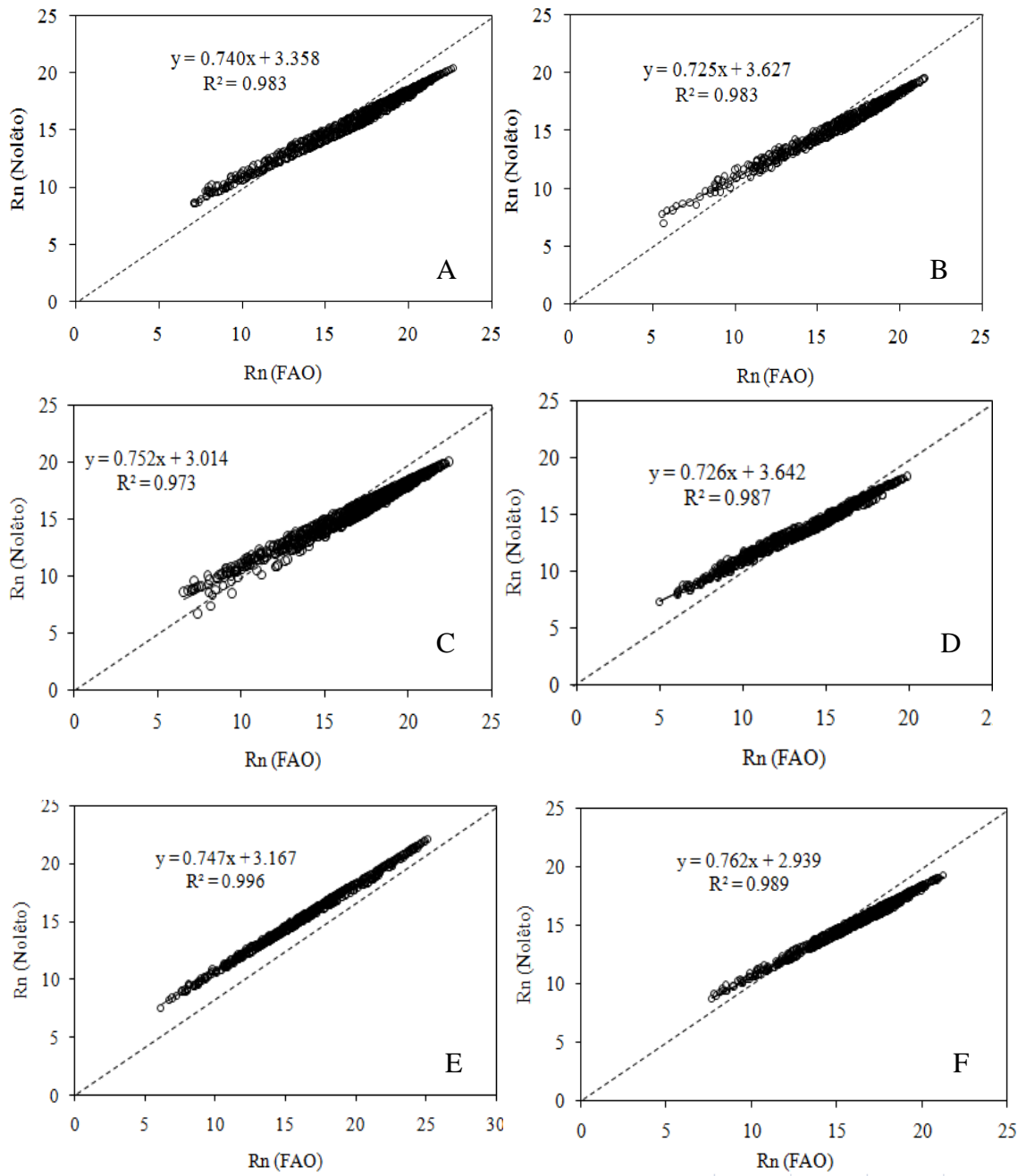


Figura 8. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nólêto et al. (2014) no período seco utilizando dados obtidos nas estações automáticas nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

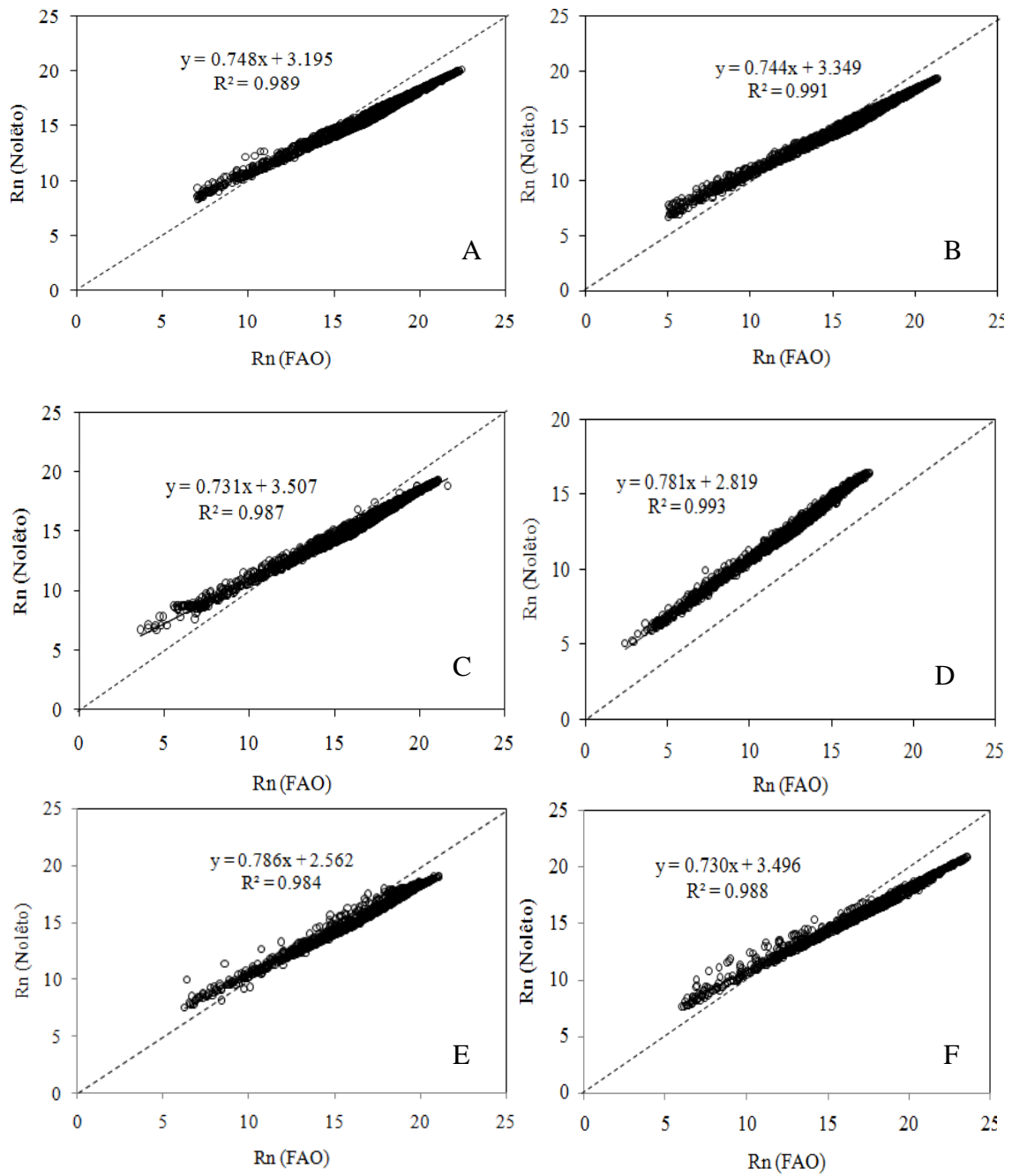


Figura 9. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nólêto et al. (2014) no período anual utilizando dados obtidos nas estações convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

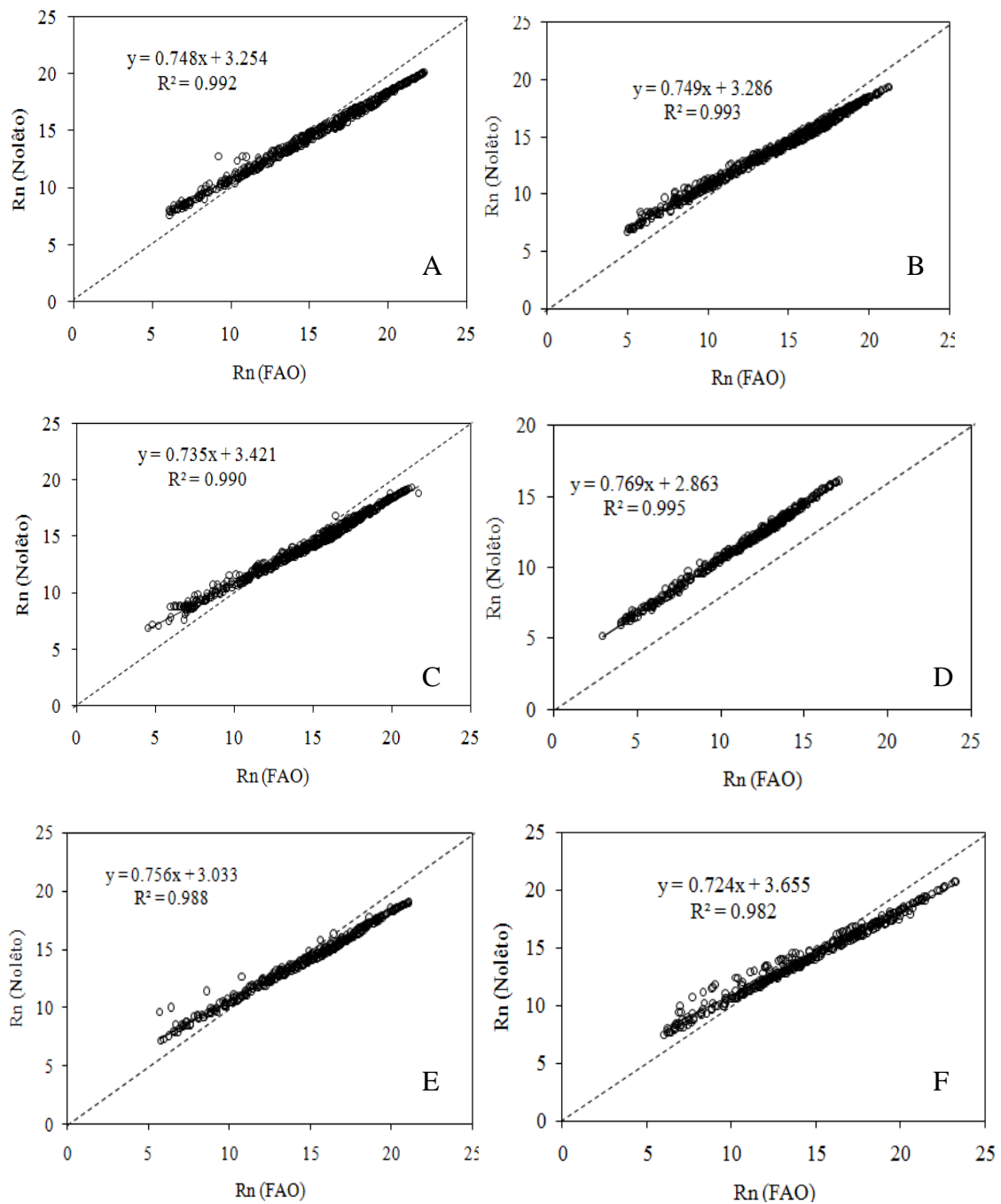


Figura 10. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nolêto et al. (2014) no período chuvoso utilizando dados obtidos nas estações convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

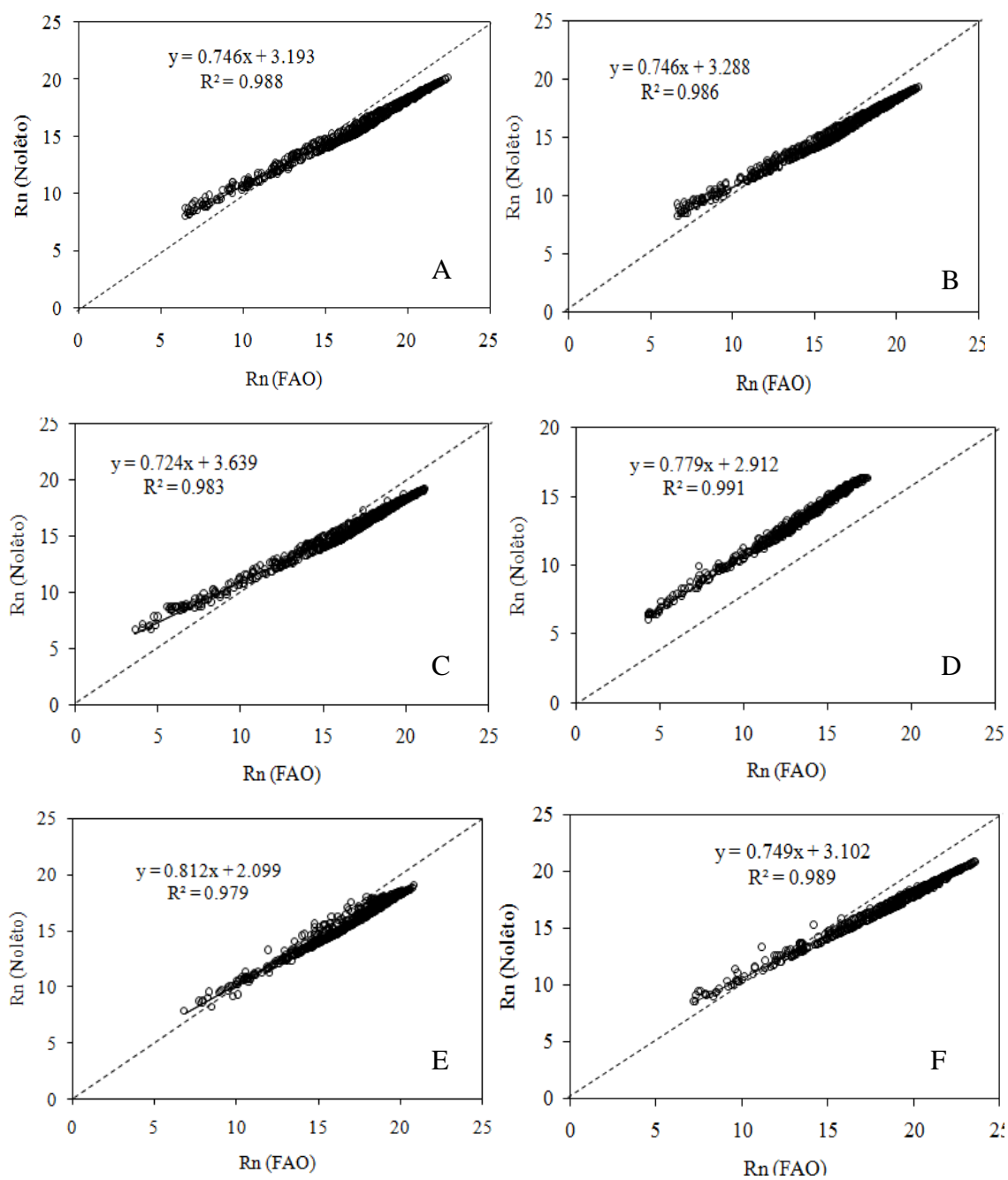


Figura 11. Comparação dos dados de radiação líquida estimados pela metodologia recomendada pela FAO (balanço de ondas curtas e longas) e por Nólêto et al. (2014) no período seco utilizando dados obtidos nas estações convencionais nos municípios de Paulistana (A), Picos (B), São João do Piauí (C), Floriano (D), Parnaíba (E) e Piripiri (F).

Anexo 3

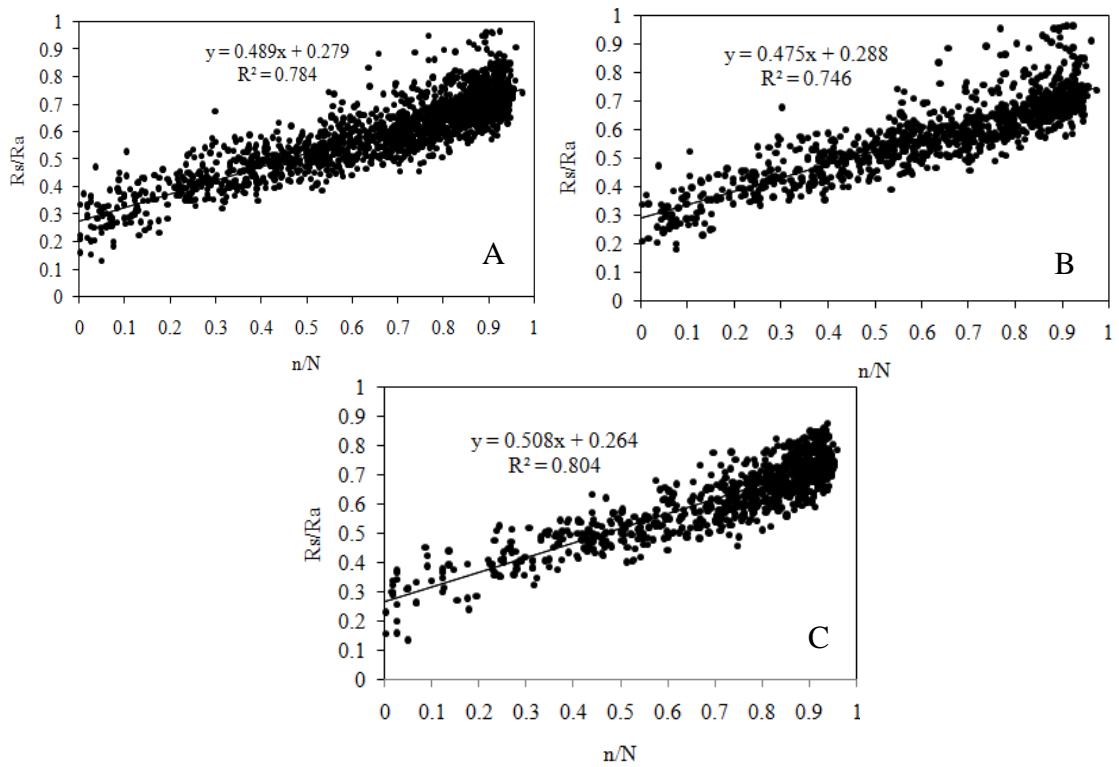


Figura 12. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C). Paulistana, PI.

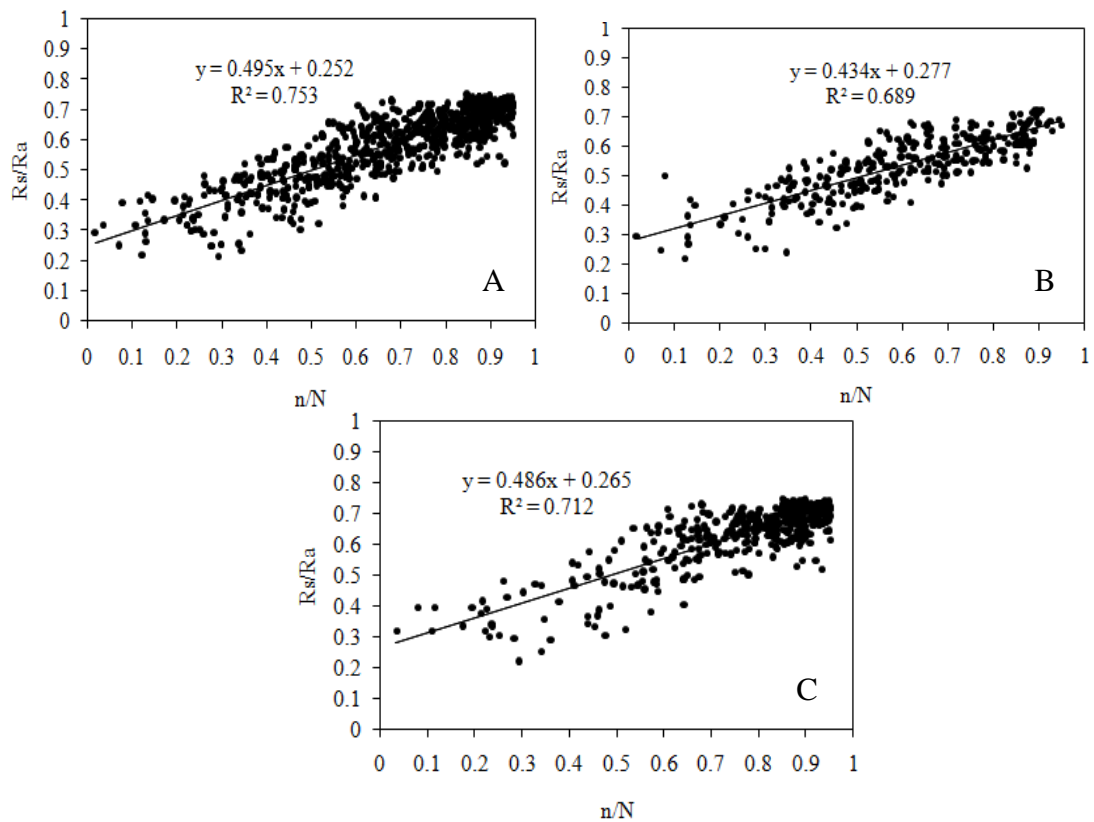


Figura 13. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C). Picos, PI.

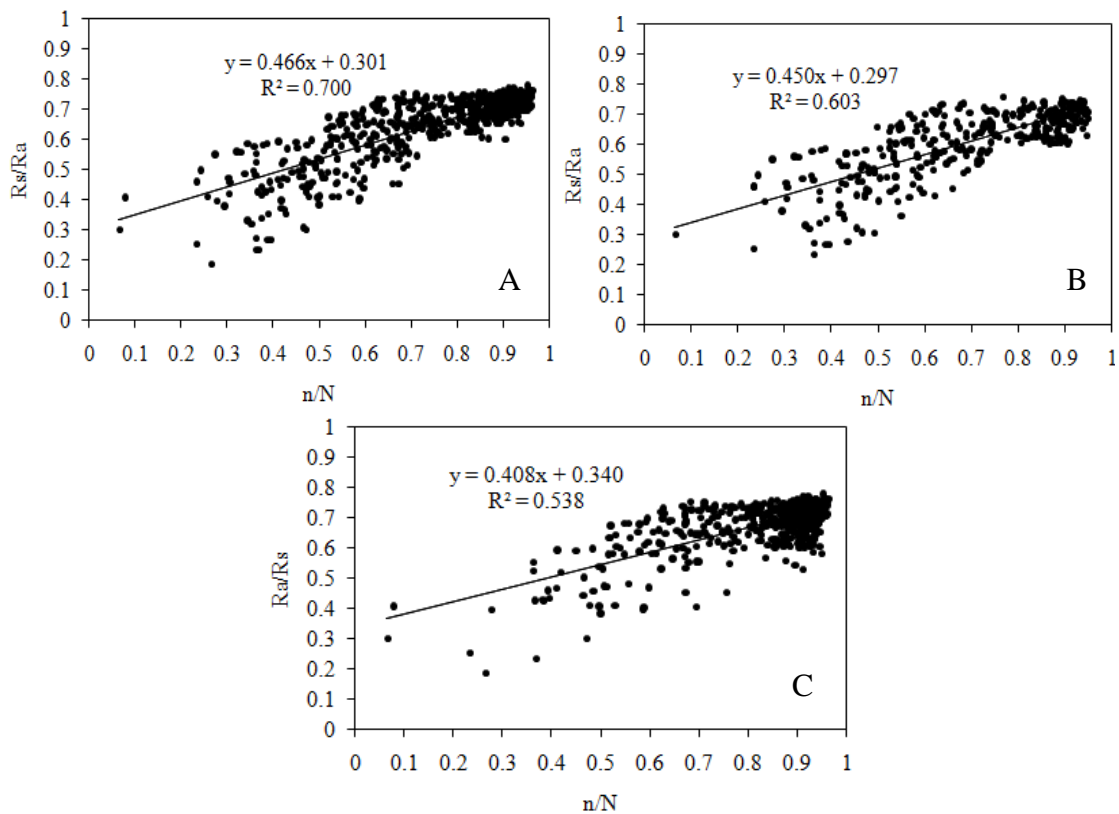


Figura 14. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C). São João do Piauí, PI.

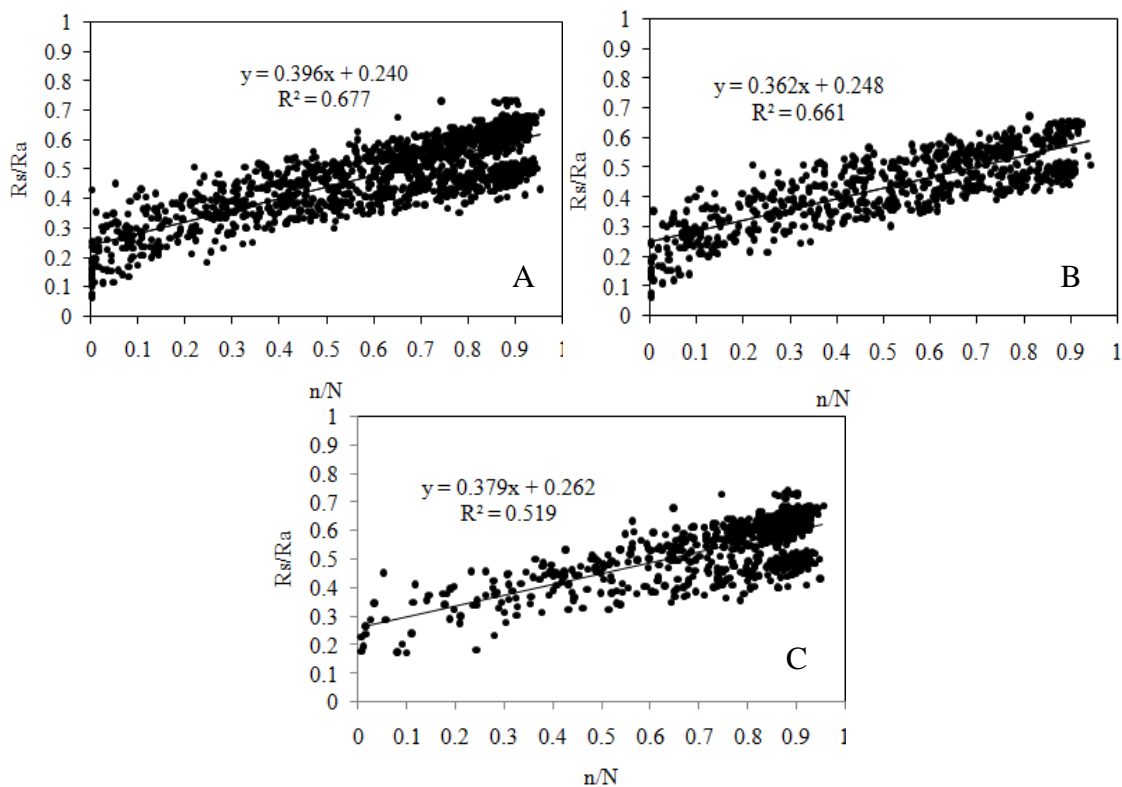


Figura 15. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C). Floriano, PI.

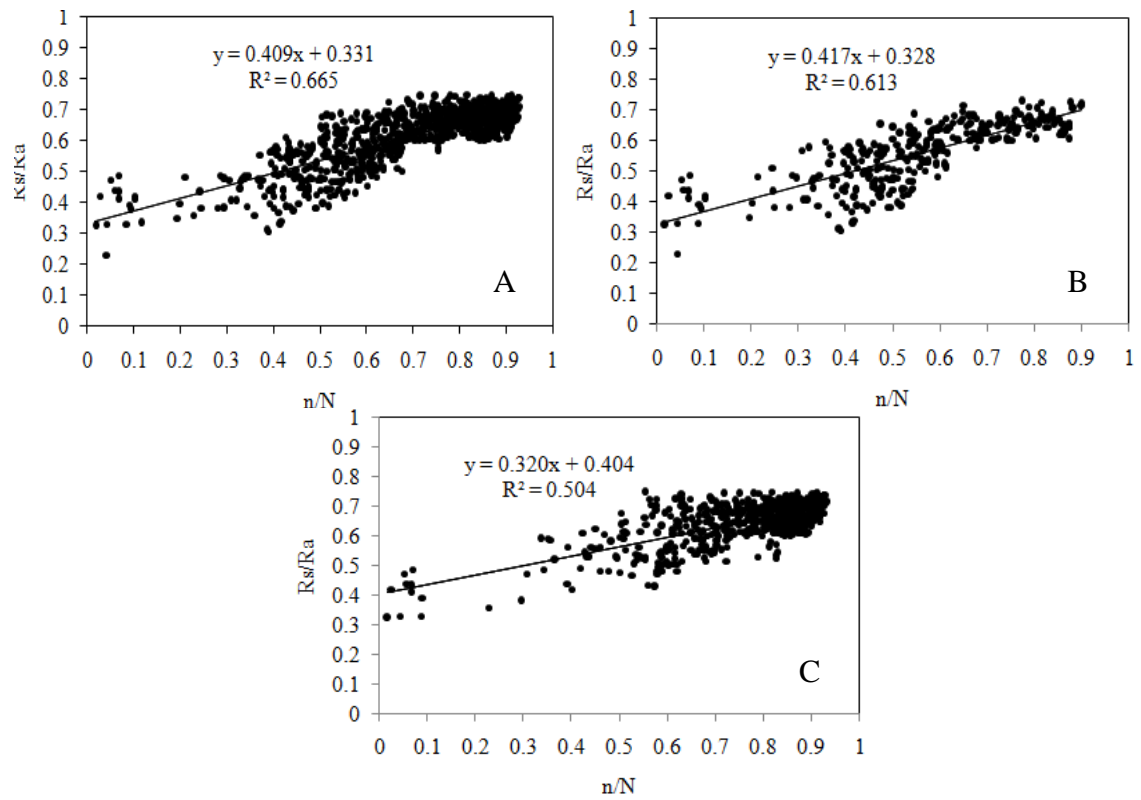


Figura 16. Gráficos de dispersão dos valores da razão de radiação (R_s/R_a) e razão de insolação (n/N) para os períodos anual (A), chuvoso (B) e seco (C). Piripiri, PI.