



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOAMBIÊNCIA
E RECURSOS HÍDRICOS DO SEMIÁRIDO**

JÓRIO BEZERRA CABRAL JÚNIOR

**COMPARAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
DE REFERÊNCIA ESTIMADOS PELOS MÉTODOS DE PENMAN-
MONTEITH E TANQUE CLASSE A, PARA CAMPINA GRANDE, PB.**

CAMPINA GRANDE, PB.

2014

JÓRIO BEZERRA CABRAL JÚNIOR

**COMPARAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
DE REFERÊNCIA ESTIMADOS PELOS MÉTODOS DE PENMAN-
MONTEITH E TANQUE CLASSE A, PARA CAMPINA GRANDE, PB.**

Trabalho de Conclusão de Curso de especialização (Latu Sensu) em GeoAmbiência e Recursos Hídricos do Semiárido da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para a obtenção do título de especialista em Geografia.
Área de concentração: Climatologia do Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida.

CAMPINA GRANDE, PB.

2014

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

C117c Cabral Júnior, Jório Bezerra

Comparação de dados diários de evapotranspiração de referência estimados pelos métodos de Penman-monteith e tanque classe A, para Campina Grande, PB [manuscrito] / Jório Bezerra Cabral Júnior. - 2014.

72 p. : il. color.

Digitado.

Monografia (Especialização em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido) - Universidade Estadual da Paraíba, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, Departamento de Geografia".

1. Climatologia 2. Evapotranspiração de Referência 3. Recurso Hídrico 4. Água I. Título.

21. ed. CDD 551.6

JÓRIO BEZERRA CABRAL JÚNIOR

**COMPARAÇÃO DE DADOS DIÁRIOS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO
DE REFERÊNCIA ESTIMADOS PELOS MÉTODOS DE PENMAN-
MONTEITH E TANQUE CLASSE A, PARA CAMPINA GRANDE, PB.**

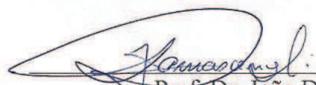
Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)
apresentada ao Curso de Pós-Graduação Latu
Sensu em GeoAmbiência e Recursos Hídricos
do Semiárido da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito para obtenção do
título de Especialista em Geografia.

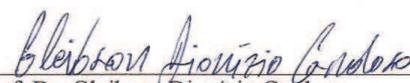
Área de concentração: Climatologia do
Semiárido.

Aprovada em: 18/12/2014.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. João Damasceno
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Gleibson Dionízio Cardoso
(EMBRAPA/Campina Grande)

A Deus, por todas as possibilidades, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao criador e glorioso DEUS, pela vida, força e contínua persistência de me fazer forte para ir em busca das oportunidades.

Ao meu orgulho de vida, meu pai, Jório Bezerra Cabral (é para mim uma honra ter o seu nome) sempre o admirei como ser humano, digno, honesto e não mediu esforços para contribuir na minha caminhada quanto cidadão.

À minha mãe, por toda paciência.

À minha mãe-avó, Maria de Lourdes Cruz Cabral, de quem sinto muita saudade, quando ainda recordava de todos, até ser atingida pelo mal de Alzheimer.

À todos os meus familiares, que se fizeram presentes, agradeço por terem acreditado em mim, às vezes mais do que mereci.

Aos meus amigos de longa data, Maysa Farias, Evangelista de Sales, Crisólogo Vieira, Caline Mendes, por todo o apoio e amizade.

Aos companheiros da turma do curso de Especialização em GeoAmbiência e Recursos Hídricos do Semiárido, pelo bom convívio durante o curso: Adailton, Claudean, Cleandro, Crisólogo, Érika, Joselito, Josué, Maysa, Rogério e Wladimir.

Ao Hélder Farias, pelas valiosas discussões científicas compartilhadas.

Aos professores do curso da especialização, especialmente ao prof. Dr. João Damasceno, Dr. Gleibson Cardoso e Dr. Rafael Xavier.

À querida professora Marília, com todo meu carinho e respeito, por toda atenção.

À Universidade Estadual da Paraíba, pelo incentivo à produção acadêmica.

À EMBRAPA, por ter cedido dados para pesquisa.

E ao eterno professor, orientador e amigo, HERMES ALVES DE ALMEIDA, que será sempre para mim, uma grande referência como profissional. Com quem aprendi a admirar ainda mais a ciência depois dos seus ensinamentos. Obrigado pelo estímulo, paciência, dedicação e sempre ter sido acessível. Que Deus continue iluminando-o sempre.

A todos os demais que se fizeram presentes, meu muito obrigado.

“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.”
Albert Einstein

Foram os sonhos, a fé e a força da vontade
que me impulsionaram
para que eu chegasse até aqui,
e a cada conquista alcançada,

RESUMO

A evapotranspiração de referência (ET_o) é um elemento de grande importância para o planejamento dos recursos hídricos, sendo a agricultura uma das atividades que mais consome água. As perdas de água de superfícies vegetais podem ser quantificadas, utilizando-se métodos de estimativas da ET_o, como o do Tanque Classe “A” (ET_oTCA) que é um dos mais simples e um dos mais utilizados. No entanto, alguns trabalhos têm mostrado que esse método pode gerar imprecisão nos resultados, a depender do local e do clima. Diante disto, realizou-se um estudo comparativo entre os dados diários de ET_oTCA, utilizando-se diferentes coeficientes do Tanque Classe A (K_p), e os do método padrão (Penman-Monteith-ET_o_PM), parametrizado pela FAO, para as condições de Campina Grande, PB. Utilizando-se séries diárias de evaporação do Tanque Classe A (TCA) e de outros elementos do clima geradas na estação meteorológica da EMBRAPA Algodão, em Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.2013. Os dados de evaporação do TCA foram convertidos em ET_o, usando os coeficientes propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Pereira et al. (1995), e os demais dados usados para estimar a ET_o pelo método de Penman-Monteith FAO, sendo comparados entre si e analisados usando-se as medidas estatísticas de tendência central (média e mediana), de dispersão (variância, desvio padrão), de frequência e de separatrizes (quartis). As análises comparativas foram feitas utilizando a correlação de Pearson, os índices estatísticos propostos por Willmott et al., (1985), teste “t-student” e análise de variância, com teste Tukey a 5% de significância. Os testes não paramétricos: Run (homogeneidade), Mann-Kendall (tendência) e Sen (magnitude) foram utilizados para averiguar se há tendências nas séries temporais. Os principais resultados indicaram que a ET_o média mensal foi maior no período seco (outubro a dezembro). Em 50% dos dias dos meses (março a agosto) os totais de evapotranspiração de referência, pelo método de PM, foram menores que os do TCA. Os índices de desempenho entre os métodos foram, na maioria insatisfatória, e alcançaram desempenho (“c”), enquadrado como sendo mediano, para as estações outono e inverno, sendo assim recomenda-se (na impossibilidade de estimar a ET_o pelo método de PM) estimar a ET_o pelo TCA utilizando-se o coeficiente do TCA proposto por Snyder, para as condições de Campina Grande.

Palavras-Chave: Climatologia, Evapotranspiração de Referência, Recurso Hídrico, Água.

ABSTRACT

The reference evapotranspiration (ET_o) is an element of great importance for the planning of water resources, agriculture is one of the activities that consume more water. Due to the need to quantify the surfaces of plant water loss, there are several methods for estimating the ET_o is the Class A pan (ET_oTCA) one of the simplest and most used. However, some studies have shown that this method can generate inaccurate results, depending on the location and climate. Given this, a study was done comparing the daily data ET_oTCA, using different coefficients (K_p) to convert pan evaporation (ECA) to grass-reference evapotranspiration (ET_o), with the standard Penman-Monteith (ET_o_PM), parameterized by FAO, for Campina Grande climatic conditions, PB. Daily data sets were used in pan evaporation Class A (TCA) and other elements collected by the weather station of EMBRAPA Cotton, in Campina Grande, in the period from 01.01.1977 to 31.12.2013. The evaporation data TCA were converted into ET_o using the coefficients proposed by Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989) and Pereira et al. (1995), and other data climatic used to estimate ET_o by the Penman-Monteith FAO, being compared and analyzed using the statistical measures of central tendency (mean and median), dispersion (variance, standard deviation) , frequency and separatrizes (quartiles). Comparative analyzes were performed using Pearson's correlation, statistical indices proposed by Willmott et al., (1985), "t-student" and analysis of variance with Tukey test at 5% significance level. Non-parametric tests: Run (homogeneity), Mann-Kendall (trend) and Sen (magnitude) were used to see if there are trends in the time series. Results indicated that the average monthly ET_o was higher in the dry season (October-December). In 50% of the days of the months (March to August) the total of reference evapotranspiration, the PM method, was lower than the TCA. The performance rates between the methods were, in most unsatisfactory, and achieved performance ("c"), framed as median for the fall and winter seasons, so recommended to use the coefficient of Class A pan, proposed by Snyder, for the conditions of Campina Grande.

Keywords: Climatology, Reference Evapotranspiration, Leaf Water Resource, Water.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização de Campina Grande, PB, com destaque para a Estação Meteorológica Convencional – EMC (CNPA/EMBRAPA), e administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) 25
- Figura 2. Ilustração do Tanque Classe A com a Bordadura 30
- Figura 3. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (boxplot), estimadas pelo método de Penman-Monteith–FAO (EToPM), para Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.13 38
- Figura 4. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (boxplot), estimadas pelo método do Tanque Classe A (EToCA), utilizando-se diferentes coeficientes de ajustes propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Pereira et al. (1995), para Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013 39
- Figura 5. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência, estimadas pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, utilizando-se diferentes fatores de ajustes propostos por: Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Pereira (1995), para Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013 41
- Figura 6. Médias diárias dos desvios padrão da evapotranspiração de referência, estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, utilizando-se os fatores de correções propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Pereira (1995). Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 42
- Figura 7. Médias diárias mensais das frequências relativas (%) dos valores de evapotranspiração de referência (mm), estimada pelo método de Penman-Monteith (EToPM), em Campina Grande, PB. Período: 1977 a 2013 43
- Figura 8. Médias aritméticas diárias e móveis (de 5 e 10 anos) da evapotranspiração de referência, estimadas pelo método de Penman-Monteith, e os respectivos desvios padrão (médias \pm DP), por estação do ano. Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013 46
- Figura 9. Valores diários da evapotranspiração de referência, estimados pelo método de Penman-Monteith, para os anos mais seco (1998) e o mais chuvoso (2011) do período: 1977-2013, comparados com a média da série \pm DP, para Campina Grande, PB 47
- Figura 10. Médias diárias da evapotranspiração de referência, por estações do ano e décadas, estimadas pelo método de Penman-Monteith, para Campina Grande, PB 48
- Figura 11. Matriz de dispersão dos valores médios diários da evapotranspiração de referência (mm), na solstício de verão, estimados pelos métodos Penman-Monteith (ETo_PM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder, Allen et al., Cuenca, Pereira, em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 49

- Figura 12. Matriz de dispersão dos valores médios diários da evapotranspiração de referência (mm), no equinócio de outono, estimados pelos métodos Penman-Monteith (EToPM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira, em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 49
- Figura 13. Matriz de dispersão dos valores médios diários da evapotranspiração de referência (mm), no solstício de inverno, estimados pelos métodos Penman-Monteith (EToPM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira, em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 50
- Figura 14. Matriz de dispersão dos valores médios diários da evapotranspiração de referência (mm), no equinócio de primavera, estimados pelos métodos Penman-Monteith (EToPM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira, em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 50
- Figura 15. Box Plot com distribuição média diária por ano, obtida pelos métodos de Penman-Monteith (ETo_PM), e, pelo método do “Tanque Classe A” utilizando-se diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira, em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013..... 54
- Figura 16. Diferenças de médias anuais entre métodos de evapotranspiração de referência (com 5% de significância estatística), calculados pelos métodos: Penman-Monteith-FAO (F) e pelo tanque classe “A” propostos por Snyder (S), Allen et al. (A), Cuenca (C) e Pereira et al. (1995). Em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013..... 56
- Figura 17. Variabilidade da Evapotranspiração de referência média diária, por ano, estimada pelos métodos de Penman-Monteith (ETo_PM), e, pelo método do “Tanque Classe A (ETo_TCA)” utilizando-se diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira. Em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013..... 57
- Figura 18. Variabilidade média do acumulado anual da Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith. Médias: simples, móveis (com período de 5 e 10 anos) e os respectivos Desvios (média simples \pm Desvios Padrão). Em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013 57
- Figura 19. Médias diárias por décadas, para cada estação do ano, da ETo, estimada pelo método de Penman-Monteith, e, pelo método do “Tanque Classe A” para diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder, Allen et al., Cuenca e Pereira. Em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013 59
- Figura 20. Variabilidades médias diárias dos principais elementos meteorológicos utilizados para a estimativa da Evapotranspiração de referência: temperatura mínima (tmin), temperatura máxima (tmáx), temperatura média (tmed), Umidade Relativa do ar (UR), Insolação (Insol), Irradiância Solar Global (Qg), Velocidade do vento (Vento) e Evaporação do Tanque Classe “A” (Evap.). Em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013..... 60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Valores dos coeficientes de Desempenho (“c”) proposto por Camargo e Sentelhas (1997)..... 35
- Tabela 2. Coeficientes de correlação (r) com os respectivos testes estatísticos de significância (cor.test) e o teste de T-Student (t.test) dos valores médios da Evapotranspiração de referência calculada pelo método do Tanque Classe “A”, para diferentes coeficientes de ajustes, e comparadas com o método referencial (Penman-Monteith) por estação do ano. Testes obtidos com nível de significância de 1% ($\alpha=0,01$) 52
- Tabela 3. Avaliação do desempenho dos métodos para a estimativa da ETo diária para cada estação do ano, estimada pelo método do Tanque Classe A (TCA) com diferentes coeficientes de ajustes (K_p) propostos por Snyder (S), Allen (A), Cuenca (C) e Pereira (P), no período de 1977 a 2013, em Campina Grande, PB..... 53
- Tabela 4. Variáveis meteorológicas com os respectivos testes estatísticos de homogeneidade da série temporal, Teste Run (TR), de Tendência de Mann-Kendall (TMK), magnitude da tendência (curvatura de Sen) e o sinal com o sucessivo ano de início da tendência média no período de 1977 a 2013, em Campina Grande, PB..... 61
- Tabela 5. Evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith, e, pelo método do “Tanque Classe A”, propostos por: Snyder (S), Allen et al. (A), Cuenca (C) e Pereira (P), com os respectivos testes estatísticos de Tendência de Mann-Kendall (TMK), magnitude da tendência (curvatura de Sen) e o sinal com o sucessivo ano de início da tendência média, período: 1977 a 2013, em Campina Grande, PB..... 61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASA – Articulação do Semiárido

ANA – Agência Nacional das Águas

CNPA – Centro Nacional de Pesquisas Agropecuárias

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETo– Evapotranspiração de Referência

ETo_PM – Evapotranspiração de Referência pelo método dePenman-Monteith (Padrão)

EToTCA – Evapotranspiração de Referência pelo método do Tanque Classe A

EToTCA_A - Evapotranspiração de Referência calculada pelo método do Tanque Classe A utilizando a conversão de evaporação em ETo pelo método proposto por Allen et al. (1998);

EToTCA_C - Evapotranspiração de Referência calculada pelo método do Tanque Classe A utilizando a conversão de evaporação em ETo pelo método proposto por Cuenca (1989);

EToTCA_S - Evapotranspiração de Referência calculada pelo método do Tanque Classe A utilizando a conversão de evaporação em ETo pelo método proposto por Snyder (1992);

EToTCA_P - Evapotranspiração de Referência calculada pelo método do Tanque Classe A utilizando a conversão de evaporação em ETo pelo método proposto por Pereira et al.(1995);

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INSA – Instituto Nacional do Semiárido

IPCC – Painel Inter-governamental sobre Mudanças Climáticas

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura

OMM – Organização Meteorológica Mundial

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	13
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 – Evapo (transpi)ração.....	16
2.2 – Transpiração da vegetação.....	16
2.3 –Água e desenvolvimento regional	17
2.4 –Metodologias para a obtenção da Evapotranspiração.....	18
2.5 – Elementos meteorológicos que influenciam a Evapotranspiração	19
2.5.1 Método de Penman-Monteith (FAO, 56)	20
2.5.2 Método do Tanque Classe “A” (TCA-FAO).....	20
2.6 – Aplicações da evapotranspiração calculada pelo método do TCA	21
2.7 –“Tendências” ou “Mudanças” no regime da evapotranspiração	23
3 –MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 –Área de estudo	25
3.2 –Dados para análise e procedimentos metodológicos de estimativa da ETo	26
3.3 –Métodos estatísticos aplicados	32
4 –RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5 –CONCLUSÕES.....	63
Referências bibliográficas	64

1. INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso escasso e irregularmente distribuído pelo globo terrestre (CUNHA, 2011), está em processo contínuo de movimento, através do ciclo hidrológico, intercalados no tempo e no espaço e com características peculiares: excesso (entra mais água que sai) ou déficit hídrico (sai mais do que entra) em diferentes e/ou numa mesma região geográfica.

No semiárido brasileiro uma das principais características é a predominância de déficit hídrico ao longo do ano, a estação chuvosa é curta (entre três a quatro meses) e o potencial de perda de água para a atmosfera, através da Evapotranspiração de referência (ET_o), é maior que a chuva praticamente o ano inteiro, entretanto em pleno século 21 ainda é um desafio estabelecer métodos de estimativas da ET_o com baixo custo econômico e com alta precisão.

De acordo com Grismer et al. (2002), existe cerca de cinquenta métodos para a estimativa da ET_o, os quais exigem informações meteorológicas distintas e, portanto, produzem frequentemente, resultados inconsistentes. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO) estabeleceu no ano de 1990 o método de Penman-Monteith como a estimativa padrão da ET_o.

Por ter sido o método mais preciso em condições diversas e aceito internacionalmente, a evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith (ET_o_PM) é referência para se obter e comparar com outros métodos de estimativas que se ajuste a ele e, portanto, possam a partir de comparações ser utilizado com baixo custo e o mais simples possível, sem perder a eficiência da estimativa.

Neste sentido um método que se destaca é do Tanque Classe “A” (TCA), por ser um dos mais simples, de fácil manejo e acuracidade nas medidas obtidas, por isso, é um dos métodos indiretos de uso generalizado, no mundo e inclusive no Brasil. Entretanto, ainda há pesquisadores que questionam o método de estimativa da ET_o pelo TCA, particularmente devido às condições atmosféricas, geográficas e diferentes épocas do ano.

O método do TCA pode ser o melhor método de estimativa da ET_o para uma localidade e para outra próxima a ela não. Até mesmo numa mesma localidade em função do tempo o melhor pode ser diferenciado. Sousa et al. (2010) estimaram, em Sergipe, a ET_o com base nos métodos do TCA e mais outros métodos, e, identificaram que o método TCA não apresentou desempenho satisfatório em nenhum perímetro irrigado estudado.

Nesse contexto a Evapotranspiração se torna um componente central do ciclo hidrológico e o de maior complexidade para sua determinação, pois, uma vez que essa variável é derivada de um conjunto de elementos meteorológicos poderá assumir

comportamentos distintos, que dependem do método utilizado, das condições de entorno e da intensidade da alteração climatológica.

Ainda não foi observado trabalhos que tenham utilizado séries climatológicas para comparar a ETo pelo TCA comparada ao método padrão (ETo_{PM}) em Campina Grande, e portanto torna-se necessário conhecer a precisão e a acuracidade deste método para a referida localidade, inserida na região semiárida do Nordeste brasileiro.

Sendo a região do Nordeste do Brasil (NEB) a segunda mais populosa do país, e no caminho inverso, com a menor disponibilidade hídrica, questiona-se: Qual o quantitativo de perda de água por ETo para Campina Grande? O método do TCA é ou não adequado para esta localidade? Qual o melhor coeficiente de ajuste para converter a evaporação do TCA em ETo? Será que a perda da água por evapotranspiração está aumentando com o tempo? Quais as principais variáveis que podem estar contribuindo para isso?

Para a tomada de decisão dos questionamentos acima, tornam-se necessárias análises estatísticas da ETo, com significância, para Campina Grande, PB, uma vez que o método do TCA poderá está sendo utilizado sem precisão e portanto sendo ineficiente no planejamento e gestão dos recursos hídricos, seja em reservatórios livres ou no manejo para irrigação.

Objetivo Geral

Comparar dados diários de evapotranspiração de referência (ETo) estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, para Campina Grande, PB.

Objetivos específicos:

- Caracterizar a evapotranspiração de referência diária pelo método de Penman-Monteith, em Campina Grande, PB;
- Analisar a variabilidade sazonal da ETo de referência em Campina Grande, PB;
- Identificar se o método do Tanque Classe A é adequado para Campina Grande e qual o melhor coeficiente para conversão da evaporação em evapotranspiração de referência diária;
- Detectar se há tendência/mudança temporal no regime da ETo em Campina Grande, PB.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O estudo do tempo e do clima ocupa uma posição central e importante no amplo campo da ciência ambiental. Os processos atmosféricos influenciam os processos nas outras partes do ambiente, principalmente na biosfera, hidrosfera e litosfera (AYOADE, 2002).

O ritmo das variações sazonais da umidade relativa, temperatura, chuva, velocidade do vento, evaporação, radiação solar, etc., caracterizam o clima de uma região, sendo o período mínimo de 30 anos ininterruptos recomendados pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1975), com base em princípios estatísticos de medidas de tendência central.

A Evapotranspiração é um elemento de destaque na atmosfera, pois é a principal componente de saída de água da superfície no ciclo hidrológico. Há mais de quarenta métodos empíricos e semi-empíricos para sua estimativa. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* – FAO) recomenda o uso do método de Penman-Monteith para a estimativa de evapotranspiração (Allen et al., 1998), e portanto admite-se esse o método padrão e internacionalmente aceito.

A grande limitação para utilizar esse método é o número de elementos meteorológicos necessários, o que inviabiliza, na maioria das vezes, a sua aplicação. Por isso se recorre a métodos mais simples, com menos variáveis, e que seja o mais preciso. O manual 24 da FAO apresenta sugestões de aplicações de métodos bastante conhecidos que determinam a evapotranspiração de referência para diferentes condições Climáticas. Entre esses métodos está o do Tanque Classe A.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA, 2005), de toda água consumida no Brasil cerca de 70% é utilizada na agricultura para irrigação. Esse quantitativo pode ser reduzido, evitando o desperdício e utilizando apenas o necessário, daí a importância do gerenciamento adequado pelo conhecimento por perda da Evapotranspiração.

No início da década de 40, observando o desperdício de água em irrigação no México, Thornthwaite e Holsman (1941) já afirmavam que “a falta de dados de evaporação e transpiração tem atrasado bastante a análise e a solução de muitos problemas climáticos e hidrológicos. E portanto, estudos de evaporação, em superfícies geográficas, precisam de informações no sentido de esclarecer e solucionar a questão”. Principalmente com possíveis alterações e ou tendências que podem afetar o ciclo hidrológico local ou regional.

2.1 A Evapo (transpi) ração

O termo evapotranspiração compreende a perda associada de água, que ocorre pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração estomática e cuticular da planta (OMETTO, 1981). No início da década de 1940 Thornthwaite introduziu o conceito de evapotranspiração potencial. Antes disso, denominava-se de uso consuntivo. Atualmente há três tipos mais usuais para se referir a evapotranspiração: a potencial (ETP), a de referência (ETo) e a real (ETR).

A evapotranspiração potencial (ETP - introduzido por Thornthwaite) é caracterizada como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera, sob condições padronizadas, ou seja, área com extensa superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa, de altura uniforme, com elevado índice de área foliar (IAF) e sem jamais sofrer limitações nas condições hídricas (THORNTHWAITE, 1941).

A evapotranspiração de referência (ETo) é definida como a taxa de evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética com uma altura de 0,12 metros e um albedo de 0,23, condições parecidas com a evapotranspiração de uma extensa superfície de vegetação rasteira, com altura uniforme, crescimento ativo, condições hídricas suficientes, e com solo completamente coberto (SMITH, 1991). Doorenbos e Pruitt (1977) propuseram o conceito de ETo em substituição ao termo ETP, o que em essência, os tornam sinônimos.

A evapotranspiração real (ETR) é definida como a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais ou existentes de fatores atmosféricos e umidade do solo (MATZENAUER, 1992). Logo, conclui-se que a ETR será sempre menor ou igual à ETo, e nessa condição a vegetação tenta encontrar condições para perder menos água por transpiração.

2.2 Transpiração da Vegetação

A transpiração vegetal ocorre quando o vapor d'água é liberado para a atmosfera através dos estômatos. Os estômatos atuam como reguladores da taxa de transpiração procurando evitar ou minimizar as situações de elevado estresse hídrico (CARVALHO et al., 2014).

A vegetação absorve água pelo sistema radicular e transfere a maior parte dela pelas folhas, esse quantitativo é variável em escala diária e sazonal; de maneira geral um dossel vegetativo está mais propenso à perda de água por transpiração de acordo com a disponibilidade hídrica e a demanda energética. Estresse provocado por déficit hídrico reduz o

crescimento vegetal, a partir da diminuição do tamanho das células e dos espaços intercelulares (HSIAO & ACEVEDO, 1974).

Em regiões de clima semiárido as plantas respondem ao déficit hídrico de diversas formas para se ajustarem às condições de estresse, com o desenvolvimento de estratégias classificadas como mecanismos de escape ou de tolerância à seca (ARAÚJO, 2005). Para Silva et al., (2008) a primeira linha de defesa ao déficit hídrico é o fechamento estomático.

Os estômatos se fecham nos horários de maior demanda evaporativa para manter o status hídrico (NOGUEIRA et al., 2005). Para Pimentel (2004) o fechamento ocorre nos horários mais quentes do dia, podendo provocar alterações morfofisiológicas.

2.3 Água e Desenvolvimento Regional

A Organização das Nações Unidas (ONU) diagnostica que mais de 18% da população mundial não têm acesso a uma quantidade mínima aceitável de água potável (BEZERRA, 2002). O Brasil, o país das águas, detém 12% da água doce do planeta, entretanto há região com excesso e outra com escassez hídrica.

Segundo o último censo oficial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) a região Nordeste continua sendo a segunda região mais populosa do país com 27,8% da população brasileira e conforme Bezerra (2002) a de menor disponibilidade hídrica (3,3% do total nacional).

Por ser uma região vulnerável à seca, investimentos no Nordeste, especialmente no semiárido, foi intensificado no século vinte investimentos com pesquisa e obras para mitigar efeitos nefastos pela escassez de água e contribuir com o desenvolvimento (ASA, 2014).

Dentre os órgãos governamentais instalados para contribuir com esse desenvolvimento destacam-se em 1945 o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), em 1952 o Banco do Nordeste, em 1959 a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), na década de 70 a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em 1999 a Articulação do Semiárido (ASA) e em 2004 o Instituto Nacional do Semiárido (INSA).

Todas essas instituições foram estrategicamente implantadas para intervir e encontrar meios de melhor convivência com o semiárido. Os mais recentes (EMBRAPA, ASA e INSA) são envolvidas com a ciência e tecnologia voltadas para a questão hidrológica.

Sabe-se que no semiárido do Nordeste a quantidade e a distribuição de chuvas são irregulares. Há anos em que as chuvas se concentram em um a dois meses e em outros que

chovem torrencialmente, embora de forma irregular tanto no espaço quanto no tempo (ALMEIDA & SILVA, 2008). Além dessa característica, a quantidade de chuva é menor do que o índice de evaporação (ASA, 2014). O qual há predominância de déficit hídrico no solo, e essa situação é corrigida na agricultura por meio de irrigação (SILVA, 2007). De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2005) a irrigação representa o maior consumo da água no Brasil, com 69% do total.

O Instituto da água (2001) avaliou que do total da água consumida por irrigação no Brasil seria permitido economizar 20% se houvesse disponibilidade de dados sobre a evapotranspiração das culturas.

2.4 Elementos meteorológicos que influenciam a Evapotranspiração

A evapotranspiração é derivada de uma combinação de muitos elementos meteorológicos de forma concomitante (OMETTO, 1981). Embora existam os principais que tem maior influência para sua oscilação, dentre eles destacam-se: Radiação Solar, Velocidade do Vento, Temperatura do ar, Umidade Relativa (AYOADE, 2002).

Conforme Pereira, Villa Nova e Sedyama (1997) a evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água para as plantas no solo. A disponibilidade de energia é o resultado do balanço da quantidade que chega pela diferença que sai, sendo o principal componente de entrada a RS. Por isso, a Radiação Solar Global (Q_g) é um componente meteorológico considerável para o cálculo da evapotranspiração (FONTANA & OLIVEIRA, 1996).

O aumento da velocidade do vento ou o transporte de umidade pelo vento (a advecção) também contribui para o aumento da ET proporcionalmente, o processo é intensificado em quanto menos úmido for o ar em deslocamento, o chamado “efeito varal”, essa característica é muito comum em áreas irrigadas (PEREIRA, VILLA NOVA & SEDIYAMA, 1997). Quando o ar seco em volta de uma cultura é transportado para um perímetro irrigado, a ET é consideravelmente maior em sua interface e diminui na medida em que se direciona para o interior, quando o ar seco vai perdendo força.

Outro importante elemento para a variabilidade da ET é a temperatura do ar. De forma simplificada esse elemento é função do saldo da quantidade de energia liberada na forma de calor sensível em um determinado local. Aumentando-se a temperatura, aumenta-se a demanda energética para mudança de fase da água, ou seja, a maior evaporação em

superfícies livres e transpiração (pela atividade fotossintética das plantas) são maiores nos horários de maior temperatura (OMETTO, 1981).

A temperatura do ar influencia diretamente a Umidade Relativa, ao ponto que indica o quanto o ar, em condições ambiente, falta para chegar ao seu teor máximo e saturar (resfriando-se ou aumentando o vapor) (ALMEIDA, 2012). A UR é a razão entre a pressão parcial de vapor (e_a) e a de saturação (e_s) ($UR=e_a/e_s$), quando a temperatura aumenta o e_s aumenta exponencialmente contribuindo para a diminuição da UR (VAREJÃO-SILVA, 2006). Quanto menor a UR, maior o Δe , e conseqüentemente maior é o potencial do ar reter vapor d'água (por evapotranspiração) (VIANELLO, 1991).

Quando ocorre a precipitação pluvial o déficit de vapor é nulo e conseqüentemente a $UR=1$ ou 100% (VIANELLO, 1991). Em dias chuvosos, por exemplo, devido à alta nebulosidade a Q_g é menor, e conseqüentemente a temperatura e o saldo de energia. Portanto, em dias, meses ou na estação chuvosa a ET tende a ser menor.

Por sua vez, é difícil separar precisamente a ação dos elementos meteorológicos, pois os mesmos agem simultaneamente interligados. Assim, de maneira geral, para uma dada região, quanto maior for a energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evapotranspiração de referência (VILLA NOVA, 1987).

2.5 Metodologias para obtenção da Evapotranspiração

São muitos os métodos para calcular a ET_o , dentre eles há os diretos e por estimativas. A FAO-56, como já dito anteriormente estabeleceu o método de estimativa por Penman-Montheith como o padrão. Portanto, utilizaram-se algumas estimativas comparando-os ao método estabelecido pela FAO-56.

A utilização de medida direta da ET_o além de mais onerosa, há muitas limitações por conta da demanda e da dificuldade com a falta de recursos tecnológicos e humanos. Devido às dificuldades de determinação da evapotranspiração de referência mediante medições diretas em condições reais, têm sido largamente utilizados métodos indiretos, possibilitando resultados satisfatórios (MARQUELLI et al., 1986).

De acordo com Grismer et al. (2002), existem cerca de cinquenta métodos indiretos para a estimativa da ET_o , os quais exigem informações meteorológicas distintas e, portanto, produzem frequentemente, resultados inconsistentes.

Diversos métodos de estimativa de evapotranspiração têm sido aplicados, porém é fundamental saber a sua adequabilidade, podendo ser variável de região para região. Por esse motivo Oliveira et al., (2001) sugerem o cuidado em avaliar com extrema cautela o grau de exatidão de cada modelo de estimativa antes de utilizá-lo para nova condição. Atualmente tem-se, estabelecido pela FAO, como método padrão: o método de Penman-Monteith.

2.5.1 Método de Penman-Monteith (FAO, 56)

O método de Penman-Monteith-FAO (PM-FAO) surgiu em 1990, como uma nova proposta para estimar a ETo, revolucionando os estudos sobre o assunto, são raríssimas as regiões em que este método não seja recomendado (Carvalho et al., 2011), diversos estudos, no Brasil e no mundo, têm comprovado que o método PM-FAO é bastante preciso (XU & CHEN, 2005; YODER et al. 2005; LÓPEZ-URREA et al., 2006; JABLOUN & SAHLI, 2008; BARROS et al., 2009).

A Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID) e a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (Food and Agriculture Organization –FAO) consideram o método de Penman-Monteith como padrão de estimativa da ETo, e portanto admite-se que esse é o método internacionalmente aceito (Allen et al., 1998).

Porém, isso não significa que seja operacionalmente perfeito, mas que é baseado em princípios físicos corretos (SEDIYAMA, 1996). Segundo Chin e Zhao (1995) há consenso entre os hidrologistas que o método de Penman-Monteith -FAO fornece a melhor descrição dos processos, tanto da evaporação quanto da evapotranspiração.

Diversos trabalhos tem mostrado que a precisão desse método é satisfatório comparado com medidas diretas em lisímetros como já mencionados por: Allen et al., (1989), Jensen et al., (1990), Camargo e Sentelhas (1997), Pereira et al., (1997), Camargo e Camargo (2000), e diversos outros. Muitas vezes, no entanto seu emprego é restringido pela disponibilidade de dados meteorológicos, o que acaba exigindo o uso de métodos mais simples (MEDEIROS, 2002). Dentre os quais destaca-se o método do Tanque Classe “A” (STANHILL, 2002).

2.5.2 Método do Tanque Classe “A” (TCA-FAO)

O Tanque Classe A foi desenvolvido pelo serviço meteorológico Norte Americano (U.S.W.B) e é recomendado pela FAO. Apresenta facilidade no manejo e acuracidade nas medidas obtidas, sendo atualmente um dos métodos indiretos de uso generalizado, no mundo

(IRMAK, 2002), e inclusive no Brasil, em virtude do seu fácil manejo e baixo custo de implantação (PEREIRA et al., 1997; STANHILL, 2002; BERNARDO et al., 2005; BRAGA et al., 2008; CUNHA, 2011; PEIXOTO et al., 2014).

Para a obtenção da evapotranspiração, pelo TCA, é necessária a leitura da evaporação da água do tanque (OLIVEIRA, et al., 2010; LOPES et al., 2012), o que requer também a determinação de um coeficiente denominado coeficiente do tanque (K_p), que varia de acordo com o local e as condições climáticas (DOORENBOS & PRUITT, 1977; ALLEN et al., 1998), como também à época do ano e a cultura a ser explorada (PEREIRA et al., 2014).

Comumente, o valor de K_p é determinado com base em métodos que consideram os valores médios diários de umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento (U_2), comprimento da bordadura do tanque (F) e o tipo de superfície em que está instalado (grama ou solo nu) (DOORENBOS & PRUITT, 1977; MENDONÇA et al., 2006; BRAGA et al., 2008; PEIXOTO et al., 2014). Porém, outros métodos assumem as resistências da superfície e aerodinâmica (ALLEN et al., 1998; CUENCA, 1989; PEREIRA et al., 1995).

Diversos pesquisadores questionam o método de escolha do K_p para estimação da ET_o . Chiew, Kamaladasa e Malano (1995) somente recomendam a estimativa da ET_o TCA quando o K_p é bem determinado, recomendando sua obtenção por meio da correlação entre ET_o _PM e ECA. Sentelhas e Folegatti (2003) não concordam com Chiew, Kamaladasa e Malano (1995), pois concluíram para Piracicaba, SP, que a relação ET_o _PM e ECA não apresentaram um bom ajuste com os valores calculados.

Existe diversas formas de obtenção do K_p , como as propostas por Cuenca (1989), Snyder (1992) e Pereira et al. (1995), que podem resultar em valores diferentes, dependendo do local (SENTELHAS & FOLEGATTI, 2003; MENDONÇA et al., 2006). Portanto, segundo Conceição (2002) o que deve ser conhecido é que método de determinação, K_p , é o melhor para estimativa da ET_o .

2.6 Aplicações da evapotranspiração calculada pelo método do tanque classe “A”

Cunha et al. (2013) avaliaram alguns K_p 's do TCA em Goiás e concluíram que até mesmo numa localidade o melhor método pode ser diferenciado, a depender das condições de tempo, esses autores analisaram períodos distintos, seco e chuvoso, e identificaram que no período chuvoso os desempenhos da ECA ficaram comprometidos.

Braga et al., (2008), analisando a ET_o TCA na região de irrigação do submédio do Rio São Francisco, na Bahia, recomendam a utilização do método proposto por Pereira et al.

(1995). Enquanto que Esteves et al. (2010), para Campos dos Goytacazes, RJ, concluíram que o melhor método foi o proposto por Cuenca (1989), que obteve a maior eficiência, enquanto que, o pior foi o de Snyder (1992).

Por outro lado, Sabziparvaret al. (2010), em dois tipos de climas, no Irã, analisaram sete diferentes métodos para estimativa do coeficiente do tanque Tanque Classe A (K_p) e verificaram que a maioria das equações de K_p não apresentou bons resultados, exceto para a equação de Snyder (1992) para climas áridos e quentes. Enquanto que Pereira et al. (2014) analisando, em clima quente, a ETo no médio Pajeú em Pernambuco encontrou que os métodos do TCA Snyder foi um dos piores.

Peixoto et al. (2014) encontraram resultados distintos de Pereira et al. (2014), ambos analisaram regiões do semiárido brasileiro, o primeiro trabalho analisou a EToTCA em Mossoró, RN, e foi identificado que o modelo proposto por Snyder (1992), foi o que apresentou melhor desempenho quando comparado com o método padrão, enquanto que no segundo (EToTCA no médio Pajeú, PE) foi concluído o oposto, ou seja, o modelo de Snyder (1992) foi um dos piores.

Para o estado de Sergipe, Sousa et al. (2010) estimaram a ETo com base nos métodos TCA e mais outros métodos, e, identificaram que o método TCA não apresentou desempenho satisfatório em nenhum perímetro irrigado, estudado. Lopes et al. (2012), em Mato Grosso do Sul, acrescentam que, através do método do TCA (com diferentes k_p 's), o método da ETo_PM foi superestimado.

Em uma região semiárida da província da Índia, Gundekaret al. (2008) encontraram no período de inverno, diferentes médias de K_p pelos métodos de Cuenca, Allen et al., Pereira e Snyder, e concluíram que de maneira geral o método de Snyder tem melhor desempenho que Cuenca. Outros trabalhos têm cuidado ao indicar o método de Snyder.

Na Paraíba, para as localidades de Boqueirão e Patos, Leitão, Oliveira e Leitão (2007) avaliaram a EToTCA por diferentes K_p 's e afirmaram que apesar de terem subestimado as medidas entre outubro e janeiro foram, de modo geral, as estimativas de melhor desempenho foram cometidos pelo método de Snyder.

Amorim Neto et al., (1985) fizeram pesquisa relacionada aos métodos mais utilizados na determinação da evapotranspiração de referência para regiões semiáridas e, dentre os quais, concluíram que o método do Tanque Classe "A" e Penman-Monteith são os mais adequados a serem utilizados em período superior a dez dias.

2.7 “Tendências” ou “Mudanças Climáticas” no regime da Evapotranspiração

O Clima não é e nem pode ser estático, sua relação com os fatores geográficos (latitude, continentalidade, maritimidade, maciços florestais, áreas desérticas e etc.) faz com que haja heterogeneidade em suas condições ambientais. Acrescenta-se ainda que os elementos meteorológicos sejam muito variáveis em função do tempo (hora, dia, mês, ano e etc.) caracterizando a atmosfera como complexa e de difícil compreensão (AYOADE, 2002).

A discussão sobre tendências e mudanças climáticas tem permeado na comunidade científica e repercutido na mídia, alcançando a população em massa, ao ponto de que se tem discutido amplamente sobre as possíveis consequências e talvez a irreversibilidade devido ao aquecimento Global.

No âmbito da Evapotranspiração são raros os trabalhos que avaliaram tendências na evapotranspiração com séries longas de dados, especialmente no semiárido do Nordeste brasileiro. Para o IPCC (2013), espera-se que nessa região haja um aumento da temperatura e diminuição das chuvas, enquanto que a evapotranspiração poderá aumentar.

Roderick e Farquar (2002) desenvolveram e publicaram um trabalho em uma das revistas mais renomadas do mundo, a Science, neste trabalho foi feita observações terrestres ao longo de 50 anos (1951-2000), eles mostraram que ao contrário do que se esperaria houve diminuição consistente da evaporação.

Xuet al., (2006) analisaram a tendência temporal da ETo e a evaporação de tanques na bacia do rio Changjiang (China) e verificaram uma tendência significativa de diminuição durante o período de 1961-2000 para ambos.

Bandyopadhyay et al. (2009) aplicando teste de tendência não paramétrico de Mann-Kendall na Índia, também encontraram tendência significativa de diminuição da ETo, eles relataram que a causa foi o aumento da umidade relativa do ar e uma diminuição da velocidade do vento em todo o país.

No Canadá, Burn e Hesch (2007) também fizeram análises de tendências utilizando teste estatístico de Mann-Kendall e observaram que houve tendência de aumento nas regiões mais ao norte e tendências decrescentes mais ao sul, esses autores concluíram que as tendências positivas foi resultado ao aumento do déficit de pressão de vapor, para as tendências negativas, a diminuição da velocidade do vento.

No Brasil foram encontrados dois trabalhos com análise de tendência da evapotranspiração. Um para a localidade de Uberaba, MG, analisado por Alencar et al., (2012), em que verificaram um aumento na evapotranspiração de referência (principalmente

em razão da redução da umidade relativa e do aumento da velocidade do vento) da ordem de 2,8 mm por ano. O segundo foi para a localidade de Viçosa, MG, em que Alencar et al., (2011) neste trabalho encontraram tendência de diminuição na ETo e da cultura do milho ao longo dos últimos 41 anos, para eles a principal razão foi a redução da insolação e da velocidade do vento, a diminuição da evapotranspiração de referência foi na ordem de 4,2 mm por ano.

Gondim et al, (2011) analisando no período de 1961-1990 o norte do Ceará, projetaram como consequência possível da elevação de temperatura a elevação da evapotranspiração para cenários pré-estabelecidos (para até 2040), e identificaram que houve aumento da ETo nas situações analisadas.

Roderick e Farquhar (2004) salientaram que empiricamente, pode-se avaliar as tendências do ETo através de medidas de evaporação, destacando que a comunidade científica, tem se interessa do por essas análises, onde em alguns locais a evaporação aumentou e outros, diminuiu.

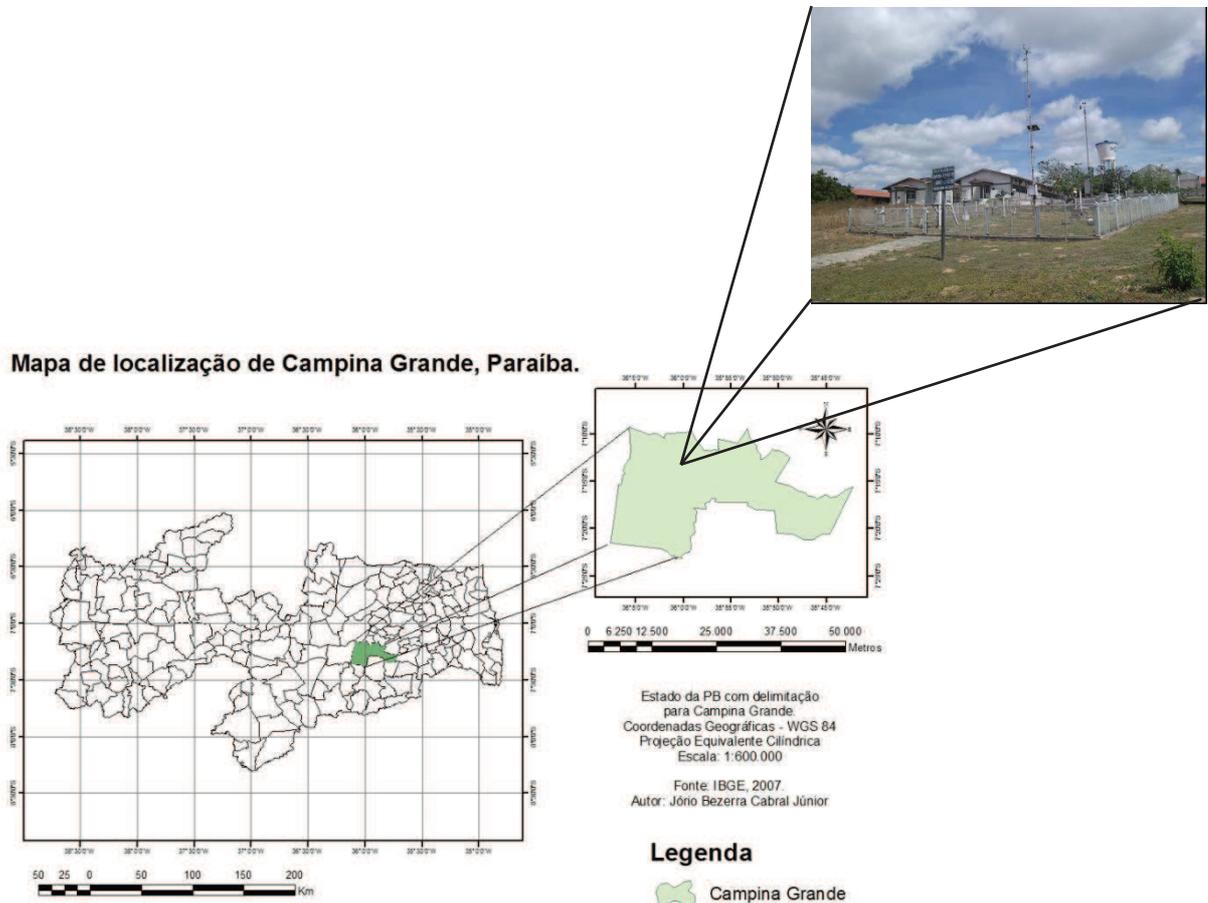
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A localização da área de estudo situa-se no município de Campina Grande ($7^{\circ} 13' 00''$ Sul, $35^{\circ} 53'$ Oeste e 547,6 m). A 120 km da capital João Pessoa, estando inserida na mesorregião do Agreste emicrorregião de Campina Grande, Paraíba. A classificação Climática, segundo fórmula proposta por Köppen, é As' . A vegetação é formada por Florestas Subcaducifólica e Caducifólica, próprias das áreas agrestes (CPRM, 2005).

Observa-se na Figura 1 a referida localidade com destaque para a Estação Meteorológica Convencional (EMC), de onde os dados foram coletados. A EMC encontra-se instalada no Centro Nacional de Pesquisa/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPA/EMBRAPA e é gerenciada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 1: Localização de Campina Grande, PB, com destaque para a Estação Meteorológica Convencional – EMC (CNPA/EMBRAPA), e administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



3.2 Dados para análise e procedimentos metodológicos de estimativa da ETo

Para a efetivação deste estudo foram utilizadas séries de dados diários e ininterruptos de 01.01.1976 a 31.12.2013, uma série climatológica de 38 anos de dados meteorológicos, cedidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA/Algodão) em Campina Grande, PB.

De posse dos seguintes dados: Pressão atmosférica, temperaturas do ar, umidade relativa, velocidade do vento, insolação e evaporação do Tanque Classe A; estimou-se a Evapotranspiração de referência (ETo) diária através dos métodos descritos abaixo.

Evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (ETo_{PM})

A estimativa para a ETo_{PM} foi definida para uma cultura hipotética, com altura de 12 cm, resistência do dossel de 69 s/m e albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1998) e padronizada por Smith (1991) de acordo com a equação:

$$ETo_{PM} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (Rn - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{900}{(t_{med} + 275)} U_2 (e_s - e_a) \quad (1)$$

Sendo: Δ - a declinação da curva de saturação do vapor de água (kPa °C⁻¹);

γ^* - Coeficiente psicrométrico modificado (γ^* , em kPa.°C⁻¹)

Rn - o saldo de radiação (MJ.m⁻².dia⁻¹);

G - Fluxo de calor no solo diário (MJ.m⁻².d⁻¹) determinado pela fórmula proposta por Wright e Jensen (1972), ou seja:

$$G = 0,38 (t_{med_i} - t_{med_{i-j}})$$

t_{med} - temperatura média do ar do dia _i e de um dia antes _{i-j};

Y - o fator psicrométrico (MJ kg⁻¹);

t_{med} - a temperatura média do ar (°C);

U₂ - a velocidade média diária do vento a 2 m acima da superfície do solo (m/s);

e_s - a pressão de saturação do vapor (kPa);

e_a - a pressão atual do vapor (kPa);

900 - fator de correção (kg. K/KJ).

O passo-a-passo para calcular os parâmetros da ETo_PMé mostrado a seguir com base no Boletim 56/FAO (ALLEN *ET AL.*, 1998) e parametrizado por Smith (1991).

Declinação da curva de saturação do vapor de água (Δ , em kPa °C⁻¹)

$$\Delta = \frac{4098 (e_a)}{(t_{med} + 237,3)^2} \quad (2)$$

Temperatura média do ar diária (t_{med} , em °C)

$$t_{med} = \frac{t_{máx} + t_{mín}}{2} \quad (3)$$

Sendo: $t_{máx}$ – Temperatura máxima do dia (°C);

$t_{mín}$ – Temperatura mínima do dia (°C).

A pressão de saturação de vapor (e_s , em kPa) foi obtida de acordo com a equação de Murray (1967).

$$e_s (kPa) = 0,6108 \exp\left(\frac{17,27 t_{med}}{t_{med} + 237,3}\right) \quad (4)$$

Pressão atual do vapor (e_a , em kPa)

$$e_a (kPa) = e_s \left(\frac{UR}{100}\right) \quad (5)$$

Sendo: UR - Umidade Relativa do ar (%).

Coeficiente psicrométrico modificado (γ^* , em kPa.°C⁻¹)

$$\gamma^* = \gamma (1 + 0,33 U_2) \quad (6)$$

Sendo : U_2 . velocidade do vento a 2m de altura ($m.s^{-1}$);

γ = constante psicrométrica ($kPa.°C^{-1}$).

Constante psicrométrica (γ , em $kPa.°C^{-1}$)

$$\gamma = 0,0016286 \frac{P}{\lambda} \quad (7)$$

Calor latente de vaporização (λ , em $MJ.Kg^{-1}$)

$$\lambda = 2,501 - 0,002361t_{med} \quad (8)$$

Os valores diários da radiação solar global (Q_g , equação 9) foram obtidos pelo modelo de Angström-PreScott, sendo necessário estimar outras variáveis, descritas por Vianello e Alves (1991) e Ometto (1981), tais como: A radiação solar extraterrestre (Q_0 , equação 10); a distância relativa diária Terra-Sol ($(\frac{\bar{D}}{D})^2$, equação 11); a declinação do sol para o dia em questão (δ , equação 12); o comprimento do meio dia solar (H , equação 13) e a duração máxima de brilho solar (N , equação 14):

$$Q_g = Q_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right) \quad (9)$$

$$Q_0 = 37,60 \left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 (H \cdot \text{sen } \Phi \cdot \text{sen } \delta + \cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \text{sen } H) \quad (10)$$

$$\left(\frac{\bar{D}}{D} \right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos X + 0,001280 \text{ sen } X + 0,000719 \cos 2X + 0,000077 \text{ sen } 2X \quad (11)$$

$$\delta = 0,006918 - 0,399912 \cos X + 0,070257 \text{ sen } X - 0,006758 \cos 2x + 0,000907 \text{ sen } 2x - 0,002697 \cos 3X + 0,001480 \text{ sen } 3X \quad (12)$$

Em que X (em radiano), das equações 11 e 13, é expresso por:

$$X = 2\pi (j - 1)/365 \quad (12.1)$$

Sendo, j: o número do dia do ano (Juliano), variando de 1 a 365.

$$H = \arccos (-tg\Phi \cdot tg\delta) \quad (13)$$

$$N = \frac{2H}{15} \quad (14)$$

Sendo: Q_g - É radiação solar global ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$);

Q_0 - É radiação solar extraterrestre ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$);

a e b – São coeficientes adimensionais dependentes da latitude e das condições atmosféricas do local, esses coeficientes para a latitude de Campina Grande, PB, foi calculado por Azevedo (1981);

n - número de horas e décimos de brilho solar (insolação, em horas);

N - comprimento máximo do dia (fotoperíodo, em horas);

$\left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2$ - É a distância relativa do dia Terra-Sol (em radianos);

Φ - É a latitude local (em graus módulos);

H- É o comprimento do meio dia solar (em radianos);

δ - É declinação do sol para o dia em questão (em radianos).

Saldo de radiação à superfície (R_n , em $MJ.m^{-2}.d^{-1}$)

$$R_n = Q_g (1 - r) - \sigma \frac{(t_{\max}^4 + T_{\min}^4)}{2} \times (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \times (0,1 + 0,9 \times \frac{n}{N}) \quad (10)$$

Sendo: r - albedo da superfície (0,23);

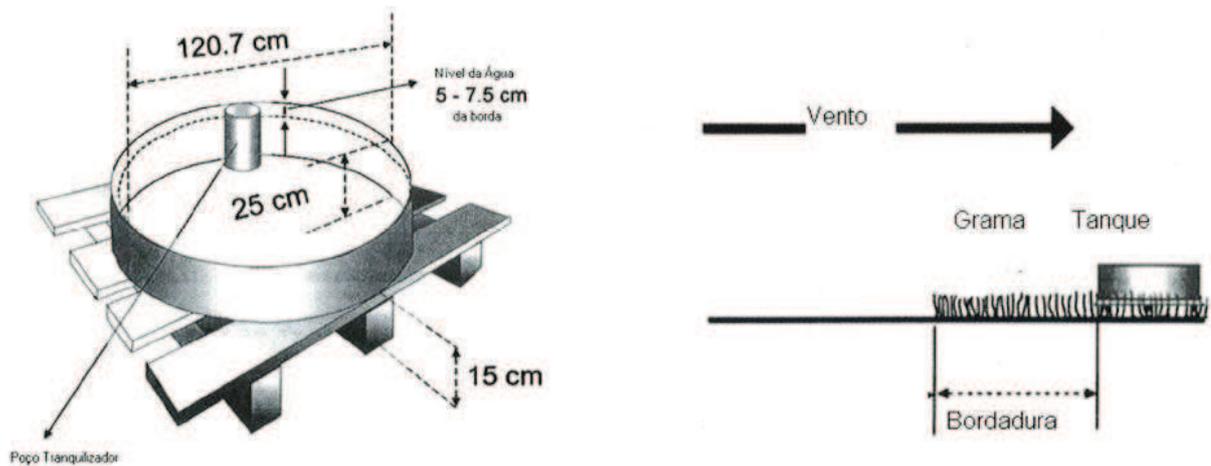
σ - Constante de Stefan-Boltzman ($0,49 \times 10^{-7} MJ.m^{-2}.d^{-1}.K^4$);

Q_g , t_{\max} , t_{\min} , e_a , n e N – Definidas acima.

Evapotranspiração pelo método do Tanque Classe A (EToTCA)

O Tanque Classe A é um recipiente que contém água para medir a evaporação diária, a água de ser repostada diariamente ao nível de 5 - 7,5 cm da borda. Geralmente instalado dentro de estação meteorológica, o Tanque Classe A é composto por material galvanizado, cujo diâmetro é de 120,7 cm, altura de 25 cm, devendo ser mantido a 15 cm de distância do solo e com bordadura (distância) do tanque coberta por grama, conforme é observado na Figura 2. Padrões estes recomendados pela FAO (ALLEN *ET AL.* 1998).

Figura 2. Ilustração do Tanque Classe A com a Bordadura. Fonte: Adaptado de Allen *et al.*, 1998.



Para a conversão da evaporação do Tanque Classe A em evapotranspiração de referência (ET_o), utilizou-se diferentes coeficientes adimensionais de ajustes (K_p) para identificar qual melhor se ajusta às condições para a microrregião de Campina Grande, PB. Os coeficientes a ser avaliados foram:

Coeficiente de ajuste proposto por Snyder (1992) (ET_oTCA_S):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \cdot \ln(F) - 0,000376 \cdot U_2 + 0,0045 \cdot UR(11)$$

Sendo: F - tamanho da bordadura do Tanque (F=10m, em Campina Grande);

U_2 - velocidade do vento a 2m de altura ($\text{km} \cdot \text{dia}^{-1}$);

UR - Umidade Relativa média do ar (%).

Coefficiente de ajuste proposto por Cuenca (1989)(EToTCA_C):

$$Kp = 0,475 - (2,4 \cdot 10^{-4}U_2) + (5,16 \cdot 10^{-3}UR) + (1,18 \cdot 10^{-3}F) - (1,6 \cdot 10^{-5}UR^2) - (1,01 \cdot 10^{-6}F^2) - (8 \cdot 10^{-9}UR^2 \cdot U_2) - (1 \cdot 10^{-8} \cdot UR^2 \cdot F)(12)$$

Coefficiente de ajuste proposto por Pereira et al. (1995)(EToTCA_P):

$$Kp = 0,84(\Delta + \gamma)/[\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)](13)$$

Sendo: Δ e γ – Definidos na equação de ET_{oPM} ;

$\frac{r_c}{r_a}$ - é a relação entre a resistência do dossel da grama à difusão do vapor d'água (r_c) e a resistência aerodinâmica para a troca do vapor d'água de uma superfície evaporante (r_a), dados por uma relação empírica com a velocidade do vento, sugerido por Allen et al. (1989) e adotado pela FAO (SMITH, 1991; ALLEN ET AL, 1998):

$$\frac{r_c}{r_a} = 0,34U_2(14)$$

Coefficiente de ajuste proposto por Allen et al. (1998)(EToTCA_A):

$$Kp = 0,108 - 0,0286U_2 + 0,0422Ln(F) + 0,1434Ln(UR) - 0,000631[Ln(F)]^2Ln(UR)(15)$$

De posse de cada coeficiente de ajuste (Kp), determinou-se a ET_o de acordo com a equação 16.

$$ET_oTCA = ECA \cdot Kp(16)$$

Sendo: ET_oTCA - A evapotranspiração de referência pelo método do Tanque Classe A (mm. d^{-1});

ECA - a perda por evaporação no tanque “Classe A” (mm. d^{-1});

K_p - coeficiente de conversão da evaporação do tanque “Classe A” em evapotranspiração de referência (K_p , adimensional), obtidos pelas equações 11, 12, 13 e 15.

Os diferentes valores de K_p obtidos pelas equações 11, 12, 13 e 15 foram comparados com base no método Padrão da ET_o_{PM} – FAO.

3.3 Métodos estatísticos aplicados

De posse das estimativas diárias da ET_o_{PM} (FAO) e da ET_o_{TCA} (ajustadas pelos respectivos coeficientes), em Campina Grande, PB, fez-se uma caracterização utilizando medidas de: tendência central (média e mediana), dispersão (Variância, desvio Padrão, Coeficiente de Variação e de assimetria), separatrizes (Quartís e percentis) e de distribuição de frequências (relativas, acumuladas e absolutas), caracterização estas descritas em Assis, Arruda e Pereira (1996).

Para avaliar a homogeneidade das séries da ET_o para cada método foi utilizado o teste não paramétrico denominado ‘*Run Test*’, ou teste de sequência. Recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), em sua Nota Técnica, nº 81 (THOM, 1966).

O critério deste método é dado a partir da contagem do número de repetições dos valores maior e menor que a mediana, denominando-os de Run, com maior descrição em Back (2001) e Casademont e Villanova (2006).

A sequência contém N_1 símbolos de um tipo e N_2 de outro tipo. Assim, a distribuição amostral do número de Runs (u) pode ser aproximada pela distribuição normal, com média $E(u)$ e variância $Var(u)$, sendo estimadas mediante as expressões:

$$E(u) = \frac{2N_1N_2}{N_1 + N_2} \quad (17)$$

$$Var(u) = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N_1 - N_2)}{(N_1 + N_2)^2 \times (N_1 + N_2 - 1)} \quad (18)$$

Para testar a hipótese nula, foi testada com base na estatística:

$$Z = \frac{u - E(u)}{\sqrt{\text{Var}(u)}} \quad (19)$$

O valor calculado foi comparado com valores da tabela normal de Z, para cada método de ETo. Se $|Z|$ for menor que o valor tabelado (1,96) a hipótese nula é aceita com nível de significância de 5%.

Em seguida, as médias da ETo, para os diferentes métodos, foram comparadas entre si e testadas para averiguar se são significativamente diferentes, através do teste t-Student (equação 20) com nível de confiança estatística de 95%. Assumiu-se como referência a média da ETo_PM, e portanto foi essa média a ser comparada com a ETo_TCA obtida por cada Kp. A utilização do teste t-Student é bastante comum nos estudos de climatologia, descrito da seguinte forma:

$$t = \frac{\bar{X}_{ETo_{PM}} - \bar{X}_{ETo_{TCA}}}{\sqrt{\frac{S_{ETo_{PM}}^2}{n} + \frac{S_{ETo_{TCA}}^2}{n}}} \quad ; H_0: ETo_{PM} = ETo_{TCA} \quad (20)$$

Sendo: $\bar{X}_{ETo_{PM}}$ - Média da ETo pelo método de Penman-Monteith (mm);

$\bar{X}_{ETo_{TCA}}$ - Média da ETo pelo método do Tanque Classe A (mm);

$S_{ETo_{PM}}^2$ - Variância da ETo_PM (mm);

$S_{ETo_{TCA}}^2$ - Variância da ETo_TCA (mm);

n - número de observações;

Para identificar a relação existente entre a ETo_PM e a ETo_TCA (com os diferentes ajustes), foi feita análise de regressão linear simples (equação 21). Comparando-se a ETo_TCA (obtida pelos diferentes coeficientes), variável Y, com o método Padrão (ETo_PM), variável X. Portanto a variável ETo_PM é independente (X) em relação ao observado (Y). Os coeficientes a e b são os parâmetros que indicam por meio do teste de significância e do coeficiente angular, a interdependência.

$$Y = a + bX \quad (21)$$

A proporção da variação, entre os diferentes valores médios da EToTCA com o Padrão de Penman-Montheith, foi calculada pelo coeficiente de Determinação (R^2), dado por:

$$R^2 = \frac{SQ_{reg}}{SQ_{tot}} \quad (22)$$

Sendo R^2 : Coeficiente de Determinação;

SQ_{reg} : Soma do Quadrado de Regressão;

SQ_{tot} : Soma do Quadrado Total.

O método utilizado para encontrar a correlação foi o de Pearson, sendo correlacionadas as estimativas médias de ETo, em que a ETo_PM é independente (X) em relação a EToTCA (Y) e “n” é o número de observações. A correlação, da ETo_PM com EToTCA (obtida através de cada Kp), varia entre -1 e +1, ou seja, correlações perfeitas negativa e positiva, respectivamente. Quanto mais próximo de zero mais fraca é a correlação, de acordo com Spiegel (1972), expresso pela equação 23.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2}} \quad (23)$$

Para avaliar e validar os resultados foram calculados ainda os índices, que se refere ao distanciamento médio entre os valores em análise (EToTCA) e o de referência (ETo_PM), propostos por Willmott et al., (1985). Dentre eles, a saber, o índice de concordância ou exatidão (“D”), o erro médio absoluto (EMA), o erro máximo (EMAX), o quadrado médio do desvio (RMSE), e o índice de desempenho (“c”), de acordo com as equações 24 a 28, respectivamente.

$$D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}|) + (|O_i - \bar{O}|)^2} \quad (24)$$

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (25)$$

$$EMAX = MAX(|O_i - E_i|)^n \quad (26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2} \quad (27)$$

$$c = |r \times d| \quad (28)$$

Em que: O_i – É o valor observado da ET_{OPM} ;

E_i – É o valor observado da ET_{OTCA} ;

\bar{O} – É a média dos valores da ET_{OPM} .

De acordo com o valor de “c”, da equação 28, o desempenho das estimativas será categorizado de acordo com Camargo e Sentelhas (1997), na Tabela 1.

Tabela1. Valores dos coeficientes de Desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de "c"	Desempenho
>0,90	Ótimo
0,81 a 0,90	Muito bom
0,71 a 0,80	Bom
0,51 a 0,70	Mediano
0,41 a 0,50	Sufrível
0,31 a 0,40	Mal
≤ 0,30	Péssimo

Métodos estatísticos em série temporal para detectar tendência climática.

Após a caracterização e comparação dos métodos de estimativas da ET para Campina Grande, PB. Utilizou-se procedimentos para analisar a variabilidade e detectar possíveis sinais

de tendência e/ou mudança climática nos regimes mensais e anuais da ETo. Dentre os mais usuais são análise de média móvel aritmética e estatística de Mann-Kendall.

A técnica das médias móveis aritméticas (KENNEY E KEEPING, 1962) foi, sem dúvida, a abordagem mais amplamente aplicada. Trata-se de uma técnica que suaviza extrapolações dos dados, é a mais provável de ocorrer comparada a média simples, e ainda detecta tendências existentes. A média móvel (equação 29) e seu respectivo Erro Médio Quadrático (equação 30) são dados por:

$$\hat{y}_{t+1} = \frac{y_t + y_{t-1} + y_{t-2} \dots + y_{t-j}}{K} \quad (29)$$

$$EMQ = \sum i \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{n} \quad (30)$$

Sendo: \hat{y}_{t+1} – dado futuro estimado;

y_t - média observada no período “t”

K - número de períodos anteriores;

EMQ - Erro Médio Quadrático;

y_i - dado observado;

\hat{y}_i - dado estimado;

n – número de observações.

Por conseguinte efetuou-se a análise de variância (ANOVA) e contraste de médias, entre métodos e interdecadais, pelo teste de Tukey com nível de significância de 5%, através do software estatístico do R.

Para as significâncias estatísticas nas análises de tendências, das séries climatológicas, para os métodos analisados nesta pesquisa, foram realizadas pelo teste estatístico não paramétrico proposto por Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975).

O teste de tendência de Mann-Kendall considera o número de observações sequenciadas em que haja aumento, diminuição ou ausência de ambas na série temporal. A equação é dada por:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{ sinal } (x_j - x_i) \quad (31)$$

Em que: S – é o resultado da soma das contagens de $(x_j - x_i)$;

x_j —é o primeiro valor após x_i , sequencialmente, e n é o tamanho da série, para:

$$sinal = \begin{cases} +1 & se (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & se (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & se (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

A distribuição estatística S tende à normalidade quando há grandes quantidades de observações (n), com média zero e variância dadas por:

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad (32)$$

Em que t_p : é o número de dados com valores iguais em certo grupo;

q : é o número de grupos contendo valores iguais na série de dados em um grupo p .

Finalmente, o teste estatístico de Mann Kendall (Z_{MK}) é dado pela seguinte equação:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S > 0 \\ 0, & se S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se S < 0 \end{cases} \quad (33)$$

O valor do teste (Z_{MK}) indicará se a Hipótese nula (H_0), de não mudança e/ou tendência significativa, deverá ser aceita ou rejeitada. Quando houver tendência significativa nas séries temporais da *ETo*, em Campina Grande, PB, o valor de Z_{MK} será diferente de zero, e a depender da significância, podendo-se rejeitar a H_0 . A tendência será positiva ou crescente quando o Z_{MK} for maior que zero, e negativa ou decrescente quando for menor.

Antes da tomada de decisão será analisada também a Hipótese nula (H_0) através de um teste bilateral para tendência. Deverá ser aceita a hipótese nula quando Z for menor que $Z_{1-p/2}$, que é obtido na tabela normal e por fim adotar-se-á a significância deste teste aos níveis de 1, 5%.

As análises estatísticas, as elaborações de gráficos e tabelas foram realizadas utilizando-se o Excel e o software estatístico livre R 2.15.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), estimadas pelos métodos de Penman-Monteith-FAO (ET_oPM) e Tanque Classe A (ET_oCA), ajustada pelos coeficientes propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Pereira et al. (1995) são observadas, respectivamente, nas Figuras 3 e 4, representadas por gráfico de caixa (boxplot), que é formado pelo primeiro e terceiro quartis e pela mediana, os extremos e os valores discrepantes (outliers) da série diária de Campina Grande, no período de 1977 a 2013.

Em termos gerais, observou-se que os maiores valores da ET_o, ocorreram no período de outubro a janeiro (primavera-verão) e os menores nos meses de junho e julho (inverno), para os dois métodos analisados. O maior valor médio diário mensal da série foi de 4,3 mm.d⁻¹, em novembro, e o menor, em de 2,5 mm.d⁻¹, em junho e/ou julho. Esse menor valor de evapotranspiração ocorrer nesses meses se deve não somente por coincidir com o inverno, mas também, por serem os meses mais chuvosos em Campina Grande, PB, respaldado nos resultados encontrados por Cabral Júnior (2012).

Figura 3. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (boxplot), estimadas pelo método de Penman-Monteith-FAO (ET_oPM), para Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.13.

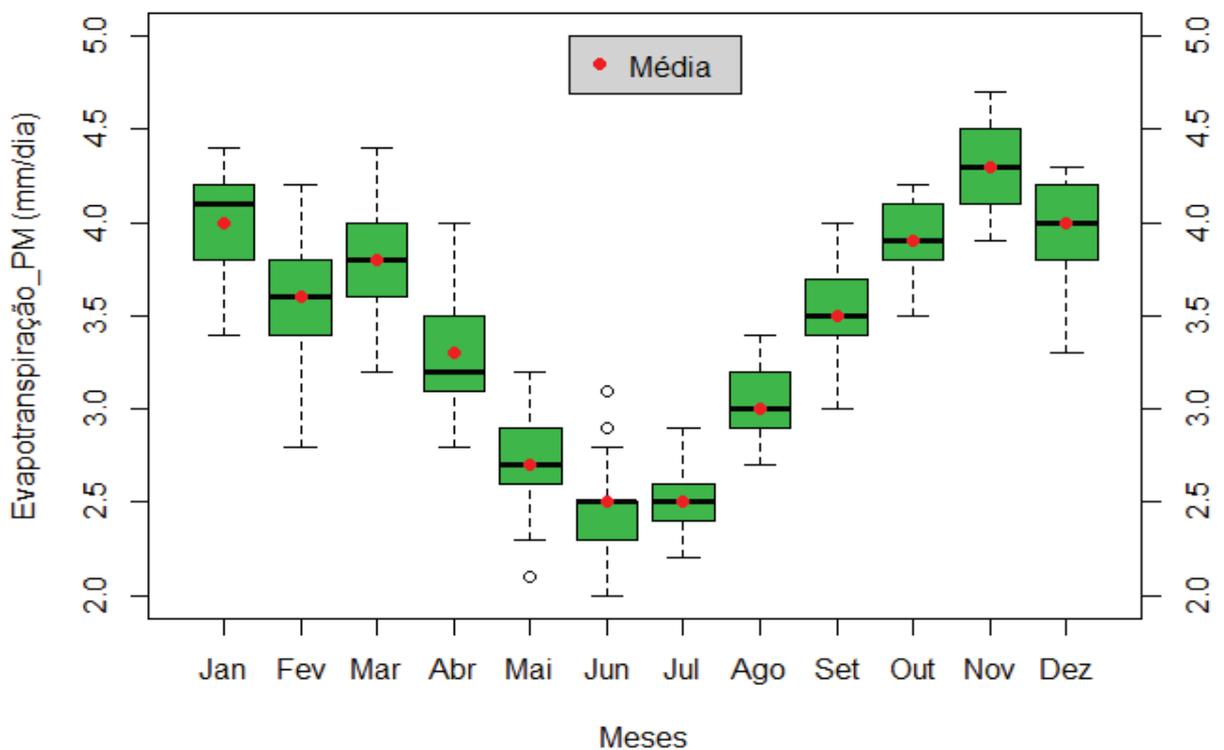
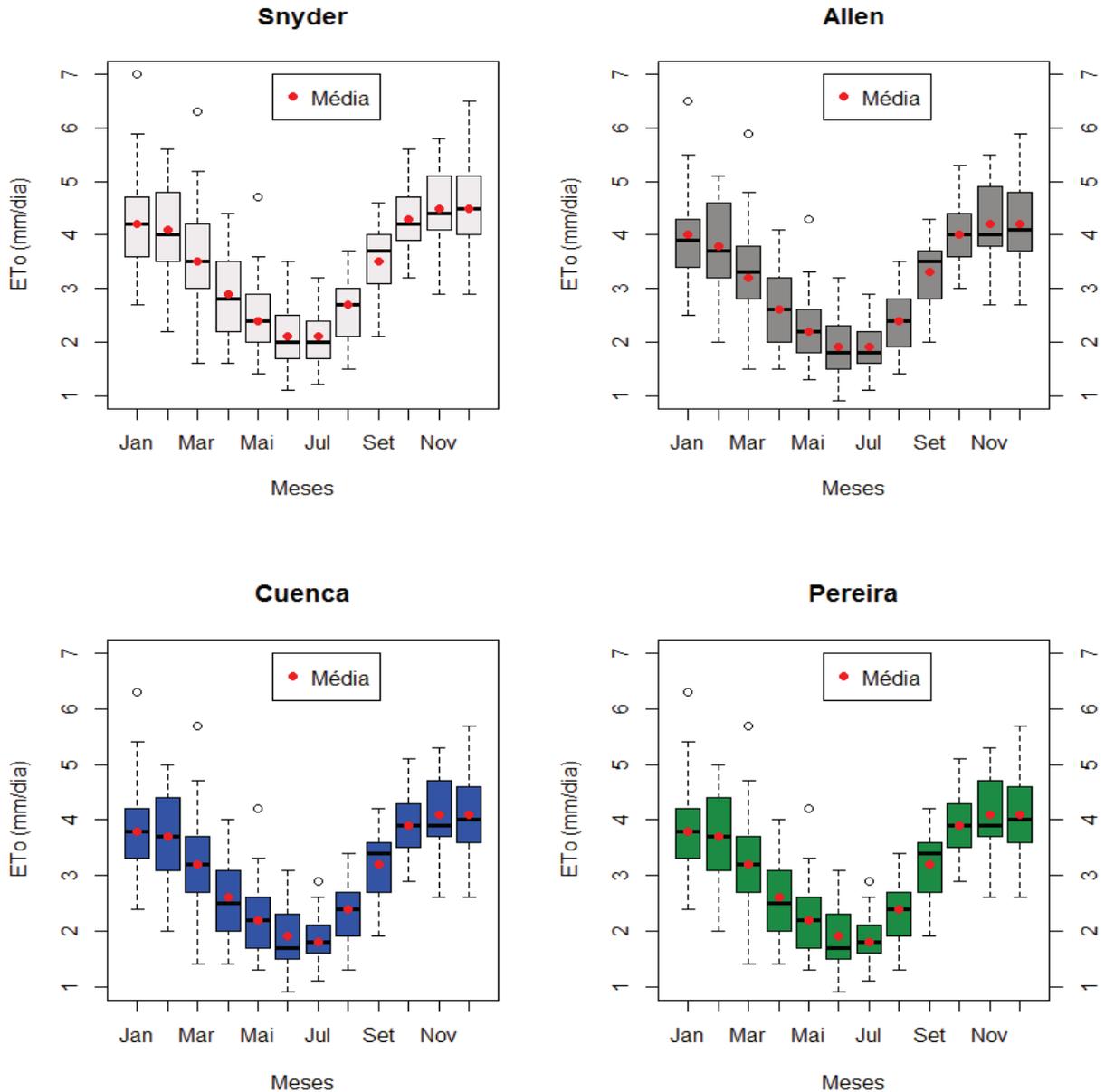


Figura 4. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (boxplot), estimadas pelo método do Tanque Classe A (EToCA), utilizando-se diferentes coeficientes de ajustes propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Pereira et al.(1995), para Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.2013



Destaca-se, entretanto, que o modelo de distribuição da evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith (EToPM), foi assimétrico, nos meses de janeiro e abril, por que a média aritmética foi diferente da mediana, embora as posições relativas da média, em relação a mediana, em curvas de distribuição de probabilidade, desviem-se para esquerda e para direita, ou seja, com coeficientes de assimetria negativo e positivo, respectivamente.

A amplitude interquartílica é dada pela diferença entre o quartil superior e o inferior, ou seja, Q3-Q1. Constatou-se que na análise da série de dados de ETo, a maior amplitude interquartílica média foi de 0,4 mm.d⁻¹ (entre novembro e abril) e a menor 0,2 mm.d⁻¹ (junho e julho).

Comparando-se a distribuição as médias diárias mensais da evapotranspiração de referência, pelos dois métodos de estimativas, visualiza-se que os dados da EToTCA (Figura 4) são distribuídos de forma mais irregular que os da ETo pelo método de Penman-Monteith (Figura 3). Observa-se que os maiores valores de ETo, estimados pelo método do Tanque Classe A, foi quando se aplicou o coeficiente de correção da evaporação para evapotranspiração, proposto por Snyder (1992), sendo seguidos pelos coeficientes estabelecidos por Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Pereira et al.(1995).

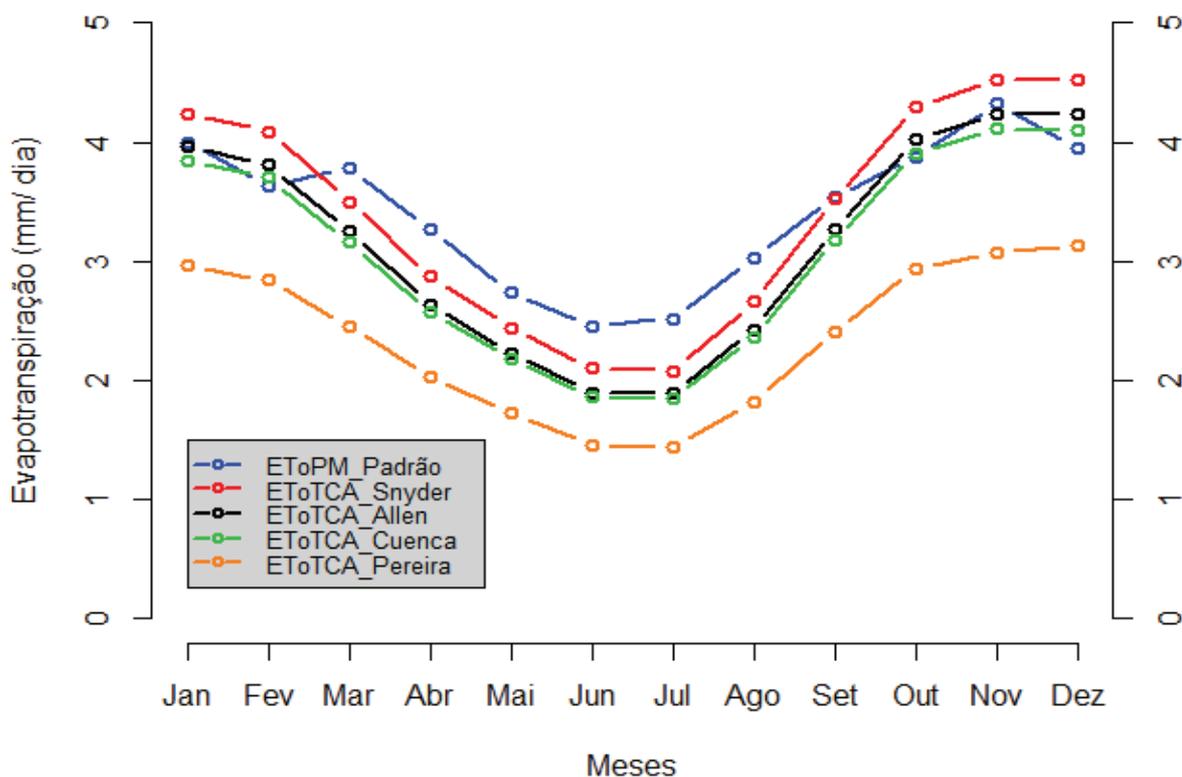
Assim sendo, os valores da ETo pelo método do TCA, foram, em média, menores que os obtidos pelo método de Penman-Monteith para os meses de março a agosto (seis meses). Constatou-se, também, que a menor subestimativa (12,1%) foi verificada ao usar o coeficiente do TCA de Snyder (1992) e maior (38,5%) com o de Cuenca (1989).

Isso demonstra, portanto, que o valor da evapotranspiração de referência estimada pelo método do Tanque Classe A, não depende somente do valor da evaporação do Tanque Classe A, mas do coeficiente utilizado para converter evaporação em evapotranspiração.

Os valores médios diários mensais da evapotranspiração de referência, estimados pelos dois métodos, sendo o do Tanque Classe A (TCA), calculados aplicando-se quatro equações com os respectivos fatores de correção do TCA, são sumarizados na Figura 5.

Embora o método do TCA subestime a evapotranspiração de referência, quando comparado com o padrão (ETo_PM), há tendências de igualdade em alguns meses, como por exemplo, no mês de setembro ou janeiro, especialmente, quando aplicado o fator de correção do Tanque pela expressão de Snyder (1992) e/ou de Allen et al. (1998).

Figura 5. Médias diárias mensais da evapotranspiração de referência, estimadas pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, utilizando-se diferentes fatores de ajustes propostos por: Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989) e Pereira (1995), para Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.2013.

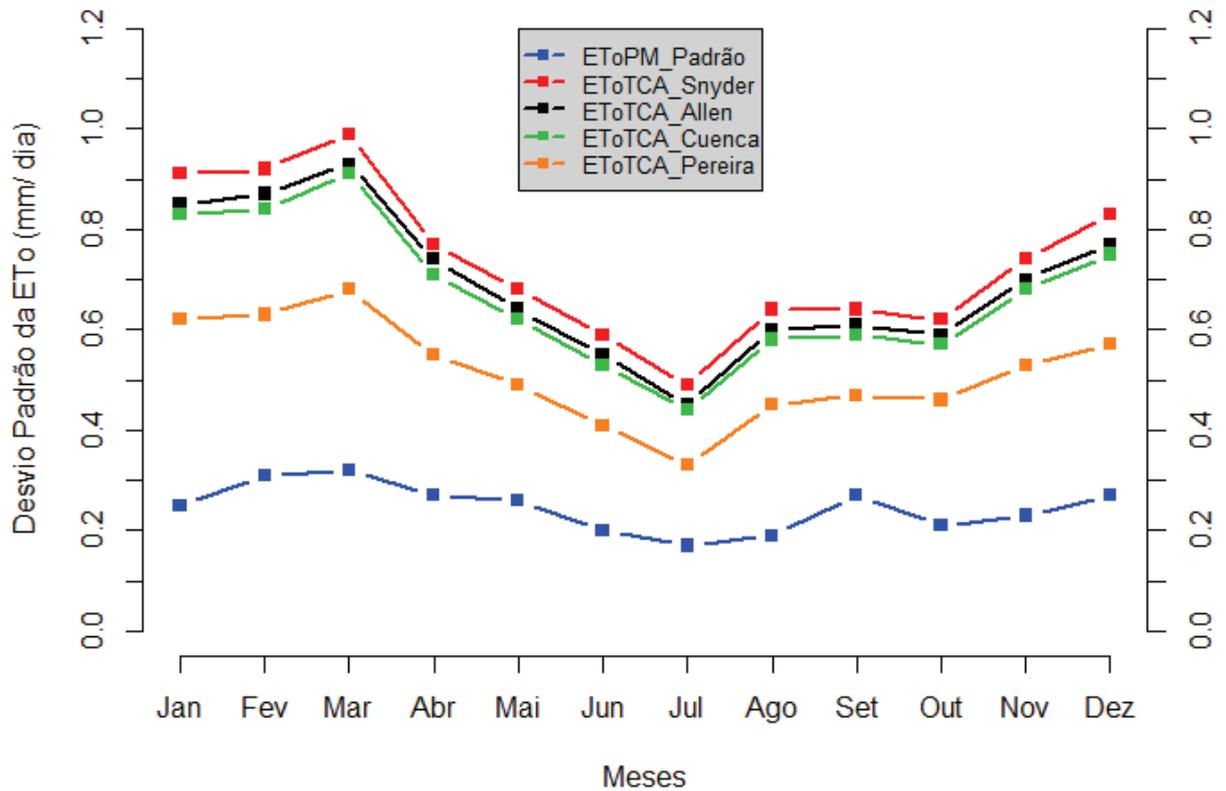


Esses resultados quando comparados aos resultados encontrados por Oliveira, Leitão e Leitão (2007), para duas localidades da Paraíba (Boqueirão e Patos), assemelharam-se, na ao utilizar o K_p proposto por Snyder na conversão em EToTCA, que em média apresentou menor erro. Corroborando com Peixoto et al. (2010), que encontraram valores de ETo, pelo método TCA muito próximos do de Penman-Monteith, para as condições de Mossoró, RN, utilizando-se o k_p proposto por Snyder.

As dispersões médias diárias para cada método são apresentadas na Figura 6. Embora exista uma variabilidade dos dados em torno do valor central, a média, verifica-se novamente que há semelhança nos valores das ETo's estimados pelo método do TCA, quando aplicado os coeficientes adotados por Snyder, Allen et al., e Cuenca. O coeficiente de variação (CV), que é uma relação entre desvio padrão e a média, variou de 14,3% (outubro) a 28,9% (junho).

Destaca-se, entretanto, que a regularidade nos valores de evapotranspiração de referência pela ETo_PM foi bem melhor que a do TCA, cujo CV variou de 5,2 %, em novembro a 9,5 %, em maio.

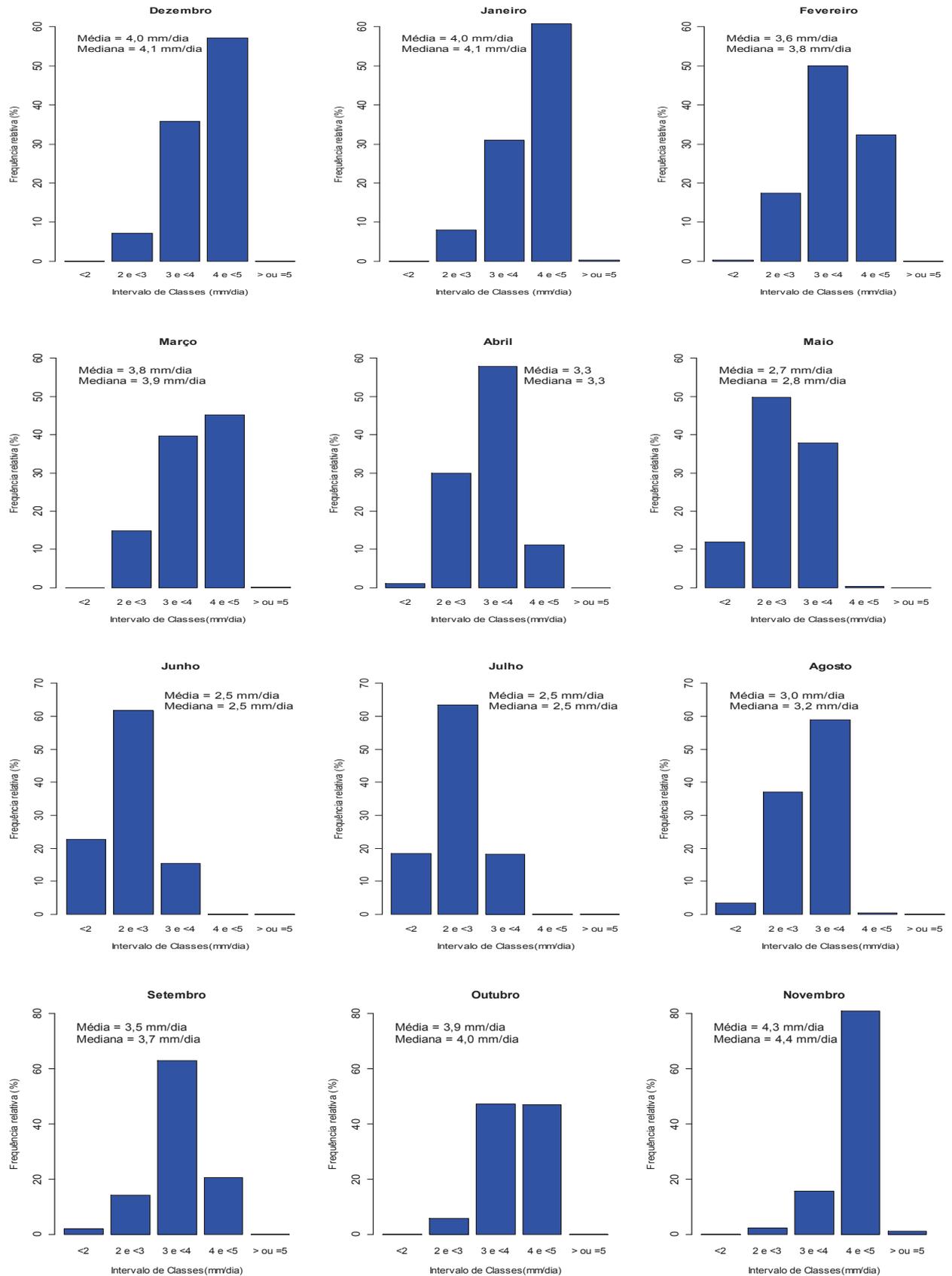
Figura 6. Médias diárias dos desvios padrão da evapotranspiração de referência, estimados pelos métodos de Penman-Monteith e Tanque Classe A, utilizando-se os fatores de correções propostos por Snyder (1992), Allen et al. (1998), Cuenca (1989), Pereira (1995). Campina Grande, PB, período de 01.01.1977 a 31.12.2013.



Fazendo-se uma analogia dos valores encontrados da EToCA, aplicando-se os coeficientes propostos por Snyder, Allen et al., e Cuenca, para Campina Grande (Figuras 4, 5 e 6), quando comparados com os encontrados por Esteves et al. (2010), em Campos dos Goytacazes, RJ, constatam-se que o “comportamento” é bem semelhante.

As frequências relativas da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (EToPM), por intervalos de classe, além dos valores de medidas de tendência central mensais (média e mediana), para Campina Grande, são apresentadas na Figura 7.

Figura 7. Médias diárias mensais das frequências relativas (%) dos valores de evapotranspiração de referência (mm), estimada pelo método de Penman-Monteith (EToPM), em Campina Grande, PB. Período: 01.01.1977 a 31.12.2013.



Analisando-se as frequências relativas (Fr), por estação do ano, observa-se que as Fr com os maiores valores ocorrem no verão (dez-jan-fev), sendo para o intervalo entre 4 e 4,9 mm.dia⁻¹, com 57,2% para os meses de dezembro e janeiro. Isso mostra, entretanto, que mais da metade dos valores diários de ETo superam um volume de quatro litros para cada m² de área. Embora o mês de fevereiro contemple a estação verão, constata-se que já há uma ligeira modificação no histograma de frequência, ou seja, a tendência maior passa a ser para um intervalo menor (entre 3 e 3,9 mm⁻¹).

Essa redução está associada a menor disponibilidade de energia solar, visto que nessa época coincidem com maior cobertura de nuvens e, conseqüentemente, o início da pré-estação chuvosa, como relata Cabral Júnior (2012). Acumulando-se os valores de ETo superiores a 3 mm.dia⁻¹, para o referido solstício, observa-se que as Fr são de 92,9; 91,6 e 82,2%, respectivamente.

Contrariamente, no solstício de inverno (jun-jul-ago) coincidem com a menor demanda de água para atmosfera, com média e/ou mediana inferior a 3,0 mm.dia⁻¹. A frequência de repetição diária desse valor de ETo é muita elevada, especialmente, nos dois primeiros meses (junho e julho), cujas Fr foram, respectivamente, de 84,5 e 81,8 %.

Essa elevada frequência de valores médios menores de evapotranspiração de referência, nesses dois meses e não em agosto, explica-se por ser um período de menor disponibilidade de energia e coincidir com os meses mais chuvosos (jun-jul), contrariamente o mês de agosto é o mais frio, mas coincide com o início do período seco. Condições essas que concordam com os resultados encontrados por Almeida(2013).

Ao comparar os perfis diários de evapotranspiração de referências nas estações de transição (outono e primavera) há obrigatoriamente, a necessidade de incluir na análise o efeito da água, ou seja, o equinócio de outono (março-abril-maio) coincide com a estação chuvosa e o de primavera (setembro-outubro-novembro) com a época mais seca.

Constatou-se que não somente as frequências relativas, por intervalo de classe, foram maiores no outono, quando comparado com a primavera, mas a irregularidade diária. Observa-se (Figura 7), que os intervalos de classes com maior frequência diferiram entre si; as Fr no intervalo entre 4 e 4,9 mm.dia⁻¹ foram de 45,2 % para abril, 10,0 % (abril) e de 1,0 % para maio, cuja média mais frequente ocorre na faixa entre 2 e 2,9 mm.dia⁻¹.

A primavera por ser a estação mais seca do ano, contribui para ser o equinócio com maior perda de água por evapotranspiração. No mês de novembro, por exemplo, o valor diário da ETo se aproxima muito de um dia de verão, cujas frequências relativa são bem próximas aos dos meses de verão e a mediana diária é um pouco maior. Contribuição essa que não se

deve, exclusivamente, a maior disponibilidade de energia, por que não é maior que dezembro, por exemplo, mas por coincidir com o mês mais seco. Resultados esses que corroboram com os encontrados por Cabral Júnior (2012), Almeida (2013) e Almeida (2014).

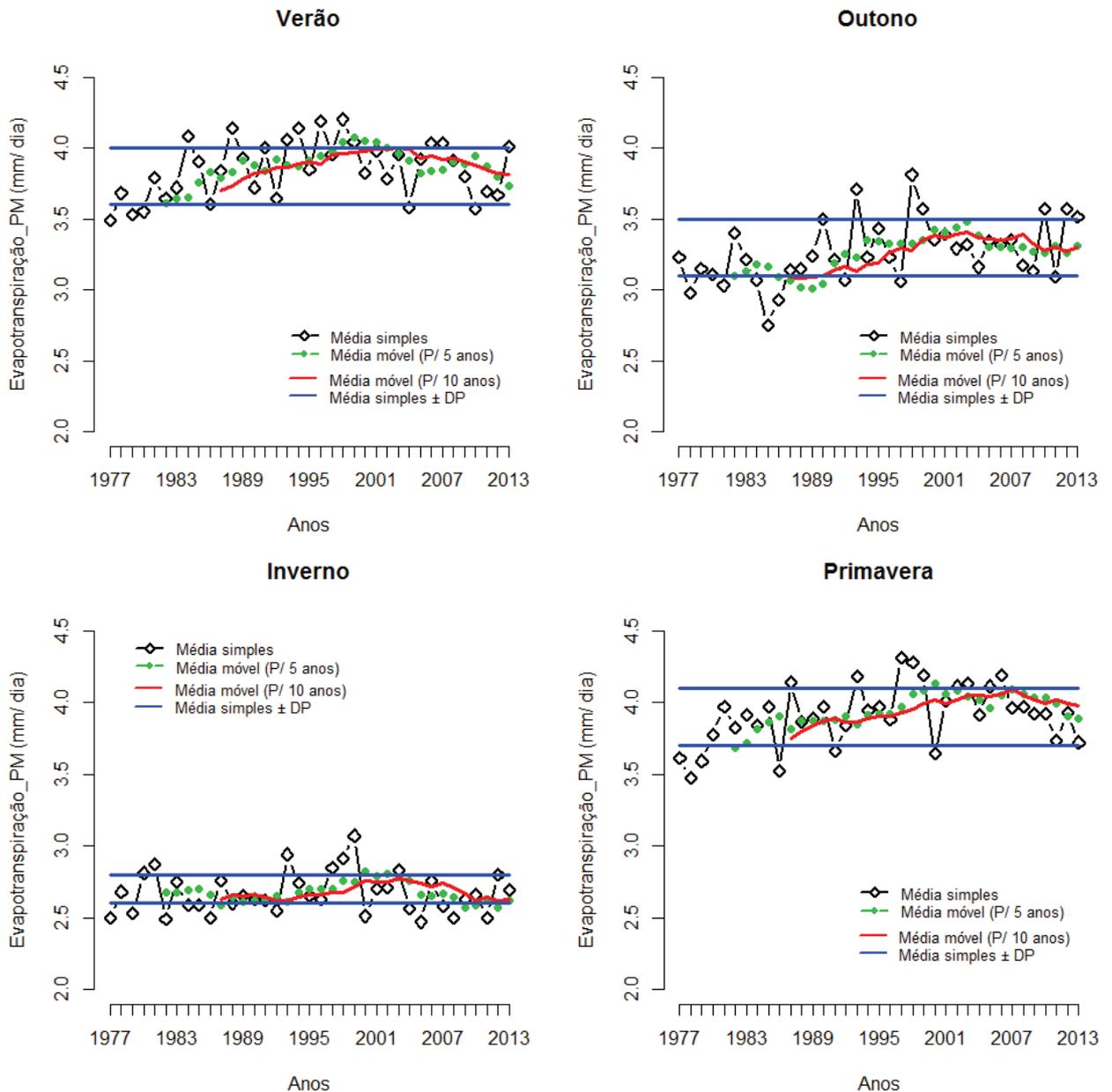
É importante relatar, a importância do estudo da climatologia da ETo, por permitir não somente comparar valores do dia-a-dia, mas as respectivas oscilações (positiva ou negativa) da média com o desvio padrão e, portanto, averiguar se há ou não tendência de aumento ou diminuição em função do tempo. Tecnologia essa adotada por Cabral Júnior e Almeida (2013) e Almeida (2013), ao estudar se as oscilações temporal e espacial das temperaturas do ar indicam variabilidade natural ou de mudança climática. Como para a estimativa da evapotranspiração de referência, utilizam-se a temperatura do ar e os dados derivados justifica-se adotar procedimentos semelhantes.

Neste contexto, a Figura 8 resume as oscilações da EToPM, para as quatro estações do ano, a partir do confronto entre média aritmética da série \pm desvio padrão e das médias móveis de 5 e 10 anos. Nesses casos, os respectivos pontos médios tendem, obviamente, a suavizar a oscilação da série temporal e, conseqüentemente, perceber tendência de aumento e/ou diminuição.

Nota-se que, há uma ascendência na ETo nas décadas de 80 e 90 e uma tendência de decréscimo a partir da de 2000. Tendências essas confirmadas para as temperaturas do ar (máxima, mínima e média) para Campina Grande, por Almeida (2013). Os picos máximos da evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith, ocorreram no ano de 1998, para o verão e outono, e em 1997 e 1999 nos meses de inverno e primavera.

Não deve ser descartado que esses picos de ETo na década de 90 sejam reflexos da seca, haja vista ter sido essa década a mais seca do que as de 70, 80 e 00, resultados esses que confirmam os encontrados por Cabral Júnior et al. (2010) e Almeida (2013). Com relação aos picos de mínima, os maiores desvios foram no outono de 1985 e 1986.

Figura 8. Médias aritméticas diárias e móveis (de 5 e 10 anos) da evapotranspiração de referência, estimadas pelo método de Penman-Monteith, e os respectivos desvios padrão (médias \pm DP), por estação do ano. Campina Grande, PB, no período de 01.01.1977 a 31.12.2013.

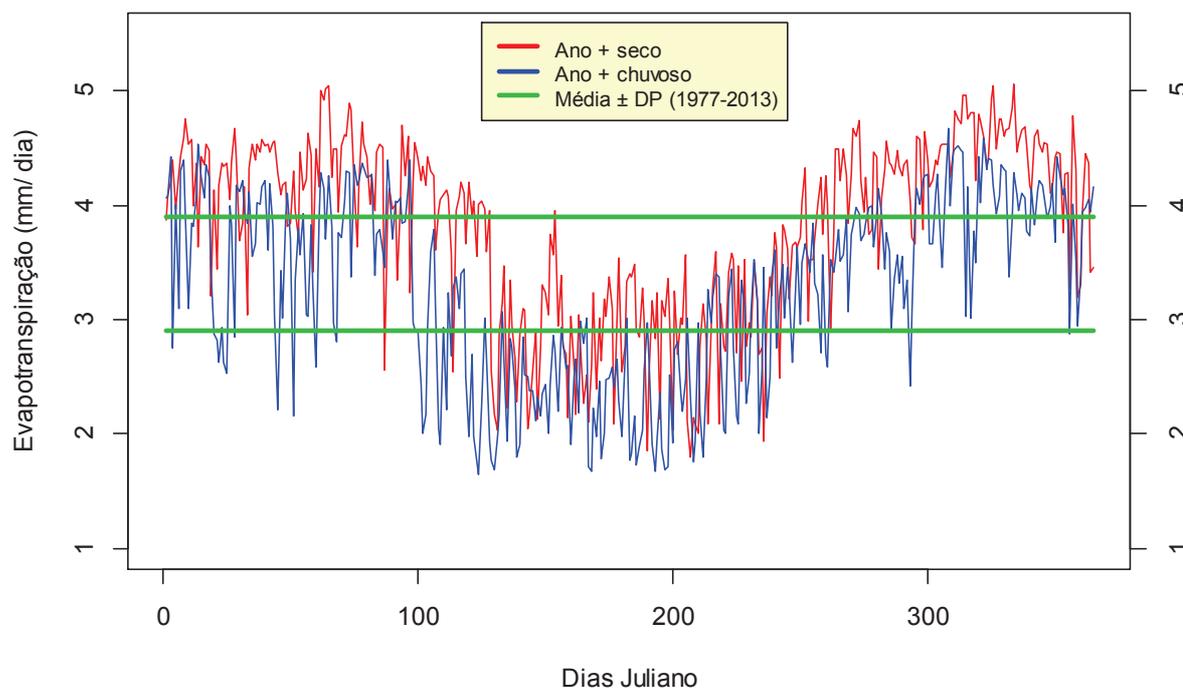


Para analisar se há diferença entre os valores de evapotranspiração de referência diária, pelo método padrão (Penman- Monteith), no ano mais chuvoso (2011) e no menos chuvoso (1998), do período: 1977 a 2013, foram plotados para cada dia Juliano e comparados com a média \pm desvio padrão as série, cuja configuração gráfica é apresentada na Figura 9.

Verificou-se, Figura 9, que no ano mais seco, 72% dos dados observados ocorreram fora da margem média \pm desvio padrão, em que 56% ficaram acima (média +DP) e 16,2% abaixo (média - DP), comprovando-se que no ano mais seco a ETo foi intensificada. No ano

mais chuvoso ocorreu o oposto, a maior frequência dos dados observados ficaram abaixo da margem (média – DP) em 34%, e acima (média + DP) em 29%.

Figura 9. Valores diários da evapotranspiração de referência, estimados pelo método de Penman-Monteith, para os anos mais seco (1998) e o mais chuvoso (2011) do período:1977-2013, comparados com a média da série \pm DP, para Campina Grande, PB.

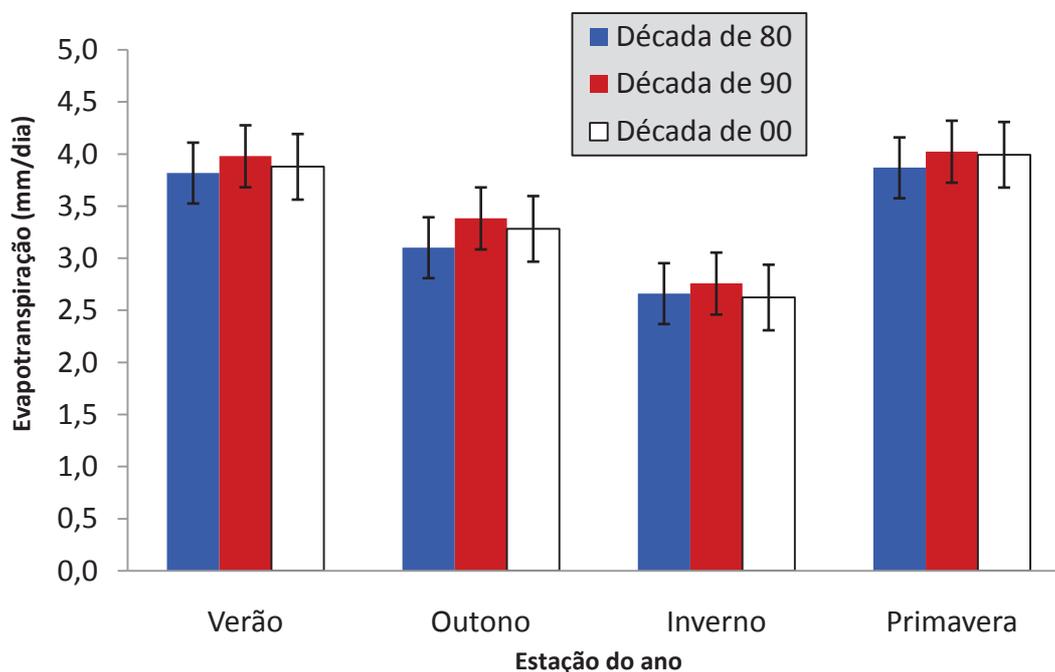


Fazendo-se uma analogia desses resultados com outros, como por exemplo, os de Back e Vieira (2007), constata-se que há certa semelhança por que as diferenças médias nos valores da evapotranspiração nos dias chuvosos e nos secos foram de 30 a 58%, respectivamente.

Diante da variabilidade temporal nos valores da evapotranspiração em Campina Grande e na impossibilidade de uma análise na escala diária, devido o grande volume de dados, optou-se por comparar se há semelhança entre médias, nas escalas decadais e por estação do ano, mediante a análise de variância acompanhada pelo teste de Tukey com significância estatística de 5 % ($\alpha < 0,05$), cujas médias de ETo constam na Figura 10.

Verifica-se (Figura 10) um decréscimo nos histogramas entre as estações verão e inverno e/ou um acréscimo de forma inversa. A tendência ascendente de temperatura do ar mostrado por Almeida (2013) refletiu no aumento médio da ordem de $0,3 \text{ mm d}^{-1}$, no outono, entre a década de 80 e a 90 (significativo a 5%) e uma diminuição de aproximadamente $0,1 \text{ mm.d}^{-1}$, entre a 90 e a de 00 (embora não tenha sido significativa) pelo teste da análise de variância.

Figura 10. Médias diárias da evapotranspiração de referência, por estações do ano e décadas, estimadas pelo método de Penman-Monteith, para Campina Grande, PB.



Resultados semelhantes foram encontrados para primavera e outono, porém o equinócio de primavera foi o que apresentou menor variação inter décadas, com diferenças médias insignificantes de $0,1 \text{ mm.d}^{-1}$, para as décadas de 80 a 90, e iguais para as de 90 e 00. Assim sendo, credita-se que aumento na E_{To} entre as décadas de 80 a 90 e/ou diminuição na de 90 para 00 concordam com os resultados encontrados por (Almeida, 2013; Cabral Júnior, 2012; Cabral Júnior et al. 2010) em que relataram tendências de aumento (80 a 90) e/ou de diminuição (90 a 2000) da temperatura do ar em Campina Grande, PB.

As análises e/ou as caracterizações descritivas das variabilidades dos dados diários de evapotranspiração de referência, estimados pela E_{To_PM} mostrados nas Figuras 7 a 10 e os obtidos pelo método do Tanque Classe A, adotando-se quatro procedimentos de cálculos para os coeficientes de correção (K_p)- evaporação em evapotranspiração- apresentados nas Figuras 3 a 6, permitiram identificar que os valores médios da E_{To_PM} se aproximaram muito mais, em média, com o coeficiente de Snyder (1992) em relação aos demais.

A relação estatística existente entre os valores de E_{To} estimados pelos dois métodos (E_{To_PM} x E_{To_CA}), para quatro coeficientes de ajustes (K_p) do Tanque Classe A foi feita mediante análises da correlação de Pearson (r), por estação do ano, distribuídas em forma de matriz como mostram as Figuras 11, 12, 13 e 14.

Figura 11. Matriz de dispersão (direita) e valores de correlação (esquerda) da ETo, em mm/dia, na solstício de verão, estimados pelos métodos Penman-Monteith (ETo_PM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder (EToCA_S), Allen et al. (EToCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P), em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.

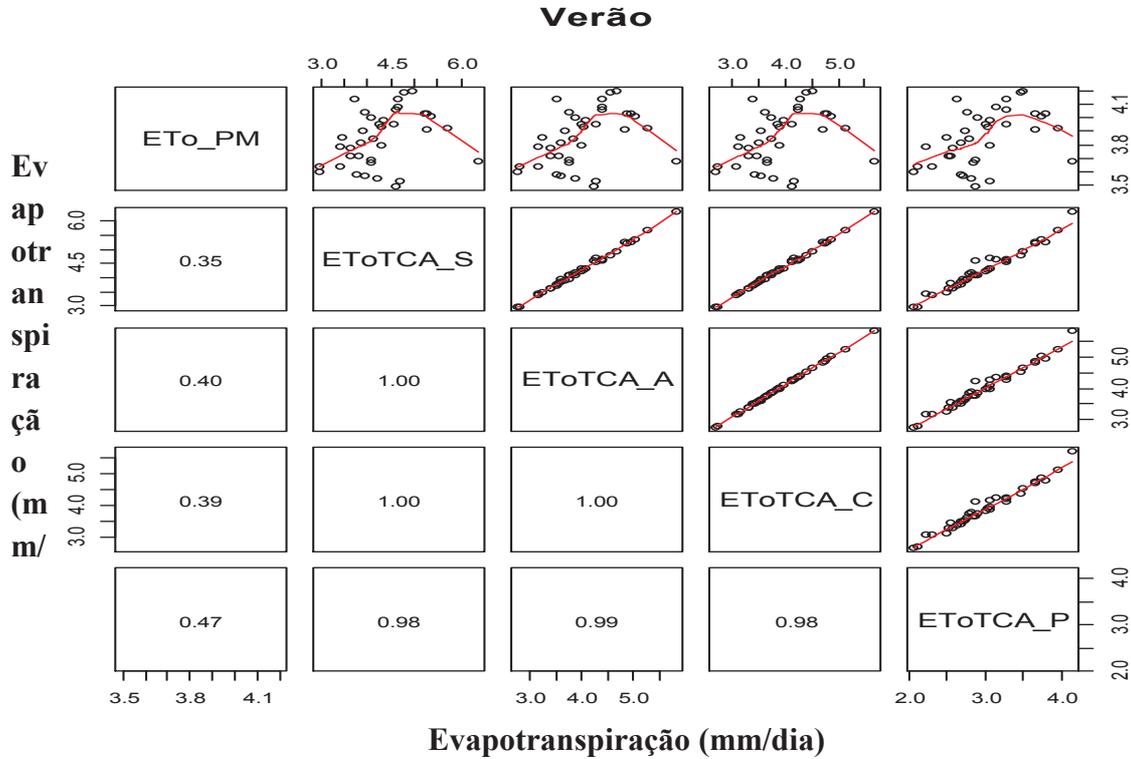


Figura 12. Matriz de dispersão (direita) e valores de correlação (esquerda) da ETo, em mm/dia, no equinócio de outono, estimados pelos métodos Penman-Monteith (ETo_PM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder (EToCA_S), Allen et al. (EToCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P), em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.

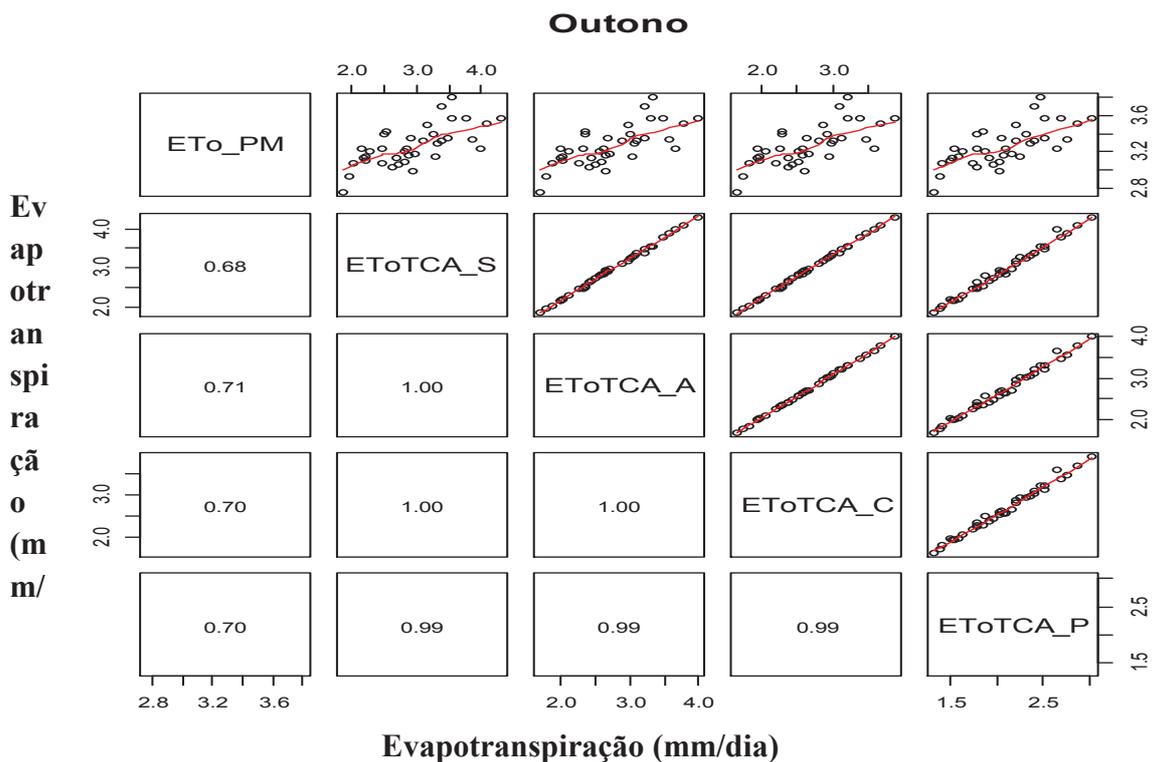


Figura 13. Matriz de dispersão (direita) e valores de correlação (esquerda) da ETo, em mm/dia, no solstício de inverno, estimados pelos métodos Penman-Monteith (ETo_PM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder (EToCA_S), Allen et al. (EToCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P), em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.

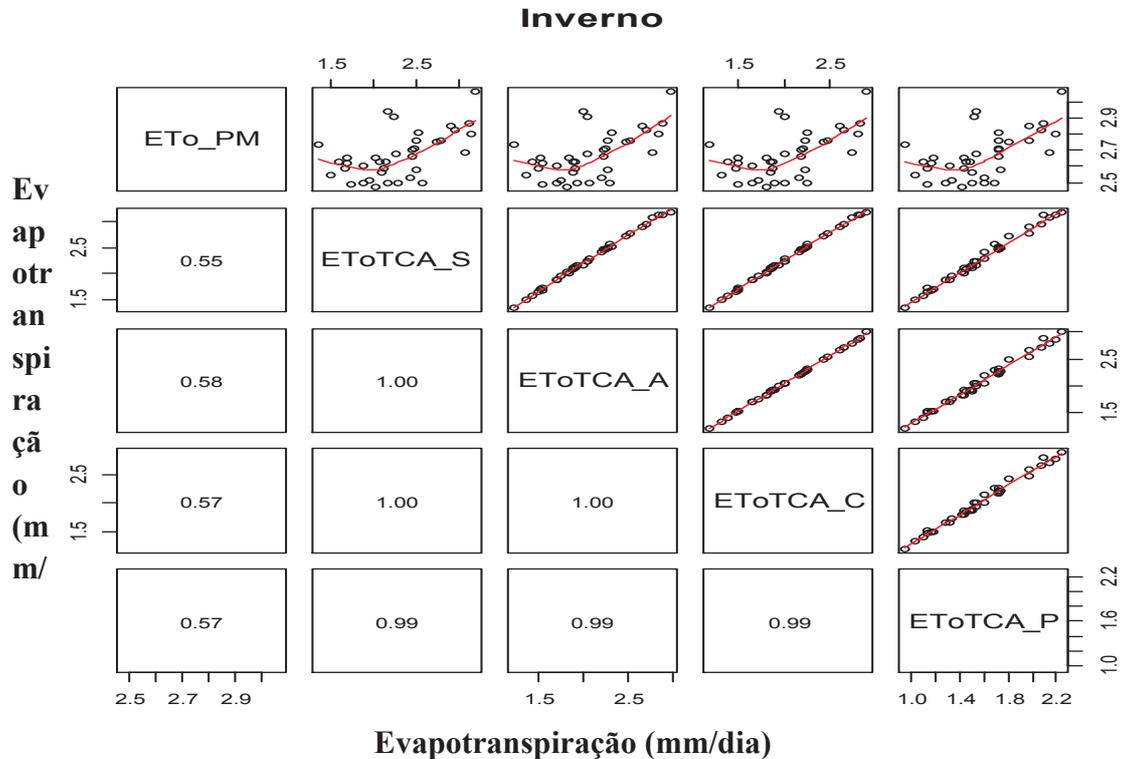
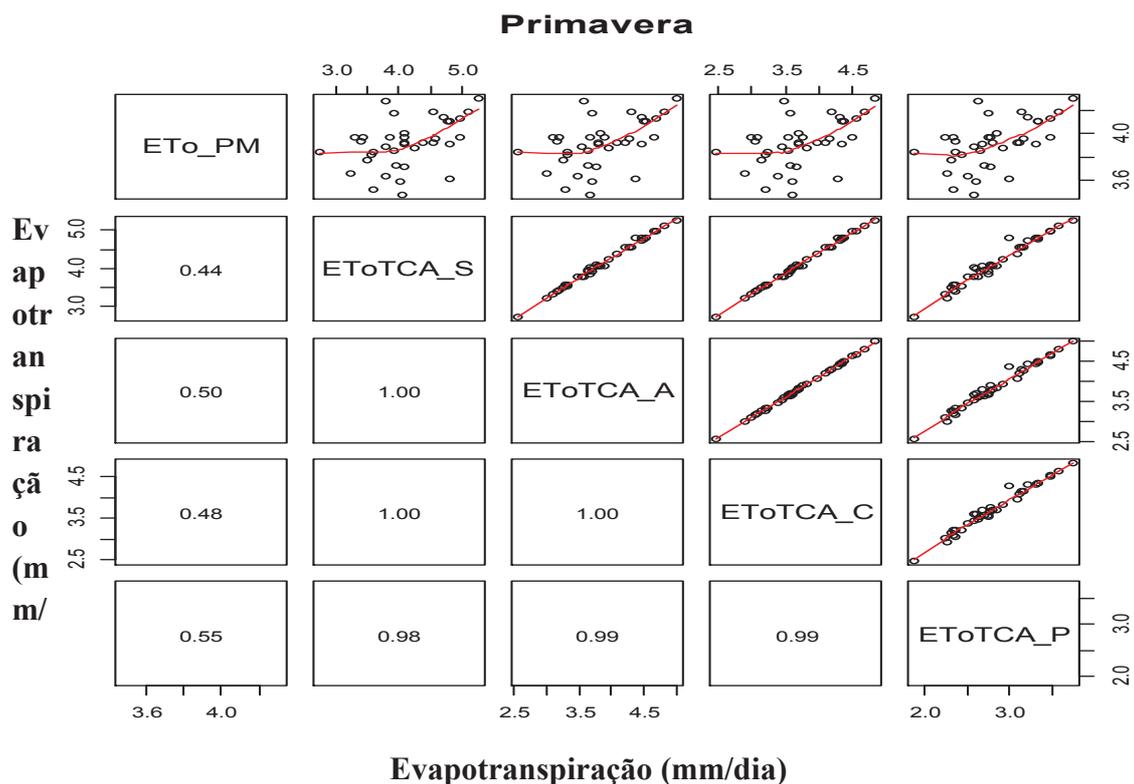


Figura 14. Matriz de dispersão (direita) e valores de correlação (esquerda) da ETo, em mm/dia, no equinócio de primavera, estimados pelos métodos Penman-Monteith (ETo_PM) versus Tanque Classe A, adotando o Kp de Snyder (EToCA_S), Allen et al. (EToCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P), em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.



Verificou-se na Figura 11, para o verão, que as correlações com a EToPM variaram de 0,35 (EToTCA_S) a 0,47 (EToTCA_P), porém o R^2 foi de 0,12 e 0,22 respectivamente. As maiores correlações foram encontradas no equinócio de outono (Figura 12), com valores variando de 0,68 (EToCA_S) a 0,71 (EToCA_A), ou seja, equivalentes aos do coeficiente de determinação (R^2) de 0,46 a 0,51, que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear. Já, na primavera a correlação variou de 0,44 (EToCA_S) a 0,55 (EToTCA_P) e R^2 de 0,18 a 0,30.

Para o solstício de inverno (Figura 13), as correlações variaram de 0,55 (EToCA_S) a 0,58 (EToCA_A), e os respectivos R^2 foram 0,31 e 0,34. Para essas duas estações (inverno e primavera) não houve linearidade, o qual não atende os pressupostos estatísticos para se estabelecer uma reta de regressão.

Os resultados encontrados, através do R^2 e rda EToPM versus TCA com os coeficientes de ajuste para a ETo, diferiram entre si, como também, quando se comparou com as estações do ano; resultados esses que concordam com as afirmações de Allen et al., (1998) e Pereira et al. (2014) ao mencionarem que os valores de evaporação do Tanque Classe “A”, fica condicionado ao local, às condições climáticas e à época do ano.

Na Tabela 2 encontra-se um resumo das análises de correlação de Pearson (r) com os respectivos testes de significância estatísticas (Cor.test) e teste t (t.teste) entre os valores de evapotranspiração de referência estimada pelo método do Tanque Classe A (com diferentes coeficientes de ajustes) e Penman-Monteith, nas quatro estações do ano.

Foi possível identificar (Tabela 2) que as correlações, para o verão, da ETo_PM com aEToTCA_S ($r=0,35$), EToTCA_A ($r=0,40$), EToTCA_C ($r=0,39$) não apresentaram significância estatística a 1%. Para essa estação, foi a EToTCA_P que apresentou correlação significativa ($r=0,47$; $\text{Cor.test} < 0,01$), porém o t.test refutou a igualdade das médias ($p\text{-valor} < 0,01$) para esse método, já para a ETo_TCA_A e ETo_TCA_C não houve evidências para se rejeitar a hipótese nula (médias iguais). Como foi mostrado na Figura 5, as médias da ETo_PM no verão (Dez-Jan-Fev) foram as mais próximas da ETo_TCA_A e ETo_TCA_C.

O outono e inverno, nesta ordem, foram as estações que obtiveram maior correlação entre a ETo_PM e a EToTCA, e com significância estatística ($\text{Cor.test} < 0,01$), porém houve evidências para se rejeitar a hipótese de nulidade de que as médias são semelhantes ($t.test < 0,01$). Comprovando que há correlação, mas os valores médios diferem entre si.

Tabela 2. Coeficientes de correlação (r) com os respectivos testes estatísticos de significância (cor.test) e o teste de T-Student (t.test), e os respectivos valor-p, dos valores médios da Evapotranspiração de referência calculada pelo método do Tanque Classe “A” quando utilizados diferentes coeficientes de ajustes, e comparadas com o método referencial (Penman-Monteith) por estação do ano.

Métodos	Verão			Outono		
	r	Cor.test (valor-p)	t.test (valor-p)	r	Cor.test (valor-p)	t.test (valor-p)
ETo_TCA_S	0,35	0,03	0,00	0,68	0,00	0,00
ETo_TCA_A	0,40	0,01	0,14	0,71	0,00	0,00
ETo_TCA_C	0,39	0,02	0,71	0,70	0,00	0,00
ETo_TCA_P	0,47	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00
Métodos	Inverno			Primavera		
	r	Cor.test (valor-p)	t.test (valor-p)	r	Cor.test (valor-p)	t.test (valor-p)
ETo_TCA_S	0,55	0,00	0,00	0,44	0,00	0,03
ETo_TCA_A	0,58	0,00	0,00	0,50	0,00	0,38
ETo_TCA_C	0,57	0,00	0,00	0,48	0,00	0,03
ETo_TCA_P	0,57	0,00	0,00	0,55	0,00	0,00

As análises estatísticas propostas por Willmott et al., (1985) (índice de exatidão - “d”, o erro médio absoluto - EMA, o erro máximo – EMAX, o quadrado médio do desvio – RMSE) e os respectivos índices de desempenho (“c”) e classificações interpretadas por Camargo e Sentelhas (1997), são apresentadas na Tabela 3. Observa-se que a exatidão dos modelos de estimativas foram de 0,96 (no verão) e 0,97 (outono, inverno e primavera).

O erro médio absoluto, comparado ao modelo padrão (ETo_PM), no verão, variou de 0,60 (EToTCA_C) a 0,89 mm.dia⁻¹ (EToTCA_P), o que corresponde a uma superestimativa de 15,6 e uma subestimativa de 23,1%, em média, respectivamente. Destaca-se, para essa estação, a ocorrência para os maiores erros máximos (de 2,15 a 3,17 mm.dia⁻¹), enquanto as correlações foram as mais baixas (Figura 11) e conseqüentemente apresentaram os menores índices de desempenho (“c”), com classificação variando de sofrível a mal.

Enquanto na estação da primavera foram observados os menores erros médios absolutos, variando de 0,41 para a EToTCA_A e para a EToTCA_C (10,5% de subestimativa) a 1,10 mm.dia⁻¹ para a EToTCA_P (28,1% de subestimativa). Ressalta-se para a

EToTCA_Pque além de ter obtido o maior EMA (nas quatro estações), registrou também o maior EMAX (1,96 ou 50,1% de subestimativa) e o maior RMSE (1,16), entretanto foi o que obteve índice de desempenho mediano, diferente dos demais, que obtiveram índice sofrível (primavera).

O outono e o inverno foram os que apresentaram melhores desempenhos, entre as estações do ano, com classificação “mediano”, para os quatro métodos, destacando-se a EToTCA_A, que obteve desempenho, “c” de 0,69 (outono) e 0,56 (inverno) e as maiores correlações, r de 0,71 e 0,58, respectivamente (Figuras 12 e 13). Porém, é necessário cautela caso seja necessária a substituição da ETo_PM pela EToTCA, em Campina Grande, PB.

Tabela 3. Avaliação do desempenho dos métodos para a estimativa da Evapotranspiração de referência (ETo), diária para cada estação do ano, estimada pelo método do Tanque Classe A (TCA) com diferentes coeficientes de ajustes (Kp) propostos por Snyder (S), Allen (A), Cuenca (C) e Pereira (P), no período de 1977 a 2013, em Campina Grande, PB.

Métodos	Verão						
	d	EMA	EMAX	RMSE	r	c	Classificação
ETo_TCA_S	0,96	0,89	3,17	1,12	0,35	0,34	Mal
ETo_TCA_A	0,96	0,67	2,63	0,88	0,40	0,38	Mal
ETo_TCA_C	0,96	0,60	2,50	0,79	0,39	0,37	Mal
ETo_TCA_P	0,96	1,19	2,15	0,66	0,47	0,45	Sofrível
Métodos	Outono						
	d	EMA	EMAX	RMSE	r	c	Classificação
ETo_TCA_S	0,97	0,50	1,08	0,59	0,68	0,66	Mediano
ETo_TCA_A	0,97	0,63	1,25	0,72	0,71	0,69	Mediano
ETo_TCA_C	0,97	0,68	1,30	0,77	0,70	0,68	Mediano
ETo_TCA_P	0,97	1,19	1,69	1,23	0,70	0,68	Mediano
Métodos	Inverno						
	d	EMA	EMAX	RMSE	r	c	Classificação
ETo_TCA_S	0,97	0,47	1,39	0,58	0,55	0,53	Mediano
ETo_TCA_A	0,97	0,61	1,52	0,71	0,58	0,56	Mediano
ETo_TCA_C	0,97	0,65	1,54	0,75	0,57	0,55	Mediano
ETo_TCA_P	0,96	0,66	1,31	0,74	0,57	0,55	Mediano
Métodos	Primavera						
	d	EMA	EMAX	RMSE	r	c	Classificação
ETo_TCA_S	0,97	0,48	1,20	0,57	0,44	0,43	Sofrível
ETo_TCA_A	0,97	0,41	1,28	0,50	0,50	0,49	Sofrível
ETo_TCA_C	0,97	0,41	1,36	0,51	0,48	0,47	Sofrível
ETo_TCA_P	0,97	1,10	1,96	1,16	0,55	0,53	Mediano

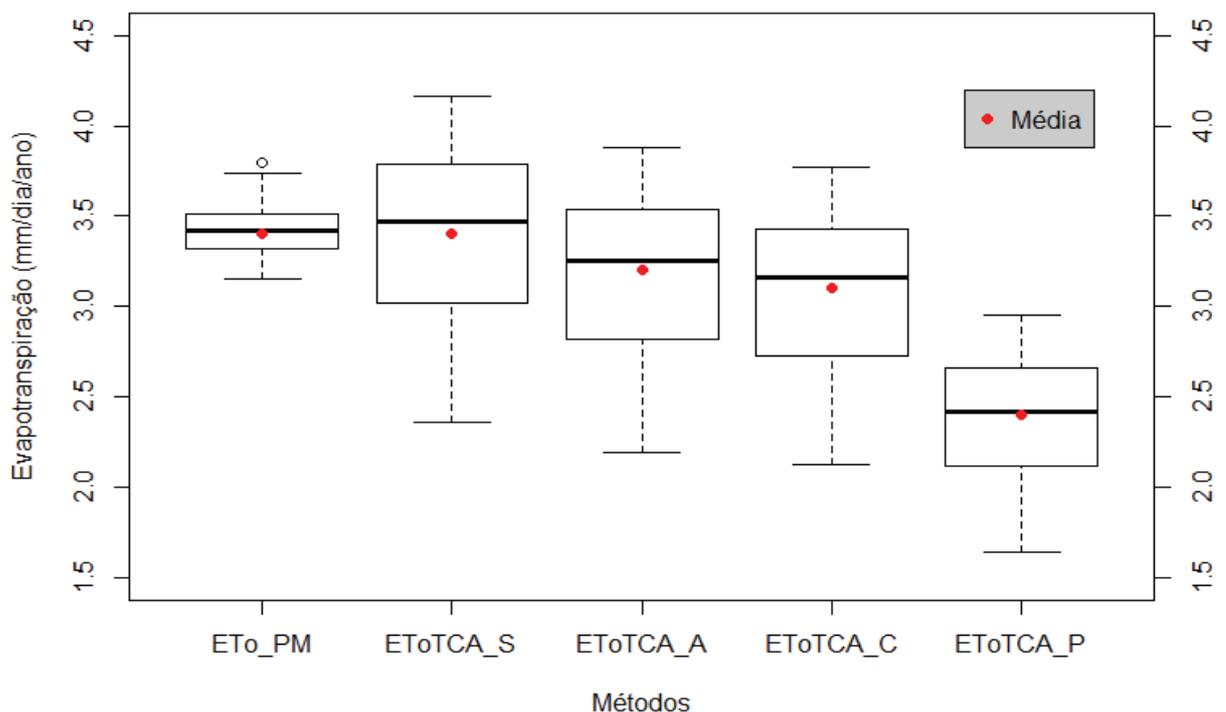
d = índice de exatidão; EMA = erro médio absoluto; EMAX = erro máximo; r = coeficiente de correlação; RMSE = quadrado médio do desvio; c = índice de desempenho.

Para o verão e primavera, em Campina Grande, a EToTCA_S não é recomendada (desempenho de sofrível a mal), corroborando-se com os resultados obtidos por Braga et al. (2008), analisando o Vale do Submédio São Francisco, afirmaram baixo desempenho do método de Snyder e não o indicaram para a região, havendo um desacordo por parte de Sabziparvar et al. (2010), que apresentaram classificações com bons resultados para a conversão pelo método de Snyder (1992) para climas áridos e quentes.

Os resultados, nesta pesquisa, ainda concordaram com Oliveira et al. (2010), que comparando a EToTCA com a ETo_PM, no Norte da Bahia, afirmaram que o tanque classe A, embora muito utilizado no manejo da irrigação, mostrou desempenho apenas mediano, com coeficiente “c” = 0,62. Porém, houve uma discordância com os resultados encontrados por Conceição (2002), que avaliou a metodologia de Snyder (1992) como a melhor para as condições climáticas do Noroeste de São Paulo, para a conversão da evaporação em ETo.

Verifica-se na Figura 15 a variabilidade da evapotranspiração média diária por ano, pelos métodos já mencionados. Observa-se que a EToPM foi a que obteve menor variabilidade, com média e desvio padrão de 3,4 e 0,2 mm.dia⁻¹, respectivamente.

Figura 15. Box Plot com distribuição média diária por ano, obtida pelos métodos de Penman-Monteith (ETo_PM), e, pelo método do “Tanque Classe A” utilizando-se diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder (EToTCA_S), Allen et al. (EToTCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P), em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.



A mediana anual da $EToTCA_S$ (3,47 mm.dia⁻¹) foi a que mais se aproximou com a ETo_PM (3,42 mm.dia⁻¹), com uma diferença de 0,05 milímetros ao dia ou uma superestimativa da $EToTCA_S$ de 1,5%.

Identificou-se que independente do período a $EToTCA_P$ é o que mais se diferencia, em média, do método referencial. Evidencia-se também que embora a $EToTCA_S$ tenha sido, em média anual, o mais próximo da ETo_PM , confirma-se uma compensação quando se identificou (Figura 5) uma superestimativa da $EToTCA_S$ de outubro a fevereiro, seguido de uma subestimativa de março a agosto.

Os resultados, para médias anuais, corrobora com Conceição (2002), que avaliou os dados de ETo ao utilizar três coeficientes de conversão de evaporação do TCA em ETo comparado a ETo_PM , dentre os coeficientes, destacaram-se-se o proposto por Snyder e Pereira et al., e concluíram que, para as condições do noroeste do Estado de São Paulo, o método proposto por Snyder (1992) é o de melhor desempenho. O mesmo, para condições de clima semiárido, na Índia, foi identificado por Gundekar et al. (2008).

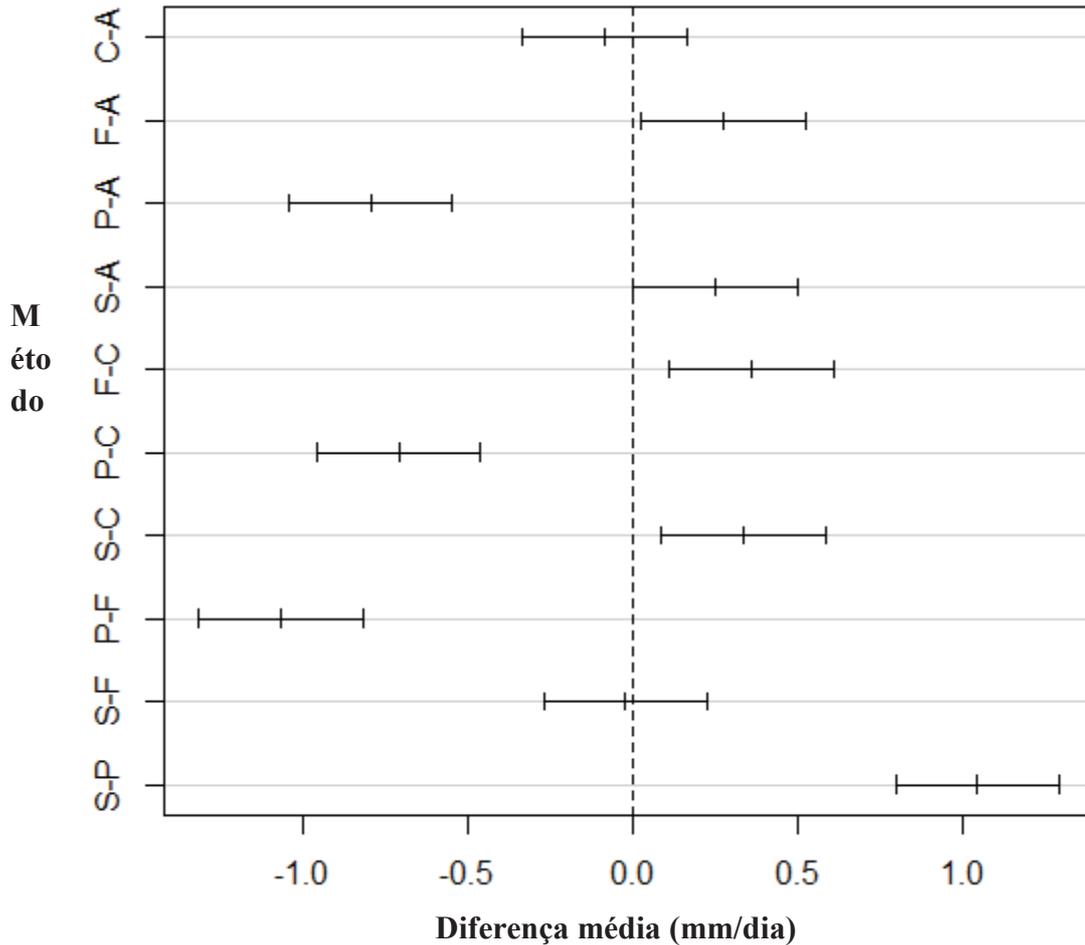
Para a tomada de decisão sobre qual (ais) médias são estatisticamente semelhantes (com $\alpha=0,05$) entre a ETo_PM e a $EToTCA$ foi realizada análise de variância acompanhada dos critérios do limite do intervalo de confiança aceitável a 95% (entre as diferenças das médias) propostas pelo teste de Tukey.

Na Figura 16 são observadas as diferenças de médias entre métodos (barra central) com os respectivos intervalos de confiança (barras laterais), a diferença média corresponde a distância entre a linha pontilhada e a barra central (observada entre dois métodos), sendo o ideal quando a barra central sobrepõe a linha pontilhada (que representa diferença zero entre as médias), a margem do erro aceitável foi de $\alpha=0,05$.

Portanto, foi possível identificar, que comparando a $EToPM$ (representada pela letra F) com a $EToTCA$ ao utilizar os Kp 's propostos por Snyder (S), Allen et al. (A), Cuenca (C) e Pereira (P), houve uma diferença entre S-F ($EToPM - EToTCA_S = -0,02$ mm), portanto há uma semelhança entre essas média (S-F) com uma confiança estatística de 95%, respaldado pela análise de variância e teste de Tukey.

O contrário ocorreu para os demais métodos (F-A, F-C, F-P), que obtiveram médias diárias, por ano, significativamente diferentes a 5%, ou seja, o H_0 é rejeitado de que há igualdade de médias, entre esses métodos. Destacando-se o método de Pereira et al. (P-F=-1,07 mm), que obteve a maior diferença com 95% de confiança estatística.

Figura 16. Análise de Variância (ANOVA) acompanhada pelo Teste de Tukey, com os respectivos intervalos de confiança ($\alpha=0,05$), das médias anuais da ETo, calculados pelos métodos: Penman-Monteith-FAO (F) versus Tanque Classe "A" adotando o Kp de Snyder (S), Allen (A), Cuenca (C) e Pereira et al. (P). Em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.



A variabilidade da média diária, por ano, das ETo's são observadas na Figura 17, nota-se que a EToPM foi maior que a EToTCA de 1980 a 1995, enquanto a EToTCA a partir do ano de 1995 começou a apresentar tendência de aumento e a partir de 2001 superestimou a EToPM, com predominância para a EToTCA_S. Percebe-se um aumento da EToTCA, apontando que pode está havendo tendência da evaporação.

Para melhor entendimento da variabilidade da ETo pelo método padrão, analisou-se, Figura 18, os valores médios observados com os respectivos desvios padrão, e as médias móveis (para 5 e 10 anos), para identificar indicativos de tendências na série climatológica (1977 a 2013), em Campina Grande, PB.

Figura 17. Variabilidade da Evapotranspiração de referência média diária, por ano, estimada pelos métodos de Penman-Monteith (ETo_{PM}), e, pelo método do “Tanque Classe A (ETo_{TCA})” utilizando-se diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder (S), Allen et al. (A), Cuenca (C) e Pereira (P). Em Campina Grande, PB, período de 1977 a 2013.

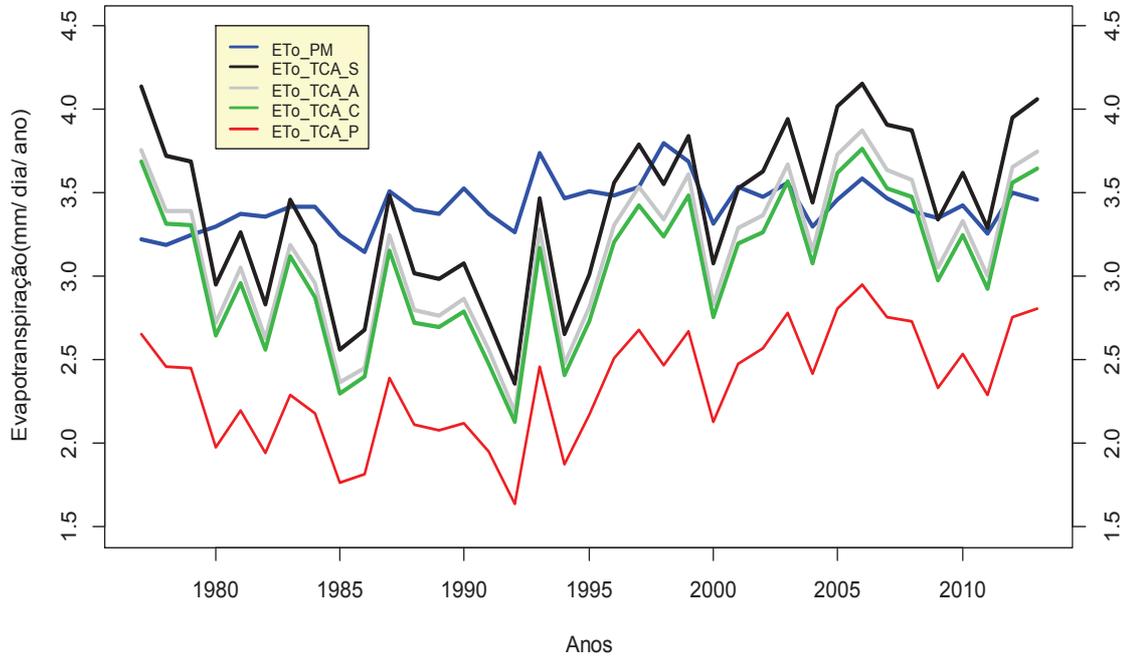
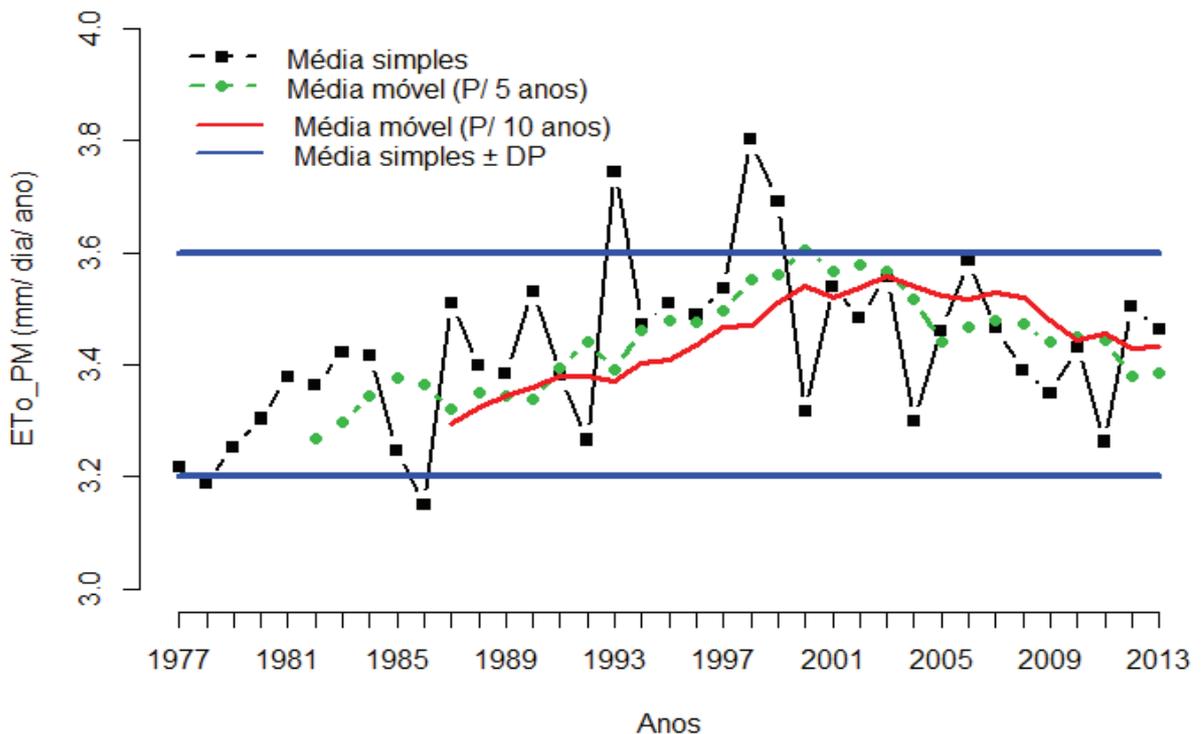


Figura 18. Variabilidade média do acumulado anual da Evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith. Médias: simples, móveis (com período de 5 e 10 anos) e os respectivos Desvios (média simples \pm Desvios Padrão). Em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013.



Os maiores valores médios diários da EToPM ocorreu no ano de 1998 ($3,8 \text{ mm.dia}^{-1}$) e 1993 ($3,74 \text{ mm.dia}^{-1}$), que coincidiu com os anos mais secos, em Campina Grande, PB, com acumulados anuais de chuva de 360 e 407,2 mm, respectivamente (como já foi discutido na Figura 9 para 1998), em contra partida o pico de mínima foi em 1986 ($3,15 \text{ mm.dia}^{-1}$), neste ano, o acumulado de precipitação anual foi 1204,1mm.

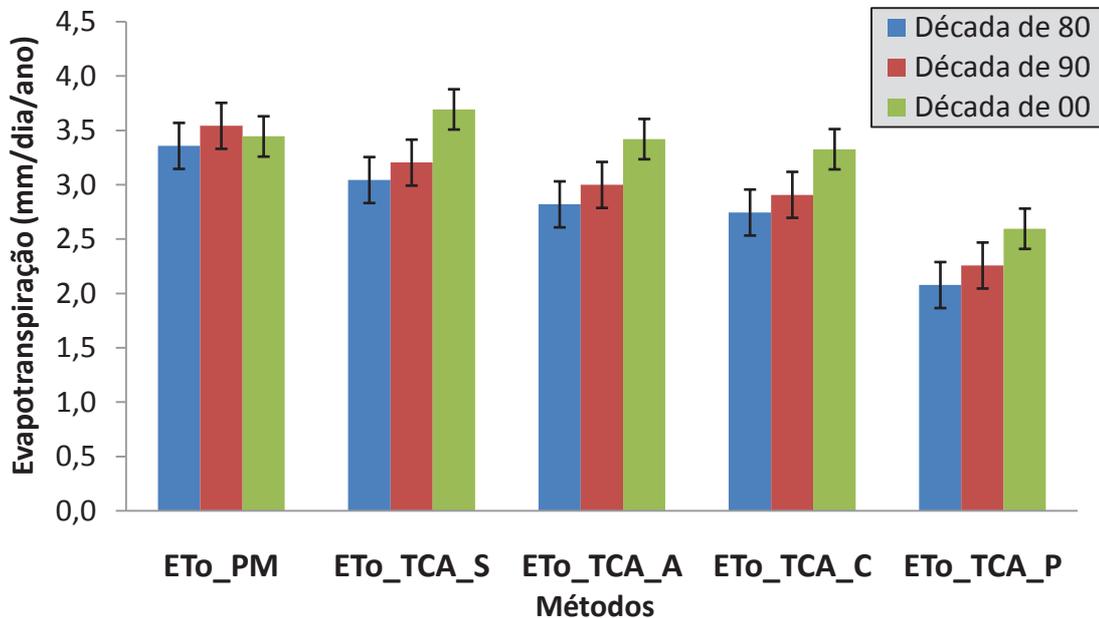
Foi possível identificar também, na Figura 18, uma flutuação assemelhando-se a uma curva convexa (melhor identificada na média móvel para 10 anos), em que há um aumento da EToPM até o ano de 2000 (com $3,54 \text{ mm.dia}^{-1}$), se mantém aproximadamente com esse valor até 2004 e a partir daí volta a diminuir sequencialmente até 2013. Indicando que houve variabilidade interdecadais da EToPM.

Na Figura 19 desejou-se testar a hipótese de nulidade, ou seja, que as diferenças interdecadais, para cada método em análise, não sejam diferentes significativamente, em Campina Grande, PB. Observa-se, na ordem decrescente por métodos, que os quantitativos e as possíveis tendências diferiram quando se compara com o comportamento da EToPM, que obteve os maiores valores médios da ETo, exceto para a década de 2000.

Para a ETo_{PM} foi identificada uma diferença significativa (p-valor $<0,05$) de aumento entre a década de 80 e a de 90, diferença média de $0,2 \text{ mm.dia}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, enquanto que da década de 90 para a de 00 houve uma redução (em média), porém não significativa comprovadas pela ANOVA e teste de Tukey a 5% de significância estatística.

Para o método calculado pelo tanque de evaporação classe “A”, as médias interdecadais não diferiram entre 80 a 90, no entanto houve um aumento com significância estatística (p-valor $<0,05$) da década de 90 para a de 00, um diferença média de 0,5 mm, para os quatro coeficientes de conversão da evaporação em EToTCA, refletida pela tendência da própria evaporação.

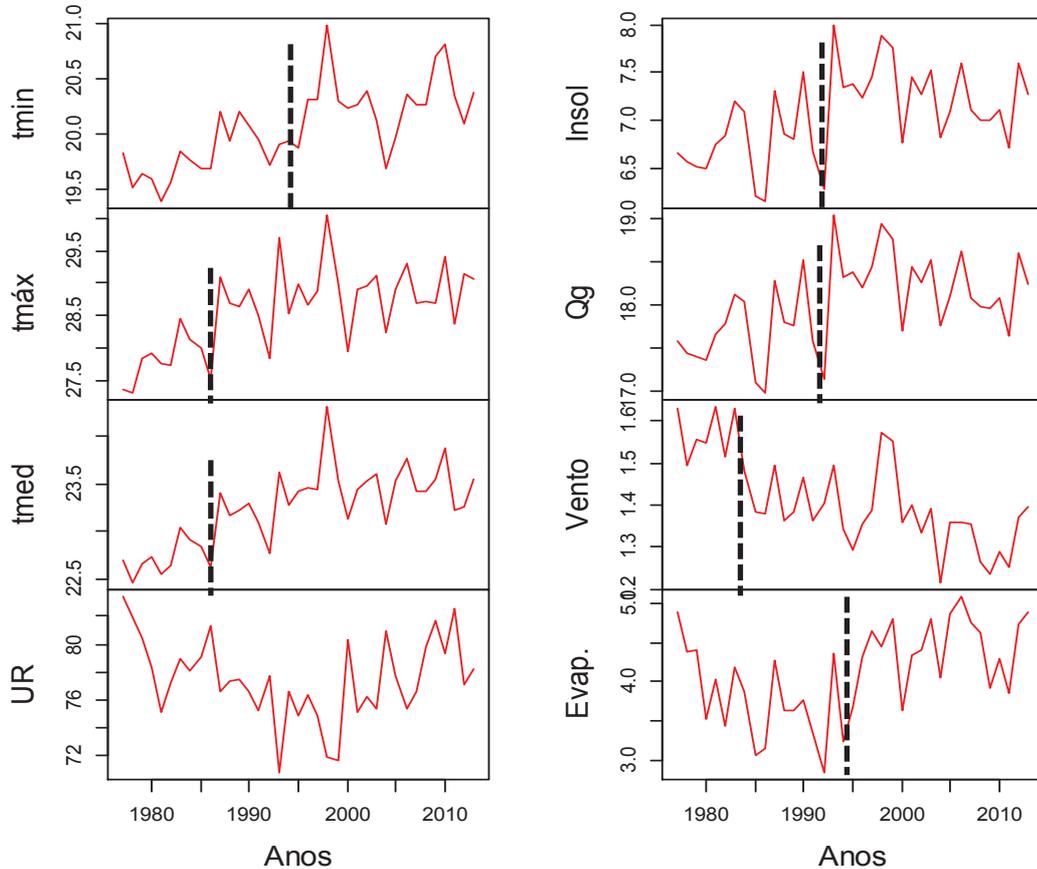
Figura 19. Médias diárias por décadas, para cada estação do ano, da Evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith, e, pelo método do “Tanque Classe A” para diferentes fatores de ajustes, propostos por: Snyder (EToTCA_S), Allen et al. (EToTCA_A), Cuenca (EToTCA_C) e Pereira (EToTCA_P). Em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013.



Embora a evapotranspiração seja derivada de uma combinação de variáveis meteorológicas, há as que a influencia mais que outras. Na Figura 20 são apresentadas as principais: temperatura mínima (t_{min} , em °C), temperatura máxima ($t_{máx}$, °C), temperatura média (t_{med} , °C), Umidade Relativa do ar (UR, em %), insolação (Insol, em horas), irradiância solar global (Q_g , em $Mj.m^{-2}.dia^{-1}$), velocidade do vento (vento, em $m.s^{-1}$) e evaporação (Evap., em $mm.dia^{-1}$), no período de 1977 a 2013.

Constatou-se que as médias com os respectivos desvios padrão (média \pm DP) para as referidas variáveis foram: $20,1 \pm 0,4$ (t_{min}); $28,6 \pm 0,7$ ($t_{máx}$); $23,2 \pm 0,4$ (t_{med}); $77,5 \pm 2,94$ (UR); $7,1 \pm 0,5$ (insol); $18,0 \pm 0,5$ (Q_g); $1,4 \pm 0,11$ (vento); $4,11 \pm 0,6$ (Evap.). As oscilações, observadas na Figura 20, apresentam indícios de tendências, umas para um aumento e outras uma diminuição, ao longo da série temporal. Porém, somente através de testes estatísticos é que se pode confirmar ou não tal hipótese, por isso houve a necessidade de se averiguar se está havendo tendências climáticas em Campina Grande, PB.

Figura 20. Variabilidades médias, diárias e as respectivas linhas com início de tendência da: temperatura mínima (tmin), máxima (tmáx) e média (tmed), Umidade Relativa do ar (UR), Insolação (Insol), Irradiância Global (Qg), Vel. do vento (Vento) e Evaporação do Tanque Classe “A” (Evap.). Em Campina Grande, PB, no período de 1977 a 2013.



Na Tabela 4, identifica-se que através do Run Teste (TR) as séries são homogêneas com significância de 5% ($|R \text{ calculado}| < 1,96$), entretanto o Teste de Mann-Kendall (TMK) detectou sinais de tendências significativas ($p\text{-valor} \leq 0,05$) em sete das oito variáveis analisadas, apenas a UR não apresentou tendência significativa. Destaca-se aumento significativo a 1% das temperaturas, com a maior magnitude de Sen de 0,024 (tmin), 0,028 (tmed) e maior magnitude observada de 0,036 (tmáx). Em contra partida houve aumento da evaporação pelo TCA, com nível de confiança estatística de 95%. O maioria das tendências iniciaram-se a partir da década de 90.

Os resultados aqui apresentados, corroboraram com Silva (2004) que analisando tendências climáticas, em localidades do Nordeste do Brasil, encontrou para Campina Grande, predominância de aumento, com significância estatística variando de 1 a 5%, destacando-se as temperaturas do ar, que apresentaram a maior tendência positiva.

Tabela 4. Variáveis meteorológicas com os respectivos testes estatísticos de homogeneidade da série temporal, Teste Run (TR), de Tendência de Mann-Kendall (TMK), magnitude da tendência (curvatura de Sen) e o sinal com o sucessivo ano de início da tendência média no período de 1977 a 2013, em Campina Grande, PB.

Variáveis	Estatísticas				
	TR (R calc.)	TMK (Z calc.)	Curvat. Sen	Tendência	Início (ano)
tmin	-0,58**	4,88***	0,024	Positiva	1995
tmáx	-0,93**	3,96***	0,036	Positiva	1986
tmed	-1,24**	4,77***	0,028	Positiva	1986
UR	-0,84**	-0,75	-0,035	-	-
Insolação	-0,39**	2,55**	0,017	Positiva	1992
Qg	-0,39**	2,39**	0,020	Positiva	1992
Vel. vento	-0,61**	-4,38***	-0,007	Negativa	1984
Evaporação	-0,77**	2,42**	0,023	Positiva	1995

Significativos a 0,05; *Significativos a 0,01.

Diante dos resultados de tendência predominantemente positivas, observados na Tabela 4, fica evidente a contribuição desses indicativos para a EToem Campina Grande, PB, observadas na Tabela 5, com níveis de significância estatística variando de 5 a 1%.

A EToPM obteve a menor magnitude de tendência, segundo teste de Sen, e EToTCA_S a maior, com 0,022 com níveis de confiança de TMK de 99%.

Tabela 5. Evapotranspiração de referência, estimada pelo método de Penman-Monteith, e, pelo método do “Tanque Classe A”, propostos por: Snyder (S), Allen et al. (A), Cuenca (C) e Pereira (P), com os respectivos testes estatísticos de Tendência de Mann-Kendall (TMK), magnitude da tendência (curvatura de Sen) e o sinal com o sucessivo ano de início da tendência média, período: 1977 a 2013, em Campina Grande, PB.

Métodos	Estatísticas			
	TMK (Z calculado)	Curvat. Sen	Tendência	Início (ano)
ETo_PM	2,31**	0,005	Positiva	1986
ETo_TCA_S	2,66***	0,022	Positiva	1995
ETo_TCA_A	2,63***	0,019	Positiva	1995
ETo_TCA_C	2,66***	0,018	Positiva	1995
ETo_TCA_P	3,31***	0,018	Positiva	1995

Significativos a 0,05; *Significativos a 0,01.

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados, em Campina Grande, conclui-se que:

- Existe uma predominância de subestimativa da ETo em Campina Grande quando calculada pelo método do Tanque Classe A comparado ao método de Penman-Monteith;
- O melhor coeficiente de ajuste de evaporação em ETo do TCA não é o mesmo entre as estações do ano, embora para a ETo anual o mais indicado tenha sido o Kp proposto por Snyder;
- A evapotranspiração, média mensal, é maior no período menos chuvoso (outubro a dezembro);
- Os meses de outubro a janeiro apresentaram maior ETo, enquanto que junho e julho apresentaram os menores, pelos métodos da EToPM e EToTCA;
- Em 50% dos meses (março a agosto) a EToPM é subestimada pela EToTCA;
- O método proposto por Pereira não é apropriado, pois subestimou a EToPM nas escalas diárias, mensais e anuais, uma subestimativa de 38,5%, em média;
- A EToPM obteve menores desvios padrão com coeficientes de variação entre 5,2% (novembro) a 9,5% (maio), enquanto os métodos para a EToTCA obteve maior variabilidade com CV de 14,3% (outubro) a 28,9% (junho);
- As maiores correlações da EToPM com a EToTCA (em média, para os Kp's) ocorreram na estação de outono ($r=0,7$) e inverno ($r=0,57$), significativas a 1%, porém as médias da ETo entre os métodos são significativamente diferentes;
- Os índices de desempenho entre os métodos foram, na maioria insatisfatórios, e alcançaram desempenho máximo apenas como mediano, destacando-se no outono e no inverno a EToTCA_A com valores de "c" igual a 0,69 e 0,56, respectivamente;
- Em termos anuais, identificou-se, através da análise de variância acompanhada pelo teste de Tukey, que apenas a EToTCA_S não apresentou diferença de média com a EToPM;
- Houve aumento da EToPM e EToTCA anual, com significância estatística de 0,05, identificada pelo teste de Mann-Kendall;
- A tendência positiva na variabilidade da ETo teve influência de aumento das temperaturas: máximas, médias e mínimas;

- O início das tendências, identificada pelo teste “t”, ocorreram no ano de 1986 (EToPM) e 1995 (EToTCA’s);
- Recomenda-se que o método de Allen et al. (EToTCA_A) possa ser utilizado em Campina Grande, apenas no período do outono e inverno, porém com cautela, já para dados anuais o melhor método foi o proposto por Snyder (EToTCA_S).

Referências Bibliográficas

Agência Nacional de Águas (ANA). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2005.

ALENCAR, L. P. et al. Evolução temporal da evapotranspiração de referência e sua sensibilidade aos principais elementos climáticos na cidade de Uberaba – MG. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.1, p. 159-166. 2012.

ALENCAR, L. P. et al. Tendências recentes nos elementos do clima e suas implicações na evapotranspiração da cultura do milho em Viçosa – MG. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.31, n.4, p.631-642, 2011.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., SMITH, M. Crop evapotranspiration, FAO Irrigation and Dranaige paper 56.Roma.FAORome, 1998.

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n.4, p. 650-662, 1989.

ALMEIDA, H. A. . Oscilações decadal e sazonal das temperaturas no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1100-1114, 2013.

ALMEIDA, H. A. ; CABRAL JUNIOR, J. B. . Variabilidades sazonais e interdecadais da chuva nas microrregiões geográficas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, p. 42-57, 2014.

ALMEIDA, H. A. de. **Climatologia aplicada à Geografia**. UEPB, Campina Grande, PB, Publicação Didática, 165p, 2012.

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

AMORIM NETO M. da S.; OLIVEIRA C. A. V.; SILVA, D. da S. **Avaliação de diferentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas**. In: IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Londrina-PR. Anais: Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia IAPAR, 1985, pp. 211-229.

ARAÚJO, E. L. Estresses abióticos e bióticos como forças, modeladoras da dinâmica de populações vegetais da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 500p., 2005.

Articulação do Semiárido (ASA). Brasil. Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br/>. Acessado em 20 de Dez de 2014.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V. E PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas, RS, Ed. Universitária/UFPel, 161p, 1996.

AYOADE, J. E. **Introdução à climatologia para os Trópicos**. 8. Ed. Rio de Janeiro: BertrasndBrasil, 2002.

AZEVEDO, P. V. **Zoneamento do potencial de energia solar do Nordeste**. Campina Grande, Coleção Politécnica. UFPB/NMA 1981.

BACK A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.5, p. 717-726, 2001.

BANDYOPADHYAY, A. et al. Temporal Trends in Estimates of Reference Evapotranspiration over India. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v.14, p.508-515, 2009.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

BERNARDO, S; SOARES, A; MANTOVANI, E C. **Manual de Irrigação**. 7ª edição. Viçosa: UFV Imprensa Universitária, 2005. 611 p.

BEZERRA, N. F. **Água no semi-árido nordestino experiências e desafios**. In: Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, Série debates, n. 24, 169p, 2002.

BRAGA, M, B. et al,. Coeficientes do tanque classe “A” para estimativa da evapotranspiração de referência na região do Vale do Submédio São Francisco, estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n.1, p.49-57, 2008.

BURN, D.H. , HESCH, N.M. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. **Journal of Hydrology**, v. 336, pp. 61-73, 2007.

CABRAL JUNIOR, J. B. ; ALMEIDA, H. A, SILVA, C. M. S. Análise Comparativa da Temperatura Média do Ar em Campina Grande, PB, Obtida pelo Método dos Extremos e pelo Método Padrão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 888-902, 2013.

CABRAL JUNIOR, J. B. **Principais Características dos regimes pluvial e térmico de Campina Grande, PB.** Trabalho de Conclusão de Curso (Geografia). UEPB. 2012.

CABRAL JÚNIOR, J. B. ; FARIAS, M. P. ; ALMEIDA, H. A. de, . **Análise comparativa, por décadas, do regime pluvial em Campina Grande, PB.** In: 62ª Reunião Anual da SBPC, 2010, Natal, RN. Anais da 62ª Reunião Anual da SBPC, 2010.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de; Uma revisão analítica da Evapotranspiração Potencial. **Bragantina**, Campinas, v.2, p. 125-137, 2000.

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.

CARVALHO, L. G. et al.; Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CASADEMONT, M.; VILLANOVNOVNOVA, R. Análisi pluviométrica al mas Rusques en els anys 1982 - 2003. Acessado em <http://www.econ.upf.es/~villanov/public-files/regim-pluv.pdf> , Abril de 2014.

CHIEW, F. H. S.; KAMALADASA, N. N.; MALANO, H. M. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 28, n. 1, p. 9-21, 1995.

CHIN, D. A.; ZHAO, S. Evaluation of evaporation-pan networks. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, Jerusalem, v.121, n.5, p.338-346, 1995.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation. **Scientia Agricola**, v.59, n.3, p.417-420, 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Remígio, estado da Paraíba**/(Orgs.)MASCARENHAS, João de C., BELTRÃO, Breno A., JUNIOR, Luiz C. de S., MORAIS, Franklin de., MENDES, Vanildo A., MIRANDA, Jorge L. F. de., Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.
Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/REMI153.pdf>>,
Acessado em: 13 out. 2014.

CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Prentice-Hall, 1989. 133 p.

CUNHA, A. R. Coeficiente do tanque Classe A obtido por diferentes métodos em ambiente protegido e no campo. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 32, n. 2, p. 451-464, 2011.

CUNHA, P. C. R. et al. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 114-122, 2013.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), p. 144, 1977.

ESTEVES, B. S. et al. Avaliação do Kt para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 274-278, 2010.

FONTANA, D. C.; OLIVEIRA, D. Relação entre a radiação solar global e insolação para o estado do rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, p.87-91, 1996.

GONDIM, R. S. et al. Impacto das Mudanças Climáticas na Evapotranspiração em Nível de Bacia Hidrográfica Utilizando um Sistema de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 16 n.2, p. 5-12, 2011.

GRISMER, M. E.; ORANG, M.; SNYDER, R.; MATYAC, R. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. **Journal of Irrigation Drainage Engineering**, New York, v. 128, n. 3, p. 180 - 184, 2002.

GUNDEKAR, H.G.; KHODKE, U.M.; SARKAR, S.; RAI, R.K. Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region. **Irrigation Science**, v.26, p. 169-175, 2008.

HOPKINS, W. G. **Correlation coefficient: a new view of statistics**. 2000. Disponível em: <<http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

HSIAO, T. C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, water efficiency and drought resistance. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam. v.14, n ½, p 59-84, 1974.

IBGE – Instituto de Geografia e Estatísticas. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em :<[http:// WWW.censo2010.ibge.gov.br/calendarioresult.php](http://WWW.censo2010.ibge.gov.br/calendarioresult.php)>, Acessado em : 06 de jul. 2013.

Instituto das Águas do Paraná. Disponível in: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=49>. Acessado em 06/04/2014.

IPCC_5º relatório sobre as mudanças climáticas, 2013. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/ar5/ar5-outline-compilation.pdf>. Acessado in: 20 de fev. 2014.

IRMAK et al. Evaluation of Class A Pan Coefficients for Estimating Reference Evapotranspiration in Humid Location. **Journal of irrigation an Drainage Engineering**, v. 128, n.3,p.153-159 , 2002.

JABLOUN, M. de; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, n. 6, p. 707-715, 2008.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE(Manuals and reports on engineering practice, 70), 1990.

KENDALL, M. G., **Rank Correlation Measures**. Ed. Charles Griffin.London, 1975.

KENNEY, J. F. E E.S. KEEPING (1962). “**Moving Averages**.” §14.2 in Mathematics of Statistics, Pt. 1, 3rd ed. Princeton, NJ: Van Nostrand, 221-223.

Leitão, M. M. V. B. R.; Oliveira, G. M.; Leitão, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.11, n.6, p.585–593, 2007.

LOPES, A. S. et al. Avaliação do coeficiente do tanque classe “a” para estimativa da evapotranspiração de referência em Aquidauana-MS. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 1 - 11, 2012.

LÓPEZ-URREA, R. et al. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 85, n. 1, p. 15-26, 2006.

MANN, H. B., **Non-parametric tests against trend**. *Econometrica* 13, 245-259, 1945.

MARQUELLI, W. A. **Manejo da irrigação de hortaliças**. Brasília: CNPH/EMBRAPA. (Circular Técnica, 2), 1986.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, p. 31-39. 1992.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da Evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Montheith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas em Paraipaba, CE**. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.

MENDONÇA, J.C. et al. Coeficientes do tanque classe “A” para a estimativa da evapotranspiração de referência, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, p. 123-128, 2006.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology**, v.6, p.203-204. 1967.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga**. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005.500p.

OLIVEIRA, G. M. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.2, p.104–109, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C. de; CARVALHO, D. F. de; ROMÃO, P. A.; CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.31, n.2, p.121-126, 2001.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL: Droughtandagriculture. WMO Tech. Note 138, Publ. WMO-392, Geneva, Switzerland, 127p.1975.

PEIXOTO, T. D. C.et al.; Avaliação de diferentes metodologias de estimativa da etobaseadas no tanque classe a, em Mossoró, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 2, 2014.

PEREIRA, P. C. et al. Avaliação e aplicabilidade do coeficiente do tanque classe“A” no médio Pajeú, Pernambuco. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 131 – 140, 2014.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 183 p. 1997.

PEREIRA, A.R. et al.A model for class-A pan coefficient.**Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, p. 75-82, 1995.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. 191p.

RODERICK, M. L.; FARQUHAR, G. D. The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years.**Science**, v. 298, p. 1410-1411. 2002.

SABZIPARVAR, A. A. et al. Evaluation of class A pan coefficient models for estimation of reference crop evapotranspiration in cold semi-arid and warm arid climates. **Water Resouce Management**, Amsterdam, v. 24,n. 5, p. 909-920, 2010.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da Evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n.1, p.1-12, 1996.

SENTELHAS P.C.; FOLEGATTI, M.V. Class-A pan coefficients (Kp) to estimate daily reference evapotranspiration (ETo). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 111-115, 2003.

SILVA et al., Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **RevistaÁrvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.335-344, 2008.

SILVA, M. T. Zoneamento de risco climático para a cultura do amendoim no estado do Rio Grande do Norte. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.7, n.2, 2007.

SMITH, M. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements**: ROME:FAO, 1991. 54 p.

SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of theIrrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, p. 977-980, 1992.

SOUSA, I. F. et al. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.

SPIEGEL, M. R., 1972. **Estatística**. McGraw-Hill, São Paulo, 580p.

STANHILL, G. Is the Class A evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements?.**Agricultural and Forest Meteorology** , v.112, p.233-236, 2002.

THOM, HCS (1966) **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 53p. (Technical Note, nº 81).

THORNTHWAITE, C.W.; HOLZMAN, B. **Evaporation and transpiration**. In: Climate and Man: Yearbook of Agriculture- 1941. Washington D.C : U.S. DepartmentofAgriculture, p.545-550, 1941.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Editora Pax, 2ª versão digital, Recife, 2006.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica eaplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

VILLA NOVA, N. A. **Estimativa da demanda hídrica em culturas**. In: **Simpósio Sobre O Manejo De Águas Na Agricultura**. Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 14-26. 1987.

WILLMOTT, C.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research Oceans**, Washington, n. 90, p. 8995-9005, 1985.

WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. Peak water requirements of crops in southern Idaho. Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. **Irrig. Drain.** Div. 98(IR2): 193-201. 1972.

XU, C-Y.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. **Hydrological Processes**, Chichester, v. 19, n. 18, 2005.

YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 2, p. 197-202, 2005.

XU, C.Y. et al. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration in Changjiang (Yangtze River) basin. **Journal of Hydrology**, v. 30, n.1-2, p. 81-93, 2006.