



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG**

**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**

**UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM  
CAMPINA GRANDE-PB.**

**FRANCISCO DE ASSIS NUNES HENRIQUE**

**CAMPINA GRANDE-PB**  
Março de 2006

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**FRANCISCO DE ASSIS NUNES HENRIQUE**

***ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM CAMPINA  
GRANDE-PB.***

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO**

METEOROLOGIA AGRÍCOLA E MICROMETEOROLOGIA

**SUB-ÁREA**

CLIMATOLOGIA AGRÍCOLA

**ORIENTADOR**

PROF. DR. RENÍLSON TARGINO DANTAS

CAMPINA GRANDE-PB  
Março de 2006

FRANCISCO DE ASSIS NUNES HENRIQUE.

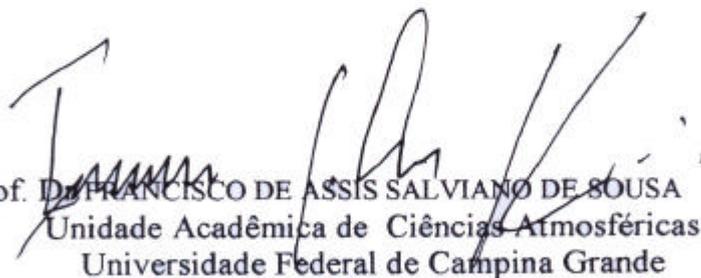
ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM CAMPINA  
GRANDE-PB

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 21/3/2006

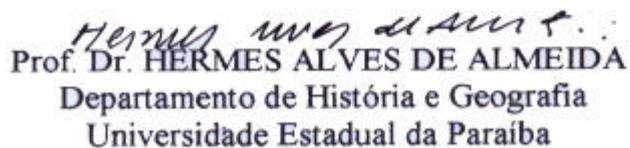
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. RENILSON TARGINO DANTAS  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. HERMES ALVES DE ALMEIDA  
Departamento de História e Geografia  
Universidade Estadual da Paraíba

## **DEDICATÓRIA**

Dedico primeiramente a Deus, por todos os esforços empregados na conclusão deste trabalho, pois dele vem toda a energia e força necessária para não fraquejarmos em nossa caminhada. Aos meus pais, Luiz Henrique de Lima e Beatriz Nunes de Lima, ao meu irmão Israel Nunes Henrique, a minhas irmãs Fábria Nunes Henrique, Cristiane Nunes Henrique e Zandre Nunes Henrique a minha namorada Maria Anunciada de Brito Leal pelo incentivo em todos os momentos pelo amor e pelas lições de vida. A todos aqueles que acreditaram e apoiaram o meu trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao glorioso **DEUS**, que tudo fez na minha vida inclusive concluir este trabalho.

Ao Prof. Dr. Renilson Targino Dantas, pela orientação, paciência, compreensão e incentivo expressado na realização deste trabalho.

A Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande-PB pela concessão dos dados meteorológicos.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, na pessoa do Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva, pela atenção e conselhos ao longo do mestrado.

A todos os professores do Curso de Mestrado em Meteorologia pelos ensinamentos ministrados com zelo e carinho, e pelo companheirismo.

Aos colegas Ricardo Braz Bezerra, Alcides Olinto da Silva, Janduy Guerra Araújo, Isaier Farias de Souza Junior, Cícera Josefa Rosângela Borges, Samara Olinto Montenegro, Bergson Guedes Bezerra, Alexandre César Soares da Silva (In memória) pelo companheirismo e horas que estudamos juntos.

Aos bons amigos do DCA pela excelente convivência durante o período do curso.

A Divanete Cruz Rocha, pela amizade e eficiente trabalho desenvolvido à frente da secretaria do curso.

Ao CNPq pelo incentivo financeiro durante essa pesquisa.

E, finalmente, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho teve o objetivo estimar, usando uma fórmula empírica, a evapotranspiração de referência diária para o município de Campina Grande-PB (EToT) utilizando-se a amplitude térmica diária. Foi estimado também a evapotranspiração de referência diária usando os métodos empíricos de Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves (EToH) e Linacre (EToL), sendo posteriormente correlacionados com EToT por estação do ano. Também foram analisadas por estação do ano a variação da precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e a irradiação solar durante o ano de 2004 em Campina Grande-PB. Para isso foram coletados valores diários das temperaturas, umidade relativa do ar, irradiação solar, precipitação, pressão e velocidade do vento a 2m da Estação Meteorológica Automática modelo CR23X, instalada na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2004. Tais valores foram registrados no intervalo de 10 minutos. Assim foi verificado que as correlações da EToT em função da EToH tiveram melhor ajuste, cujos os coeficientes foram:  $R^2 = 0,7882$  (para o ano),  $R^2 = 0,9796$  (para o verão),  $R^2 = 0,8253$  (para o outono),  $R^2 = 0,878$  (para o inverno) e  $R^2 = 0,914$  (para a primavera). Acreditando assim que os métodos de EToPM e EToL para as quatro estações do ano em 2004, não se ajustam bem para Campina Grande-PB, o que evidencia que a EToT poderá ser utilizada na forma proposta para estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, considerando que o método de Hargreaves é um dos principais métodos de estimativa da literatura. Das equações propostas, a única restrição é o EToT para o verão, pois a mesma não se correlacionou bem com a amplitude térmica diária, apresentando o  $R^2$  muito inferior a 0,80, de modo que, neste caso, recomenda-se o uso da equação anual.

## ABSTRACT

The objective of the present study was to estimate the evapotranspiration of daily reference for the city of Campina Grande-PB (ET<sub>oT</sub>) using an empiric formula, based on the daily thermal amplitude. It was also evaluated the evapotranspiration of daily reference using the empiric methods of Penman-Monteith (ET<sub>oPM</sub>), Hargreaves (ET<sub>oH</sub>) and Linacre (ET<sub>oL</sub>), and, in a future time, their correlation with ET<sub>oT</sub> by season. For each season it was also analyzed the variation of precipitation, temperature, relative humidity of the air and the solar irradiation during the year of 2004 in Campina Grande-PB. For that purpose, daily values of temperature, relative humidity of the air, solar irradiation, precipitation, pressure and speed of the wind were collected at 2m of the Automatic Meteorological Station model CR23X, installed in the Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), in the period of January 01 to December 31, 2004. Such values were registered in the interval of 10 minutes. By proceeding that way, it was verified that the correlations between ET<sub>oT</sub> and ET<sub>oH</sub> had better adjustment, whose the coefficients were:  $R^2 = 0,7882$  (for the year),  $R^2 = 0,9796$  (for the summer),  $R^2 = 0,8253$  (for the autumn),  $R^2 = 0,878$  (for the winter) and  $R^2 = 0,914$  (for the spring). It was detected that ET<sub>oPM</sub> and ET<sub>oL</sub> methods were not well adjusted for Campina Grande-PB for the four seasons of the year of 2004. That finding evidence that ET<sub>oT</sub> can be used in the form proposed to estimate the reference evapotranspiration in Campina Grande, considering that Hargreaves' method is one of the principal methods of estimate described in the literature. Among the proposed equations, the only restriction found was ET<sub>oT</sub> for the summer, once it was not well correlated with the daily thermal amplitude, presenting a result of  $R^2$  lower than 0,80. In this situation, the use of the annual equation is recommended.

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELA.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivo principal.....	16
1.2. Objetivos específicos.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Considerações climáticas e geográficas da região.....	18
2.1.1. Topografia.....	18
2.1.2. Hidrografia.....	19
2.1.3. Características climáticas.....	19
2.1.4. Solo e cobertura vegetal.....	20
2.2. Precipitação pluvial.....	21
2.3. Temperatura do ar.....	24
2.4. Irradiação solar.....	27
2.5. Evapotranspiração.....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.1. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA.....	48
3.1.1. Método de Penman-Monteith (EToPM).....	48
3.1.2. Método de Hargreaves (EToH).....	53
3.1.3. Método de Linacre (EToL).....	53
3.1.4. Método proposto pelo trabalho (EToT).....	54
3.1.5. Correlações entre as estimativas.....	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56

4.1.	Precipitação pluvial.....	56
4.2.	Temperatura.....	61
4.3.	Umidade.....	66
4.4.	Irradiação solar.....	70
4.5.	Evapotranspiração de referência em Campina Grande-PB.....	74
4.5.1.	Evapotranspiração de referência no verão.....	74
4.5.2.	Evapotranspiração de referência no outono.....	76
4.5.3.	Evapotranspiração de referência no inverno.....	78
4.5.4.	Evapotranspiração de referência na primavera.....	80
4.6.	Correlação dos métodos estimados.....	83
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	85
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
7.	ANEXOS.....	103
	Anexo 01 -Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do verão de 2004.....	103
	Anexo 02 -Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do outono de 2004.....	104
	Anexo 03 -Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do inverno de 2004.....	105
	Anexo 04 -Estimativa de evapotranspiração de referência na estação da primavera de 2004.....	106

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>FIGURA 4a -</b> Precipitação pluvial diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	57
<b>FIGURA 4b -</b> Precipitação pluvial diária durante o outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	58
<b>FIGURA 4c -</b> Precipitação pluvial diária durante o inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	59
<b>FIGURA 4d -</b> Precipitação pluvial diária durante a primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	60
<b>FIGURA 4e -</b> Temperatura do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	62
<b>FIGURA 4f -</b> Temperatura do ar no outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	63
<b>FIGURA 4g -</b> Temperatura do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	64
<b>FIGURA 4h -</b> Temperatura do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	65
<b>FIGURA 4i -</b> Umidade relativa do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	66
<b>FIGURA 4j -</b> Umidade relativa do ar no outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	67
<b>FIGURA 4k -</b> Umidade relativa do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	68
<b>FIGURA 4l -</b> Umidade relativa do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	69
<b>FIGURA 4m -</b> Irradiação solar diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	70
<b>FIGURA 4n -</b> Irradiação solar diária durante o outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	71
<b>FIGURA 4o -</b> Irradiação solar diária durante o inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	72
<b>FIGURA 4p -</b> Irradiação solar diária durante a primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	73
<b>FIGURA 4q -</b> Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	75
<b>FIGURA 4q.1 -</b> Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves no verão de 2004 em Campina Grande-PB.....	76
<b>FIGURA 4r -</b> Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	77
<b>FIGURA 4r.1 -</b> Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves no outono de 2004 em Campina Grande-PB.....	78
<b>FIGURA 4s -</b> Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	79
<b>FIGURA 4s.1 -</b> Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.....	80

<b>FIGURA 4t -</b>	Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	81
<b>FIGURA 4t.1 -</b>	Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.....	82

#### **LISTA DE TABELA**

<b>TABELA 1 -</b>	Correlação e coeficientes de estimativa de evapotranspiração de referência estimada pelos os métodos de Hargreaves (EToH), Penman-Monteith (EToPM), Linacre (EToL) e o proposto pelo trabalho (EToT), durante o ano de 2004 em Campina Grande-PB.....	83
-------------------	---	----

## 1. INTRODUÇÃO

O globo terrestre está constantemente a ceder à atmosfera água no estado de vapor, por evaporação da água existente no estado líquido e no estado sólido na superfície do globo - mares, lagos, cursos de água, geleiras campos de neve, água depositada, etc - e por transpiração das plantas que constituem o revestimento vegetal.

A transferência natural de água do globo para a atmosfera tem grande importância em meteorologia, porque condiciona a energética da atmosfera e altera as características das massas de ar nela existentes. Tem também grande importância em hidrologia, porque condiciona a evolução do ciclo hidrológico - seqüência fechada de fenômenos naturais em que o globo cede a atmosfera água no estado de vapor, posteriormente devolvida no estado líquido ou sólido por precipitação ou deposição na superfície da Terra a qual é parcialmente retida, escoando-se e infiltrando-se, e por onde passa novamente para a atmosfera no estado de vapor.

O conhecimento da quantidade de água que passa naturalmente de uma região da superfície terrestre para a atmosfera é igualmente importante nas aplicações da meteorologia e da hidrologia às atividades humanas, especialmente se a região for árida ou semi-árida, para se avaliarem os seus recursos naturais em água e planejar o aproveitamento deles na melhoria das condições gerais de vida, no abastecimento da população em água potável, nas atividades agrícolas e industriais e na produção de energia.

Devido a importância do processo de transferência de água para a atmosfera na forma de vapor, bem como a sua complexidade, envolvendo características do solo, da vegetação e da atmosfera, muito esforço tem sido despendido, por pesquisadores do mundo inteiro, na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

Para o agreste paraibano, onde está localizada a cidade de Campina Grande-PB (ou regiões circunvizinhas), a quantificação da evapotranspiração assume particular importância em virtude dos déficits hídricos ao longo do ano constituindo séria limitação à produção agrícola, e uma permanente fonte de risco agrícola em quase toda a região, principalmente em áreas secas, cujas características climáticas se aproximam da semi-aridez.

A medida da evapotranspiração apresenta dificuldades que desencorajam sua execução como prática de rotina. A introdução do conceito de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e a compreensão da possibilidade de sua estimativa a partir de dados climáticos levaram ao surgimento de um grande número de fórmulas empíricas, baseadas em dados disponíveis nos postos meteorológicos. Doorenbos e Pruitt (1975) relacionam mais de trinta destas fórmulas, as quais têm-se constituído num valioso instrumento nos estudos de manejo de água, principalmente para fins agrícolas.

Como mostram Pruitt e Doorenbos (1977), os métodos empíricos apresentam discrepâncias em relação aos valores da ET<sub>o</sub>, que se acentuam a medida que as condições locais se diferenciam daquelas para as quais foram propostos. Segundo estes autores, os métodos mais simples apresentam as maiores discrepâncias, e, mesmo os métodos de melhor base teórica, como o de Penman, apesar de apresentarem altas correlações com valores medidos, podem dar

resultados muito diferentes dos reais, quando aplicados sob certas condições de clima. Apontam como razão de os maiores erros com métodos mais simples, o fato deles conterem vários coeficientes de regressão, altamente dependentes de parâmetros climáticos não incluídos nas fórmulas, e mostram a necessidade de calibração local dos métodos empíricos.

Berlato e Molion (1981) chamam a atenção para o fato da maioria dos métodos empíricos serem estabelecidos em condições de clima temperado e de baixa altitude. Analisando dados de Jensen na comparação de vários métodos empíricos, em dez diferentes condições de clima, com altitudes desde -30m a 2774m e latitudes desde 38°S a 56°N, os autores concluem que os métodos mais simples têm pior desempenho em condições climáticas extremas, como as de elevada altitude, latitude equatoriais, de costas marítimas ou vales. As piores correlações foram encontradas para Ruzizi – Zaire, a 960m de altitude e 2°S de latitude e para South Park – Colorado, a 2774m de altitude e latitude de 39°N. Quando foram considerados os valores de todos os locais numa única regressão para cada método, o método de Thornthwaite foi o pior dos cinco métodos testados. Referindo-se ao melhor desempenho geral do método de Penman em relação aos métodos mais simples, os autores afirmam que essa é uma das características físicas inerentes ao processo de evaporação, como é o caso do método de Penman ou de outros métodos que combinam o balanço de energia com algum parâmetro aerodinâmico.

Scurdua (1979), analisando resultados de desempenho dos métodos empíricos, obtidos por diversos autores em diferentes condições de clima, conclui que as estimativas mais precisas da evapotranspiração tem sido obtidas através de fórmulas propostas ou modificadas para as condições locais, através de correlações com o saldo de radiação global e pelo método de Penman.

Nas condições brasileiras, Camargo (1962), comparando os valores obtidos com os métodos de Thornthwaite, Penman, Blaney-Criddle e Blaney-Criddle modificado, com medidas

em evapotranspiração de Thornthwaite, em Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, encontrou que o método de Thornthwaite apresentou a melhor correlação com os dados medidos. Também as correlações entre os valores da ETo por diferentes métodos, inclusive o de Penman, e medidas em evapotranspirômetros, em Viçosa-MG, encontradas por Sedyama e Bernado e apresentadas por Bernardes (1977) mostram que o método de Thornthwaite teve o melhor desempenho.

Segundo Penman (1963), as limitações dos métodos empíricos são reconhecidas tanto por seus críticos como por seus autores, mas, enquanto prosseguem as buscas por melhores soluções, eles podem fornecer valores de consumo de água para uso em balanço hídrico e, nas melhores condições, dar valores que são, pelo menos, tão precisos quanto os que podem ser obtidos por medidas diretas no campo, e fazem isso de um modo mais fácil. Pode-se acrescentar que, possuir informações de demanda de água através de um método empírico, mesmo o mais simples, é melhor do que não possuir nenhuma informação. Sabe-se, ainda, que fórmulas empíricas mais simples são as mais usadas, não por sua universalidade ou precisão, mas devido à não existência de medidas de superfície que permitem o uso de métodos mais consistentes.

## **1.1. Objetivo Principal**

Este trabalho teve o objetivo de estimar a evapotranspiração de referência em Campina Grande-PB, a partir da amplitude térmica diária.

## **1.2. Objetivos Específicos**

- a) Analisar, por estação do ano, a variação da precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e a irradiação solar durante o ano de 2004 em Campina Grande-PB.
- b) Estimar a evapotranspiração de referência pelos os métodos de Penman Monteith (FAO 56), Linacre (1977), Hargreaves (1974) e pelo método objetivo principal deste trabalho.
- c) Correlacionar os métodos estimados e analisar, através de um ajustamento estatístico, qual melhor se adapta a Campina Grande.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Considerações climáticas e geográficas da região**

De acordo com os anais da COBENGE (2005) Campina Grande está localizada no Agreste da Borborema, a 120 km de João Pessoa. É considerada a maior e mais importante cidade do interior do Nordeste. Pólo de cinco microrregiões homogêneas que compõe o Compartimento da Borborema – área que abrange 79 municípios, cerca de 44% do território paraibano e população que soma mais de um milhão de habitantes – a cidade exerce influência geo-econômica em limites que transpõem fronteiras estaduais, tornando-se, assim, uma das mais importantes do Nordeste do Brasil.

#### **2.1.1. Topografia**

Suavemente ondulada, a topografia do município apresenta relevo com curvas de nível variando entre 500 m e 600 m acima do nível médio do mar. O relevo mais acidentado localiza-se a Nordeste, em direção ao município de Lagoa Seca. A Serra do Monte (alinhamento de Inselbergs), ao Sudoeste, separa o município de Campina Grande com o de Boqueirão. Ao

Sudeste, dois alinhamentos – as Serras de Catuama e de Bodopitá – o separam dos municípios de Fagundes e Queimadas.

### **2.1.2. Hidrografia**

A principal característica hidrográfica do município de Campina Grande é separar, como área dispersora de águas fluviais, os afluentes do rio Paraíba (nas direções sul e sudeste) dos afluentes do rio Mamanguape (direções norte e nordeste).

### **2.1.3. Características climáticas**

De acordo com a classificação de Köppen, o tipo de clima encontrado em Campina Grande-PB é *As'* (*quente e úmido com chuva de outono-inverno*). Ocorre desde o litoral da Paraíba até atingir o Planalto da Borborema em uma extensão aproximada de 100 km, compreendendo as zonas fisiográficas do Litoral e Mata, Agreste e Caatinga Litorânea, Brejo e Borborema Oriental. Caracteriza-se por apresentar chuvas de outono-inverno e um período de estiagem de 5 a 6 meses.

Seu regime pluviométrico está na dependência da Massa Equatorial Atlântica, que começa a atuar no outono, tendo sua maior umidade na corrente inferior dos alísios. No inverno

dá-se a invasão das massas polares do sul, que se incorporam aos alísios de sudeste produzindo chuvas abundantes principalmente na faixa litorânea.

O período seco começa em setembro e prolonga-se até fevereiro, sendo mais acentuado no trimestre da primavera, salientando-se o mês de novembro como o mais seco. Já a estação mais chuvosa começa em março-abril e termina em agosto.

Na região do Agreste e Caatinga Litorânea e em grande parte da Frente Oriental da Borborema, as precipitações estão em torno de 700 mm. A parte central da encosta do planalto correspondente à Zona do Brejo, em consequência de sua maior altitude, destaca-se por uma elevada pluviosidade, comparável à que ocorre no litoral.

A amplitude térmica anual é muito pequena em função da baixa latitude. As temperaturas variam um pouco durante o ano e as médias anuais são elevadas, com valores compreendidos entre 22 °C e 26 °C. Os meses mais quentes são janeiro e fevereiro e os menos quentes são julho e agosto. A umidade relativa é bastante uniforme em toda a região, com médias em torno de 80 %.

#### **2.1.4. Solo e cobertura vegetal**

O solo do município de Campina Grande é raso e de natureza argilo-arenosa. Em função da pequena camada de terreno sedimentar e da escassez de chuvas, o solo de Campina Grande não favorece a formação de associações florestais densas. Desses fatores decorre a precariedade da cobertura vegetal. Não obstante, a paisagem florística é bastante diversificada,

apresentando formações de palmáceas, cactáceas em geral, legumináceas e bromeliáceas, além de rarefeitas associações de marmeleiros, juazeiros, umbuzeiros e algarobas.

## **2.2. Precipitação pluvial**

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que apresenta maior variabilidade tanto em quantidade quanto em distribuição mensal e anual de uma região para outra (Almeida, 2001). Para compreender o clima de uma determinada região torna-se necessário considerar fatores fundamentais tais como a circulação geral da atmosfera, resultado do aquecimento diferencial entre o equador e os pólos, bem como da distribuição assimétrica dos continentes e oceanos (Molion, 1985).

O semi-árido nordestino se caracteriza por apresentar elevadas variações espaciais e interanuais na precipitação, com médias anuais variando de cerca de 400 a 800 mm, na maioria das localidades. Segundo Aragão (1975), a principal razão da existência da semi-aridez é a ausência de um mecanismo dinâmico que provoque movimentos ascendentes. Para Nobre e Molion (1988), a variabilidade do clima, nesta região, resulta de efeitos combinados de vários sistemas meteorológicos e das variações na intensidade e posição das células de Hadley e Walker.

Estudos têm mostrado que existem correlações entre a variação interanual da precipitação com as flutuações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), nos oceanos tropicais, notadamente os oceanos Atlântico e Pacífico (Moura e Shukla, 1981), o que demonstram, o vínculo existente entre os oceanos e a atmosfera (Hastenrath e Greischar, 1993; Nobre e Shukla, 1996).

Almeida *et al.*,(2005) analisou estatisticamente os dados mensais e anuais de precipitação no período de 1911 a 2003 em Campina Grande-PB caracterizando o regime pluvial da região. Verificou que a média aritmética e a mediana anual da precipitação pluvial foram de 758 mm e 725 mm, respectivamente. O desvio padrão (DP) foi de 214 mm, indicando ser este valor a dispersão média, para mais ou menos, esperada. A variabilidade mensal foi ainda muito maior, com DPs de outubro a janeiro, superiores a mediana e o DP médio mensal com dispersão que equivale a 87% da média. Ele ainda comparou os totais anuais de precipitação observados e a mediana, verificando que em 50% dos anos estudados choveu acima de 725 mm. Mesmo com igual número de anos com totais de chuva acima ou abaixo da mediana, isso não significa que um ano chove e outro não. Há períodos mais e outros menos chuvosos, sendo o ano de 2000, o mais chuvoso (com 1360 mm), e 1952, o mais seco (com 331 mm). Observou também que entre os pontos médios (PMs) de 675 e 825 mm ocorrem as maiores frequências observadas e esperada, cuja frequência acumulada foi de 51,5%. Já, a mediana centrada na média deste dois PMs (750 mm), ocorre a um nível de probabilidade de 61%.

Por outro lado, as chances de ocorrer totais de chuvas anuais aos níveis de 25, 50 e 75% de probabilidade são de 537, 684 e 826 mm, respectivamente. Tais análises mostraram que além da elevada irregularidade mensais há, pelo menos, dois a três meses com valores nulos. Comparando-se o valor mediano com o observado, constata-se que existem anos e/ou décadas mais chuvosas que outras. No entanto, não há uma tendência que permita afirmar que a precipitação pluvial, em Campina Grande, esteja aumentando ou diminuindo (Almeida *et al.*, 2005).

Araújo *et al.*,(2003) utilizou dados pluviométricos para calcular valores médios mensais e anuais para todo o período de 1911 a 2002 , em subperíodos distintos divididos em 30 anos cada, para a cidade de Campina Grande-PB. Ele conclui, então, que Campina

Grande saiu de um período com chuvas predominantemente acima da média (799,5 mm) para um comportamento mais irregular (787,6 mm), semelhante ao observado no início do século.

A grande variabilidade anual e interanual da precipitação são características marcantes na região Nordeste do Brasil (NEB). Outra característica dessa Região é a distribuição espacial com regiões que apresentam precipitação acumulada inferior a 350 mm/ano, a exemplo do Cariri Paraibano, e outras com totais superiores a 1700 mm/ano como o litoral da Paraíba (Menezes *et al.*, 2004).

A variabilidade interanual da pluviometria sobre o Nordeste está associada a interação entre a atmosfera, os oceanos e a fisiografia regional, como por exemplo a variações de padrões de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos tropicais, os quais afetam a posição e a intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Oceano Atlântico, modulando assim a pluviometria sobre o norte do Nordeste (Menezes *et al.*, 2003; Nobre, 1996; Nobre e Melo, 2001; Nobre *et al.*, 2001; Repelli e Nobre, 1996).

Além da variabilidade interanual, o Nordeste do Brasil também apresenta uma variabilidade intrasazonal, com pelo menos três regimes de precipitação para três áreas distintas: uma área mais ao norte, onde as precipitações significativas ocorrem no bimestre março-abril; a faixa litorânea leste do Nordeste que se estende desde o Rio Grande do Norte até o sul da Bahia, com período chuvoso entre maio-julho; uma terceira região que abrange grande parte da Bahia e que tem máximos de precipitação nos meses de novembro e dezembro (Alves *et al.*, 2001; Menezes *et al.*, 2003).

Dentre os fenômenos atmosféricos que afetam a variabilidade intrasazonal e interanual das chuvas sobre o Nordeste estão os sistemas transientes como Oscilação de 30-60 dias, Vórtices Ciclônicos da Alta Troposfera, Distúrbios Ondulatórios de Leste, Linhas de

Instabilidade associadas à brisa marítima, assim como instabilidades termodinâmicas locais induzidas por aquecimento diferencial da superfície, convergência de umidade e convecção. Outro fenômeno que pode influenciar também na distribuição das chuvas na região é o El Niño (Alves *et al.*, 2002; Oliveira, 1999; Menezes *et al.*, 2003), os Complexos Convectivos de Mesoescala, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e banda de nuvens associadas a frentes frias.

### **2.3. Temperatura do ar**

A temperatura é um dos mais importantes elementos meteorológicos, pois a mesma mostra os estados dinâmicos da atmosfera e revela a circulação atmosférica, sendo capaz de facilitar e/ou bloquear os fenômenos atmosféricos. Portanto, é de fundamental importância às medições da temperatura do ar, em qualquer instante, principalmente naqueles horários recomendados pela OMM (Organização Meteorológica Mundial), incluindo neste caso as temperaturas máxima e mínima do ar, ocorridas em um período de 24 horas, e na impossibilidade destas últimas medidas, deve-se recorrer a métodos de estimativas (Azevedo *et al.*, 2005).

Dentre os elementos climáticos, a temperatura do ar é o que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais; sendo seu conhecimento fundamental em estudos de planejamento agrícola. Em zoneamentos de aptidão climática das culturas, as informações das condições térmicas regionais são elementos imprescindíveis e sua escassez em grandes áreas limita estudos suficientemente detalhados sobre

o planejamento agrícola, como é o caso da região Nordeste do Brasil (Sediyama e Melo Júnior, 1998).

Os estudos da probabilidade de ocorrência de altas temperaturas e o seu mapeamento são importantes na definição das melhores épocas de semeadura e na determinação do risco de produção para cada região e época de semeadura (Massigam *et al.*, 2005).

A temperatura do ar é uma variável climática muito importante para a agricultura, influenciando diretamente no desenvolvimento das plantas. Seu efeito na agricultura é tão importante quanto seu efeito no conforto térmico humano e animal ou na previsão de incêndios florestais. Na agricultura, a elevação da temperatura do ar tem efeitos importantes no crescimento das plantas, como por exemplo, no aumento da evapotranspiração. Em contrapartida, a diminuição da temperatura do ar pode afetar a duração dos estádios fenológicos da cultura, prolongando a duração do ciclo (Filho *et al.*, 2005).

Um grave problema na produção animal nos países situados na região tropical, como é o caso do Brasil, é a ocorrência de altas temperaturas, principalmente se associadas à alta umidade relativa do ar durante quase todo o ano provocando “estresse térmico” (Sevegnani *et al.*, 1994; Naães e Arcaro Jr., 2001). O efeito do ambiente tropical sobre o desempenho produtivo e reprodutivo, crescimento e desenvolvimento, aspectos relacionados à sanidade e alimentação dos animais têm sido estudados por Armstrong (1994) e Dobson e Smith (2000) para bovinos; Barbosa *et al.*, (1995) para ovinos; Becker *et al.*, (1992) para suínos e por Timmons e Gates (1988) para aves. O efeito de cada um dos elementos climáticos sobre o desempenho animal, no entanto, não acontece de forma isolada, mas de forma combinada podendo ser representado por um índice. Dentre os índices de conforto térmico para avaliar a adequação de um ambiente em relação a uma atividade de exploração animal pode-se destacar o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), desenvolvido por Thom em 1958 (Kelly e Bond, 1971).

A temperatura nas camadas de ar mais próximas à superfície é um parâmetro de grande relevância ecológica, ambiental e agrícola. Do ponto de vista agrícola, a temperatura do ar relaciona-se com as fases fenológicas das culturas, maturidade fisiológica (Gadioli *et al.*, 2000), demanda hídrica (Hargreaves *et al.*, 1985; Allen *et al.*, 1998) e ocorrência de pragas e doenças. Na pecuária está diretamente relacionada ao ganho de peso dos animais e ao conforto térmico das instalações. Apesar de sua importância, informações sobre a temperatura do ar nem sempre estão prontamente disponíveis para uma dada localidade ou região, tanto em quantidade quanto em qualidade.

Almeida e Sá (1984) estudaram para a região de Ilhéus e Itabuna a relação entre latitude, longitude e altitude e a temperatura média mensal do ar, a temperatura máxima média mensal e a temperatura mínima média mensal. A utilização das três coordenadas para estimativa da temperatura média mensal do ar proporcionou os melhores resultados. Carvalho (2001) testou a capacidade de predição dos modelos de estimativa da temperatura média mensal do ar, utilizando valores observados e calculados para os municípios de Barreiras e Morro do Chapéu, ambos na Bahia, encontrando boa confiabilidade para todos os meses do ano.

Ramos *et al.*, (2005) concluiu que a estimativa da temperatura média mensal do ar na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, para todos os meses do ano, pode ser feita com precisão a partir do conhecimento da latitude, longitude e altitude local.

A coleta e aquisição de dados meteorológicos através de estações meteorológicas automáticas (EMA) têm aumentado consideravelmente a nível mundial, inclusive no Brasil. Junto com o uso desta tecnologia, cresce também o interesse de saber se a qualidade da informação meteorológica fica preservada, uma vez que a rapidez da comunicação e a disponibilidade dos dados ao usuário é imensamente melhorada com a instalação das EMAs em relação à determinações em estações meteorológicas convencionais (EMC).

Estudos anteriormente realizados no Brasil têm demonstrado que para alguns elementos meteorológicos existem diferenças entre as medidas em estações meteorológicas automáticas e as convencionais, o que causa certa preocupação. Na escala diária, as medidas de temperatura mínima, média e máxima do ar, umidade relativa média do ar, radiação solar global, velocidade do vento e chuva vem mostrando serem diferentes entre a EMA e a EMC (Sentelhas *et al.*, 1997; Sentelhas e Caramori, 2002; Cunha e Martins, 2004). Em escalas mensal e anual, as diferenças dos valores medidos da chuva vem sendo o mais preocupante (Sentelhas *et al.*, 1997).

Vários estudos realizados e outros em desenvolvimento, sob várias opções metodológicas, com o objetivo de quantificar a influência da vegetação sobre o clima, principalmente o clima da cidade, têm mostrado a importância da arborização. Nesse sentido, comprovou-se que a vegetação é responsável pela amenização das temperaturas mais elevadas e pela redução da velocidade do vento, entre outros benefícios. A vegetação é, deste modo, um importante componente regulador da temperatura urbana, pois absorve com muito mais facilidade a radiação solar que é utilizada nos seus processos biológicos: fotossíntese e transpiração (Oliveira e Costa, 2005).

## **2.4. Irradiação Solar**

A irradiação solar constitui-se no mais importante elemento meteorológico, pois dela depende basicamente os processos físicos que ocorrem na atmosfera. Na superfície da Terra, a mesma condiciona a evaporação da água em superfícies líquidas e de solo úmido e é necessária para o crescimento e desenvolvimento vegetal, além de ser fundamental às atividades do ser

humano. Portanto, a determinação da irradiação solar em locais distintos da superfície terrestre é motivo constante de pesquisas, que cada vez mais, torna-se mais ampla, tanto em relação ao crescente número de métodos de estimativas testados quanto em relação às formas espectrais de acordo com as características específicas de cada interesse (Silva *et al.*, 2005).

A Terra depende da energia emitida pelo sol na forma de ondas curtas para se aquecer e do total de energia que chega no topo da atmosfera, parte é refletida pelas nuvens, parte é absorvida (por gases atmosféricos como dióxido de carbono, ozônio e vapor d'água) e finalmente uma considerável parte chega até a superfície da Terra, a qual também absorve, reflete e reemite energia. Como a superfície terrestre e a atmosfera estão a uma temperatura bem abaixo da temperatura do Sol, elas reemitem energia na forma de ondas longas (lei de Wien). A atmosfera e a superfície da Terra interagem com trocas mútuas de radiação de onda longa e as medidas da contra-irradiação (irradiação reemitida pela atmosfera) são de grande dificuldade de se mensurar (Andrade *et al.*, 2004).

O conhecimento da quantidade de radiação solar que chega em um determinado ponto da superfície terrestre é de grande importância para as diversas atividades humanas, principalmente aquelas que tratam do aproveitamento dos recursos naturais, visto que a radiação solar é a principal fonte de energia disponível para todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema terra-atmosfera, além de interferir em outros elementos meteorológicos como a evaporação, evapotranspiração, temperatura, umidade relativa e outros (Teixeira *et al.*, 2004).

Conhecer a dinâmica radiação solar local é de extremo valor para estudos básicos e aplicados nos campos da meteorologia, zootecnia, biologia, agricultura, meio ambiente, medicina, engenharia, arquitetura, etc. (Amorim *et al.*, 2005).

Dados contínuos e padronizados de radiação solar num determinado local são, na maioria das vezes, difíceis de obter. A questão operacional reside em mão-de-obra especializada e nos altos custos dos instrumentos de medidas tais como piranômetro e actinômetro. Na tentativa de amenizar este problema já foram propostos vários modelos que simulam a irradiância solar global a partir de informações meteorológicas (precipitação, temperatura e insolação). Assim, registros de temperatura em estações convencionais vêm sendo utilizados ao longo dos anos para estimar radiação (Ferronato *et al.*, 2003; Blanco *et al.*, 2002). Bristow e Campbell (1984) propuseram um modelo empírico que estima a radiação solar global a partir das temperaturas máxima e mínima do ar e da radiação solar no topo da atmosfera. Tal método tem sido de grande valia em vários estudos quando não se dispõem de registros de radiação solar global nas estações meteorológicas.

Desde os tempos pré-históricos, o homem tem voltado ao Sol com grande respeito, visto que os povos das antigas civilizações reconheciam no astro a fonte de vida e de luz. A constatação das variações das estações do ano, o rebrotar das plantas sob a ação da luz solar e a ausência de frio consistiram nas primeiras observações que introduziram a descoberta das inter-relações entre o Sol e a Terra (Argentièrre, 1979).

A atmosfera terrestre, então, pode ser considerada como uma gigantesca máquina térmica, alimentada quase que exclusivamente pela energia externa oriunda do Sol, sendo cerca de 99,97% utilizada no sistema Terra-Atmosfera, e pelo campo gravitacional do interior do planeta. Não considerando a quantidade de calor, comparativamente insignificante, que escapa do interior da Terra, em virtude da radioatividade, é possível concluir que a quase totalidade de energia que a atmosfera recebe procede, direta ou indiretamente, do Sol. Assim, segundo Varejão-Silva (2001), denomina-se radiação, ou energia radiante, à energia que se propaga sem

necessidade da presença de um meio material. O termo radiação é igualmente aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia.

Segundo Vianello e Alves (1991), o movimento de energia através do “espaço vazio”, numa forma que sugere propagação em ondas, mas, sem a ação de qualquer meio material, é misterioso, porém, há uma evidência perfeita de que as ondas de energia propagam-se assim, e, que cada corpo no Universo, quente ou frio, tem a faculdade de emitir um pouco de sua energia. A Terra, por exemplo, perde parte de seu calor, continuamente, dia e noite. Naturalmente, que, quando o Sol estiver brilhando, o lado iluminado da Terra estará recebendo maior quantidade de energia vinda do Sol do que estará perdendo, comparado ao lado não iluminado. As quantidades de calor recebidas da Lua, planetas, estrelas e do interior do globo terrestre, são desprezíveis, em comparação com o calor solar, e a comprovação desse fato está no aumento da temperatura, durante o dia, sob o efeito da radiação solar, e na queda noturna da temperatura, quando não há Sol. As ondas eletromagnéticas recebidas do Sol e emitidas pela Terra são as que particularmente interessam à Meteorologia. Os raios solares incluem os espectros visível, ultravioleta e o infravermelho. A radiação solar incidente no topo da atmosfera, chamada de radiação solar extraterrestre, é emitida através de ondas curtas, enquanto que a radiação terrestre, por sua vez, sempre se faz em ondas longas.

De acordo com Varejão-Silva (2001), apenas as radiações de comprimentos de onda compreendidos entre 0,36 e 0,74  $\mu$  podem ser detectadas pelo olho humano, constituindo a faixa visível do espectro eletromagnético ou luz visível. O humor e a sensação de bem-estar podem ser afetados pela luz visível, visto que a privação de luz solar pode causar um tipo de depressão de inverno conhecida como distúrbio afetivo sazonal (DAS). Na comunidade vegetal, o fornecimento de luz visível favorece a fotossíntese, processo pelo qual as plantas usam essa

energia para crescer e, eventualmente, prover alimentos para outros seres vivos através da cadeia alimentar.

Steinmetz *et al.*, (1999) afirmaram que a irradiação solar é um dos elementos mais importantes na produção agrícola, pois, além de ser fonte básica de energia no processo fotossintético das plantas, é de grande utilidade, dentre outros, em estudos de zoneamentos agroclimáticos, épocas de semeadura, produtividade potencial, necessidade de irrigação e no desenvolvimento e uso de modelos de crescimento e rendimento de culturas. Portanto, as tabelas de probabilidades desses elementos meteorológicos, em conjunto, poderão constituir uma informação valiosa para a programação de diversas atividades (turismo, esportes, lazer, agropecuárias e outras).

Embora a irradiação solar global possa ser medida por piranômetros, existem diversos métodos para sua estimativa, sendo o modelo empírico proposto por Angstron (1924) e modificado por Prescott (1940) o mais utilizado. Dantas *et al.*, (2000) determinaram **a** e **b** em Cabaceiras-PB e Belém do Brejo do Cruz-PB da ordem de 0,28 e 0,38 e 0,22 e 0,46 respectivamente, e que, a razão entre as irradiações solar global à superfície e no topo da atmosfera foi mínima no segundo semestre do ano nas referidas localidades.

Considerando-se que os dados de irradiação solar são muito importantes à diversas aplicações, e que o alto custo na aquisição e manutenção dos instrumentos que medem as componentes da irradiação solar fazem com que a mesma não seja observada de forma contínua nas estações meteorológicas, muitos pesquisadores, na tentativa de obterem informações sobre a irradiação solar incidente na superfície terrestre, nas formas direta e difusa, têm desenvolvido relações estatísticas para estimar tais componentes (Jeter e Balaros, 1990).

A atmosfera tropical é caracterizada pela presença, muito freqüente, de cúmulos rasos (não-precipitantes). Esse tipo de convecção exerce um papel fundamental nos balanços de energia e de umidade da atmosfera tanto através dos transportes de calor e umidade associados aos movimentos verticais induzidos pela convecção quanto através dos efeitos radiativos em onda longa e curta exercidos pelas nuvens. Devido ao fato de ser um processo intermediário entre a camada limite planetária e a atmosfera livre, a atividade dos cúmulos rasos está sujeita a vários mecanismos de retroalimentação, que podem ser positivos ou negativos para a configuração do perfil de estabilidade local, com fortes implicações na dinâmica da circulação atmosférica (Souza e Dias, 2004).

Stull (1985) enumerou alguns desses mecanismos: a *retroalimentação dinâmica* implica que o movimento ascendente dentro da nuvem transporta uma perturbação negativa de entalpia e o movimento descendente, na periferia dos cúmulos, transporta uma perturbação positiva de entalpia. A *retroalimentação termodinâmica* implica em aquecimento, devido à condensação, na região inferior da nuvem e resfriamento evaporativo na parte superior. A *retroalimentação radiativa* implica em aquecimento na base, devido à absorção de radiação de onda longa, e resfriamento no topo, devido à emissão.

Há várias alternativas para a incorporação desses efeitos, através de parametrização, em modelos numéricos (Betts e Miller, 1986; Tiedtke, 1989). Para o caso da radiação solar, o efeito mais importante é a atenuação da radiação que atinge a superfície. Souza e Silva (2003) mostraram que grande parte da interação entre convecção rasa e convecção profunda está relacionada com o balanço de energia à superfície.

O balanço de energia à superfície é fundamental para a configuração do perfil termodinâmico da atmosfera. Segundo Betts *et al.*,(1996), a forma como a energia é

disponibilizada e distribuída entre calor latente e calor sensível, provenientes da superfície, constitui-se em uma importante fonte de erro em simulações numéricas de tempo e clima. Quando a energia solar é absorvida em excesso na superfície, a razão de Bowen tende a diminuir no primeiro momento com uma grande secagem do solo.

Souza (1999) propôs uma parametrização de cúmulos rasos, capaz de simular o ciclo diurno da convecção não-precipitante e sua interação com a superfície. A implementação do esquema no modelo RAMS levou a uma melhor configuração dos perfis termodinâmicos em simulações para a estação seca na Amazônia. Entretanto, o modelo não representa a interação dos cúmulos rasos com a radiação solar. Não obstante, espera-se que a atenuação da radiação solar devida a esse tipo de convecção, que pode superar 60 % de cobertura (Wetzel *et al.*, 1996), seja de grande importância para a obtenção de simulações mais realistas.

É reconhecida a importância da regionalização da irradiação solar para fins agrícolas, de geração não-convencional de energia e de estudos climatológicos; todavia, séries temporais extensas de medidas no Brasil e na América do Sul são escassas ou pouco difundidas. Contribuíram para isso as dificuldades de manutenção e processamento de dados de estações actinográficas. Algumas instituições dispõem de séries locais num período extenso (por exemplo, o IAG/USP), mas devem ser consideradas exceções. Estimativas de radiação solar em escala nacional foram publicadas nas décadas de 1970 e 1980, avaliadas com base em ajustes estatísticos entre actinógrafos relativamente escassos e heliógrafos, o que permitia uma extensão em escala nacional baseada em dados de heliógrafo (Nunes *et al.*, 1978).

A partir de 1970-75, registrou-se um esforço considerável na instalação de actinógrafos Fuess na Rede Climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (particularmente no Nordeste). Cinco anos de actinogramas (planimetrados) e heliogramas (lidos)

foram processados na Universidade Federal da Paraíba, para um Atlas preliminar do Nordeste (Azevedo *et al.*, 1981). Séries temporais posteriores ainda não foram publicadas. Nos anos 80, a rede climatológica integrou em torno de duas dezenas de piranômetros (com integração diária automática). Recentemente, um considerável esforço de compilação de dados nacionais pela Universidade Federal de Pernambuco gerou um Atlas nacional (Tiba e Freidenreich, 2002).

Na década de 1990 multiplicaram-se as estações automáticas (plataformas coletoras de dados, ou “PCDs”) com retransmissão de dados por via telefônica ou por satélite, algumas delas incluindo piranômetros (Caramori *et al.*, 2002). Dois exemplos do uso de satélites como retransmissores de dados solarimétricos são os da rede do IAPAR, Paraná (38 estações, satélite GOES) e do Programa de Monitoramento de Tempo, Clima e Recursos Hídricos (PMTCRH, MCT; mais de 100 estações utilizando os satélites brasileiros SCD e CBERS. As modernas redes automáticas permitem monitorar irradiação solar com frequência diária e alta definição temporal, mas sua multiplicação está limitada pelo seu custo elevado. As imagens de satélite em alta resolução permitem estimar radiação solar sobre regiões extensas e em locais isolados em que estações solarimétricas não poderiam ser instaladas).

Os primeiros modelos de estimativa por satélite são de final da década de 1970 (Tarpley, 1979), propondo relações de ajuste estatístico entre sinal de satélite (para radiação refletida no espectro visível) e “verdade terrestre”. A partir de 1980 multiplicaram-se as propostas de modelos “físicos”. Estes utilizam as leis de propagação da radiação, combinadas com alguns parâmetros termodinâmicos da atmosfera, permitindo estimar a irradiância à superfície a partir da refletância observada por satélite. Um dos modelos mais referenciados é o de Gautier *et al.*, (1980). Uma primeira aplicação no Brasil foi comunicada por Arai e Almeida (1982). Na década de 1990, a recepção operacional de imagens de satélites no Brasil permitiu

que pesquisadores locais desenvolvessem sua aplicação efetiva com modelos que usam os canais visível e infravermelho dos satélites GOES ou Meteosat (Pereira *et al.*, 1996; Ceballos e Moura, 1997; INMET/LABSOLAR, 1998; Ceballos *et al.*, 2004). O CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - roda operacionalmente o modelo GL (versão 1.2) baseado em imagens GOES onde a distribuição de irradiância média sobre a América do Sul.

A radiação solar ao penetrar na atmosfera sofre uma série de processos, provocando várias modificações, pois uma grande parte da radiação incidente é refletida pelas nuvens e difusamente espalhada pela atmosfera (Galvão e Fisch, 2000). As outras perdas são referentes à absorção de parte dessa radiação incidente pelos gases suspensos na atmosfera como o vapor d'água, ozônio e dióxido de carbono (Teixeira *et al.*, 2004).

Segundo Vianello e Alves (2000), o processo de absorção, por outro lado, ocorre quando a soma da energia espalhada com a energia transmitida é menor que a energia incidente. A energia absorvida, causadora dessa diferença, pode alterar a temperatura, a composição química e inúmeras outras propriedades da partícula.

A radiação solar pode ser difusa ou direta. A radiação difusa varia com o ângulo zenital do sol e sua estimativa é bastante complexa, apesar disso, costuma-se considerar que, para dias de céu claro, esta contribua com cerca de 15% do total de radiação que chega à superfície. Já a radiação solar direta consiste na parcela da energia radiante incidente no topo da atmosfera e que chega diretamente à superfície terrestre (Barcellos *et al.*, 2004).

A radiação solar é de fundamental importância para a vida, sendo responsável pelo crescimento das plantas, por processos biológicos de animais e inclusive afetando a vida do homem, pelas variações climáticas. Atualmente, com a diminuição da demanda de recursos naturais energéticos a energia solar tornou-se importante como alternativa como produção de

energia renovável, energia limpa e sem poluição. A variação na taxa de radiação solar que chega a Terra, depende da cobertura de nuvens. Nos dias de céu claro, o total de radiação de ondas curtas incidente é composto por duas partes: a radiação solar direta e a radiação difusa, cuja soma é chamada de radiação solar global (WMO, 1981). Na presença de nebulosidade, o fluxo radiante pode variar, se a nebulosidade é parcial e o sol não é totalmente encoberto, então, o fluxo da radiação global é maior do que naqueles dias com céu claro. No caso de nebulosidade total, o fluxo da radiação global é sempre bem menor do que aquele de um dia de céu sem nuvens (Duffie e Beckman, 1980). Dessa maneira a atuação de sistemas sinóticos, a inclinação dos raios do sol (que dependem da estação do ano) são diretamente responsáveis pela mudança nas taxas de radiação solar que chegam a superfície terrestre (Acosta *et al.*, 2003).

O sol é a principal fonte de energia responsável pelos processos naturais que ocorrem na superfície da Terra. A variação angular do sol determina a quantidade de energia disponível para uma determinada região, provocando um aquecimento que produz movimentos de escalas distintas, caracterizando o clima. A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre é absorvida e armazenada pela mesma, posteriormente devolvida para a atmosfera, aquecendo-a. Essa transferência de energia é uma das mais importantes interações entre a biosfera e a atmosfera. A quantidade de energia disponível na superfície da Terra, resultado da diferença entre os ganhos (fluxos descendentes) e as perdas (fluxos ascendentes) radiativas, denomina-se Saldo de Radiação ( $R_n$ ). Essa fonte de energia é responsável por diversos processos físicos e/ou biológicos que ocorrem na superfície terrestre, entre os quais: fotossíntese, aquecimento do ar (calor sensível), aquecimento do solo, além de participar de maneira indireta em outros processos naturais (Albuquerque *et al.*, 2003).

O estudo da interação da radiação solar com uma superfície vegetada, ainda é um campo de estudo relativamente novo e complexo, o qual exige o entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que ocorrem em uma área vegetada (Moura *et al.*, 2000). O desmatamento, que ocorre via queimadas, põe em questionamento o equilíbrio do sistema natural, sob o aspecto hidrometeorológico e biogeoquímico (Moura e Manzi, 2001).

Algumas informações meteorológicas são geralmente utilizadas em estudos sobre rendimento das culturas, modelagem de sistemas agrícolas, análises agroambientais e estudos hidrológicos. Entre estas informações a radiação solar é uma das mais importantes. A radiação solar constitui-se um fator determinante para o crescimento das plantas, sobretudo através de seus efeitos sobre a fotossíntese e a transpiração (Raven, 1969).

A quantidade de energia luminosa disponível para as espécies pode variar de diferentes maneiras, pois a radiação que chega a superfície da terra não é constante e depende da latitude, período do ano e das condições atmosféricas. Apesar da importância da medida da radiação solar, o número de estações que procedem o seu registro diário na superfície terrestre é muito restrito, quando comparado com o número daquelas que registram a temperatura e a precipitação (Thornton e Running, 1999). Esta escassez impõe a necessidade de se buscar alternativas para a estimativa da radiação solar através de dados climáticos facilmente medidos (Ferronato *et al.*, 2003).

Bristow e Campbell (1984) demonstraram a relação entre a temperatura diária do ar com a radiação solar incidente na superfície. Eles elaboraram um modelo que vem sendo empregado em diversos estudos e já sofreu algumas modificações, tal como a introdução de correção do efeito estacional tipicamente registrado em latitudes temperadas, e também um outro fator de correção geral para efeitos estacionais típicos de latitudes tropicais.

A irradiação solar global condiciona a evaporação da água em superfícies líquidas e de solo úmido e é necessária para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Embora a mesma possa ser medida por radiômetros ou piranômetros, existem diversos métodos para sua estimativa, sendo o modelo empírico proposto por Angstron (1924) e modificado por Prescott (1940) o mais utilizado. O alto custo na aquisição e manutenção dos instrumentos que medem as componentes da irradiação solar fazem com que a mesma não seja observada de forma contínua nas estações meteorológicas (Menezes *et al.*, 2003).

## **2.5. Evapotranspiração**

Inúmeros são as publicações que aborda aspectos ligados a *Evapotranspiração* [Penman (1948, 1956), Thornthwaite (1948), Fontana (1992), Bouchet (1963), Matzenauer (1992), Doorenbos & Kassam (1994) e outros].

A evapotranspiração é a transferência da água das superfícies cultivadas para a atmosfera e é controlada pela disponibilidade de energia e pelo suprimento hídrico do solo (Penman, 1948, 1956).

Sellers (1985) afirmou que a evapotranspiração é como um processo em que as plantas desempenham um papel ativo e auto-regulador de suas perdas energéticas através das folhas.

Para Matzenauer (1992), a evapotranspiração real (ETR) é a perda de água para a atmosfera, por evaporação e transpiração nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo e pela demanda evaporativa da atmosfera.

Pessoa (1992), definiu a evapotranspiração como o processo combinado de evaporação da água do solo e a transpiração das plantas.

Não é muito fácil obtê-la, devido aos processos físicos envolvidos serem muitos complexos, pois é uma função dos fatores meteorológicos, do solo, a evapotranspiração depende, também, do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura (Lemon *et al.*, 1957).

Chang (1968), diz que quando se despreza a quantidade de água usada nas atividades metabólicas, a evapotranspiração será igual ao consumo de água pelas plantas. Estão associados ao processo de evapotranspiração pelo menos dois conceitos: a evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR).

Thornthwaite (1948), introduziu o conceito de evapotranspiração potencial como sendo a água evaporada de uma superfície totalmente coberta de vegetação rasteira e uniforme sem sofrer deficiência de água. Penman (1948) definiu a evapotranspiração potencial como a quantidade de água evapotranspirada na unidade de tempo de uma pequena superfície gramada, cobrindo o solo uniformemente estando o mesmo sem deficiência de água. A evapotranspiração é um processo complexo que depende da energia solar e da reserva hídrica do solo em menor grau, e em condições difíceis de se avaliar, a natureza e as características da cobertura vegetal e pedológicas do solo (Maltez *et al.*, 1986).

Por mais de uma década foi adotado pela FAO (*Food and Agriculture Organization*) o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência proposta por Doorenbos e Pruitt (1977), Allen *et al.*, (1989), comparando a evapotranspiração de referência obtida pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que melhor se ajustou as medições diárias e mensais. Concluíram que a alfafa se ajusta melhor que a grama como cultura padrão na determinação da evapotranspiração de referência, visto que sua altura e rugosidade se aproximam

da maioria das culturas agrícolas. A calibração da equação de Penman provocou vários problemas na definição da cultura de referência. Alguns pesquisadores argumentaram que as variedades de grama e suas características morfológicas não são padronizadas para diferentes condições climáticas e a alfafa apresenta problemas de variedade e manejo (Allen *et al.*, 1994a).

Reconhecendo a necessidade de adoção de um único método para representar e definir a evapotranspiração de referência, em 1990 a FAO e a ICID (*International Commission on Irrigation and Drainage*) reuniram uma comissão de especialistas para redefinir o conceito e apresentar uma nova metodologia de cálculo da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Como resultado das discussões, foram introduzidos, na formulação anterior, os valores de  $70 \text{ sm}^{-1}$ , 23% e 12 cm para a resistência estomática, albedo e altura de uma cultura hipotética, respectivamente. Nesse sentido, como o estabelecimento das características dessa cultura, que se aproxima a da grama, adotaram o método de Penman-Monteith como o mais adequado para determinar  $ET_0$ . Segundo Allen *et al.* (1994b) essa cultura foi escolhida porque suas características são mais bem definidas, facilmente adaptada e disponível para validação de novos modelos. Em se tratando de informações importantes versando sobre a  $ET_0$  há inúmeros estudos na literatura que fazem a comparação entre diferentes métodos de estimativa e o modelo padrão da FAO. Alguns estudos mais relevantes são apresentados a seguir.

Chiew *et al.*, (1995) determinaram a evapotranspiração de referência usando dados de 16 estações climatológicas da Austrália, utilizando os métodos de Doorenbos e Pruitt (1977) e de Penman-Monteith. Eles observaram que o método de Doorenbos e Pruitt (1977) sobrestima, em 20-40%, a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith.

Ortega-Farias *et al.*, (1995) verificaram que a evapotranspiração de referência obtida com base no balanço de energia subestima os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith. Michalopoulou e Papaioannou (1991) determinaram  $ET_0$  para 31 localidades da Grécia com base

nos métodos de Penman, Priestley-Taylor e Thornthwaite e verificaram que, para determinações mensais, os modelos de Priestley-Taylor e Thornthwaite sempre subestimam os valores previstos pelo método de Penman-Monteith.

Smith *et al.*, (1996), revisando a metodologia de determinação das necessidades hídricas de culturas, proposta pela FAO, reconheceram a equação de Penman-Monteith como método padrão na determinação da evapotranspiração de referência e de culturas. Além disso, que a mudança na definição de evapotranspiração de referência, proposta por Allen *et al.*, (1994a) para uma cultura hipotética com parâmetros fixos, facilita a calibração do coeficiente de cultura na utilização do manejo da irrigação.

Jensen *et al.*, (1997) calcularam a evapotranspiração de referência em diferentes condições climáticas, com base em vários métodos de determinação, objetivando verificar se o método proposto pela FAO pode ser simplificado sem perda de precisão. Nesse estudo, observaram pequenas diferenças quando utilizaram a temperatura de ponto de orvalho ao invés da temperatura mínima média e que esse procedimento elimina a necessidade de medição da umidade relativa.

Bouchet (1963) afirma que a evapotranspiração real difere da potencial por considerar por um lado, a diferença da cobertura vegetal e por outro lado o solo em condições reais de suprimento de água. As necessidades hídricas das culturas são expressas em termos de evapotranspiração (ET), em mm/dia ou mm/período.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a evapotranspiração real (ETR) será igual a evapotranspiração máxima (E<sub>tm</sub>), quando a água disponível no solo for suficiente e, menor quando a água disponível no solo for limitada.

O meio mais fácil e mais usado de medir a evapotranspiração diretamente é através de lisímetros e tanques evapotranspirômetros. Neles a precisão dos instrumentos depende de como o solo

e a cultura são cultivados no tanque. Porém, apesar da estrutura do instrumento modificar o microclima em todos os aspectos, não nos garante medidas eficientes. Portanto, esses instrumentos não satisfazem as condições de contorno e o solo dificilmente apresenta as mesmas características originais, fornecendo apenas comportamentos muito particulares de transferência de água para a atmosfera. Logo, muitas vezes é mais viável e preciso estimar a evapotranspiração através dos principais parâmetros ambientais reguladores do processo, combinados entre si por diferentes métodos, Knapp (1985).

Amorim Neto *et al.*, (1985) realizaram pesquisa sobre os métodos mais utilizados na determinação da evapotranspiração de referência para regiões semi-áridas. Concluíram que os mais adequados para serem utilizados em períodos mínimo de dez dias, por ordem de importância são os de Benavides e Lopes, Linacre, Tanque Classe A e Penman-Monteith.

O fator de conversão de evaporação medida no tanque classe "A" para evapotranspiração, é chamado coeficiente de tanque ( $K_p$ ), que segundo Jensen *et al.*, (1990), é função da umidade relativa, da velocidade do vento, e do local em que o tanque está exposto, possuindo ainda uma certa interação com a radiação incidente.

Pereira *et al.*, (1995) ressaltaram que o uso dos dados da evaporação do tanque Classe "A" é uma ferramenta bastante prática na estimativa da evapotranspiração de referência, desde que sejam adequadamente calibrados, e definem um modelo para  $K_p$ .

Denmead e McIlroy (1970) compararam valores de evapotranspiração medidos em lisímetros com os obtidos pelo método do balanço de energia, durante vários anos, não encontraram diferença superiores a 0,1 mm/hora, enquanto Rouse e Wilson (1972), usaram o método do balanço de energia como padrão, para aferir a determinação da evaporação diária do solo através do método gravimétrico.

Quando as plantas estão bem supridas de água, a maior parte da energia disponível é utilizada no processo de evapotranspiração (André, 1986; Bergamaschi *et al.*, 1988; Cunha, 1986; Fontana, 1987; Vila Nova, 1973).

Encarnação (1980) obteve bons resultados ao avaliar a evapotranspiração da cultura do feijão. Por meio de um evapotranspirômetro de lençol freático constante, ele verificou que as estimativas de evapotranspiração potencial pelo método do tanque classe "A" forneceu resultados condizentes com os da literatura.

Benincasa (1972), estudando os efeitos hídricos no feijoeiro, concluiu que a evaporação potencial estimada pela fórmula de Penman apresentou valores inferiores aos medidos nos tanques de evaporação Classe A, GGI-300 e Young Screen Pan, tendo seus valores de pêntadas bem próximos aos do tanque padrão de 20 m<sup>2</sup> nas condições em que se desenvolveu a cultura.

Oliveira e Vila Nova (1995), utilizando o método de Penman (1948) e o do balanço hídrico diário no solo, determinaram a evapotranspiração máxima (E<sub>tm</sub>) e a lâmina de irrigação em cinco locais do Paraná em diferentes períodos de semeadura. Encontraram valores médios de E<sub>tm</sub> à 75% de probabilidade de ocorrência entre 2,8 mm/dia a 4,1 mm/dia para o ciclo completo e 3,8 mm/dia a 5,7 mm/dia para o período de florescimento, com lâminas necessárias entre 47% a 87% da E<sub>tm</sub>. No entanto, épocas com menores valores de H sobre E<sub>tm</sub> (<47%) devem apresentar menor risco de fracasso para culturas não irrigadas.

Vila Nova *et al.*, (1996), mostraram que a evapotranspiração máxima de uma cultura é dependente de uma série de fatores biológicos e ambientais, onde o índice de área foliar (IAF) é o mais importante fator biológico, representando o tamanho da superfície evapotranspirante, enquanto que a evaporação do tanque classe A é um indicador da demanda hídrica da atmosfera.

Segundo Dantas (1995), a evapotranspiração consiste numa das maiores preocupações na medição dos parâmetros agrometeorológicos, tendo em vista que a perda d'água da superfície

terrestre tem muita influência no desenvolvimento das culturas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas onde o déficit de água é bem caracterizado, e a irrigação desempenha papel importante na suplementação de água exigida por cada cultura.

Santos *et al.*, (1995) determinaram os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) da alfafa pelos métodos de Penman (1948), Tanque Classe A / FAO e evaporação do Tanque Classe "A". Verificaram que os coeficientes de cultura variam de acordo com o método de cálculo da evapotranspiração de referência para o mesmo estágio fenológico, sendo que os valores calculados pela evaporação do Tanque Classe "A" resultam em coeficientes menores. Além do mais, os  $K_c$ 's estimados pelos três métodos superam os recomendados pela FAO.

Silva *et al.*, (2001) realizaram a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith - FAO/56, Hargreaves e Tanque "Classe A" com dados da estação climatológica de Campina Grande, PB. Foram utilizados os dados das temperaturas máxima e mínima do ar, insolação e velocidade do vento. Desse estudo, eles concluíram que a evapotranspiração obtida pelo método de Penman-Monteith superestima os valores obtidos pelo método de Hargreaves em períodos mensais e semanais. Na ausência de variáveis climatológicas necessárias para a aplicação do modelo da FAO, a equação de Hargreaves pode ser utilizada com precisão na estimativa da evapotranspiração de referência. Concluíram, ainda, que a estimativa da evapotranspiração com base no Tanque "Classe A" deve ser realizada com cautela.

Silva *et al.*, (2002) desenvolveram programa computacional de estimativa da evapotranspiração de referência diária, com base no método de Penman-Monteith (FAO/56). Esse "software" foi desenvolvido em linguagem computacional *Delphi*, que validado com os valores de evapotranspiração obtidos com o modelo da FAO (CROPWAT) apresentou estimativas semelhantes. Também nessa linha de pesquisa, Naoum e Tsanis (2003) apresentaram "software" de estimativa da evapotranspiração com base nos métodos de Penman-Monteith e do Tanque "Classe

A". Segundo os autores, o modelo proposto oferece melhor entendimento da variabilidade espacial da evapotranspiração e que o método do Tanque "Classe A" oferece estimativas menores do que o de Penman-Monteith.

Oliveira e Volpe (2003) comparam estimativas de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região de Jaboticabal-SP pelos métodos de Penman e Penman-Monteith (FAO), em períodos seco e úmido, utilizando dados de estações meteorológicas convencional e automática. A análise dos resultados foi realizada no pacote estatístico SAS (1990), para o período diário (julho/1997 a junho/2002), utilizando o modelo linear  $y = a + bx$ . Eles verificaram que não houve uma tendência de superioridade nas estimativas da ET<sub>o</sub> para os métodos Penman e Penman-Monteith, independentes do período analisado e da fonte de dados utilizados.

Junior *et al.*, (2005) avaliaram o desempenho dos métodos de Priestley-Taylor e Thornthwaite para estimativa de ET<sub>o</sub> na escala decenal para as condições de Teresina-PI, em comparação à equação de Penman-Monteith (padrão FAO-1998). Foi verificado que o método de Thornthwaite apresentou baixo coeficiente de determinação e que o método de Priestley-Taylor pode ser utilizado para estimativa de ET<sub>o</sub> na escala decenal apresentando assim um alto índice de determinação. Mesmo tendo observado o melhor desempenho do método de Priestley-Taylor, o mesmo ressaltou que a escala decenal nem sempre é adequada para manejo da irrigação, sendo dependente das características da cultura, ou seja, as culturas mais sensíveis ao estresse hídrico devem ter seu manejo de irrigação baseado na escala diária.

Sousa *et al.*, (2005), com base nos dados da região Nordeste do Brasil, aplicou uma técnica estatística multivariada denominada de Análise de Componente Principais (ACP) e identificou quais variáveis meteorológicas (temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, precipitação, umidade relativa do ar, evaporação à superfície, insolação e velocidade do vento a superfície) apresentou maior influência no processo de Evapotranspiração (ET) na região. Esta análise indicou que as variáveis climatológicas investigadas com maior representatividade foram: precipitação, umidade relativa do ar,

evaporação à superfície e velocidade do vento a superfície; enquanto a temperatura mínima do ar apresentou menor influência para a região Nordeste do Brasil.

Martins *et al.*, (2005), estimou e comparou dados do ano de 2003 da ETo fornecida por uma Estação Meteorológica Automática (EMA) com uma Estação Meteorológica Convencional (EMC) da Escola Superior de Agricultura de Mossoró –ESAM - Rio Grande do Norte. Ele observou uma melhor resposta na estimativa de ETo na EMA quando utilizou as equações de regressão obtidas de dados mensais.

Embora exista uma quantidade razoável de estudos sobre a evapotranspiração, o desenvolvimento de novas variedades modificadas geneticamente, ou por técnicas clássicas, a ciência requer a atualização contínua desse importante tema na área ambiental. Além disso, muito há de ser feito para que a prática da irrigação ocorra de forma sustentável. O desenvolvimento de tecnologias de informática, aliadas a estudos agrometeorológicos, representa uma contribuição importante para que, efetivamente, ocorra a sustentabilidade dos recursos hídricos de qualquer região.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Os valores diários das temperaturas, umidade relativa do ar, irradiação solar, precipitação, pressão e velocidade do vento a 2m foram coletados da Estação Meteorológica Automática acoplada ao Datalogger modelo CR23X da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas instalada na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizada no município de Campina Grande-PB (7°14'S, 35°54'W e 551m) no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2004. Tais valores foram registrados no intervalo de 10 minutos.

Usando a planilha do Excel digitou-se esses valores e estimou-se, por estação do ano, a Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) pelos métodos empíricos citados a seguir.

#### **3.1. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência**

##### *3.1.1. Método de Penman-Monteith (ET<sub>o</sub>PM)*

Na estimativa da evapotranspiração pelo método da FAO Penman-Monteith considera-se a resistência estomática de 70 sm<sup>-1</sup> e a altura da cultura hipotética fixada em 0,12m, pela equação (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + g \left( \frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_0)}{\Delta + g(1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Em que  $ET_0$  ( $\text{mmdia}^{-1}$ )  $R_n$  (saldo de radiação) e  $G$  (densidade do fluxo de calor no solo) são expressos em  $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ ,  $\Delta$  é a declinação da curva de saturação do vapor da água ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ) e  $U_2$  é a velocidade do vento (média diária) a 2m acima da superfície do solo ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $T$  é a temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ),  $e_s$  é a pressão de saturação do vapor ( $\text{kPa}$ ),  $e_a$  é a pressão real do vapor ( $\text{kPa}$ ) e  $g$  é o fator psicométrico ( $\text{MJkg}^{-1}$ ).

A seguir é apresentado o procedimento de cálculo de todas as variáveis da equação (1), de acordo com o Boletim 56/FAO (Allen *et al.*, 1998), para obtenção da evapotranspiração de referência, com base em dados climatológicos, tais como: temperaturas máxima e mínima, insolação, umidade relativa e velocidade do vento.

**a)**  $\Delta$  (declinação da curva de saturação do vapor da água)

$$\Delta = \frac{4098 \cdot \left[ 0,6108 \cdot \exp \left( \frac{17,27 \cdot T_{méd}}{T_{méd} + 237,3} \right) \right]}{(T_{méd} + 237,3)^2} \quad (2)$$

em que:

$T_{méd}$  é a temperatura média do ar, obtida por:

$$T_{méd} = \frac{\sum T}{144} \quad (3)$$

Onde  $T$  foi medido no intervalo de 10 minutos durante um dia e que:

$T_{méd}$  - em  $^\circ\text{C}$

$\Delta$  - em  $\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$

**b)**  $e^0(T_x)$  (pressão de saturação do vapor com base na temperatura máxima)

$$e^0(T_x) = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T_x}{T_x + 237,3}\right) \quad (4)$$

em que:

$T_x$  - temperatura máxima em °C

$e^0(T_x)$  - expressa em kPa

c)  $e^0(T_i)$  (pressão de saturação do vapor com base na temperatura mínima)

$$e^0(T_i) = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T_i}{T_i + 237,3}\right) \quad (5)$$

em que:

$T_i$  - temperatura mínima em °C

$e^0(T_i)$  - expressa em kPa

d)  $e_a$  (pressão real do vapor)

$$e_a = 0,611 \exp\left(\frac{17,27T_d}{T_d + 237,3}\right) \quad (6)$$

em que:

$T_d$  - temperatura ponto de orvalho em °C expresso por Tetens (1930):

$$T_d = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{e_s}{6,11}\right)}{17,27 - \ln\left(\frac{e_s}{6,11}\right)} \quad (7)$$

$e_a$  - expressa em kPa

e)  $e_s$  (pressão de saturação do vapor)

$$e_s = \frac{e^0(T_x) + e^0(T_i)}{2} \quad (8)$$

em que:

$e^0(T_x)$  – pressão de saturação do vapor com base na temperatura máxima, expressa em kPa

$e^0(T_i)$  – pressão de saturação do vapor com base na temperatura mínima, expressa em kPa

$e_s$  – pressão de saturação do vapor em kPa

f)  $R_n$  (saldo de radiação)

$$R_n = 0,77 \left( 0,25 + 0,50 \frac{n}{N} \right) R_a - 4,903 \cdot 10^{-9} \left( \frac{T_x^4 + T_i^4}{2} \right) (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left\{ \left[ 1,35 \cdot \left( \frac{0,25 + 0,5 \cdot \frac{n}{N}}{0,76102} \right) \right] - 0,35 \right\}$$

(9)

em que:

$n$  – insolação observada, em horas

$N$  – duração máxima teórica do dia, em horas

$R_a$  – radiação solar no topo da atmosfera, em  $\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$

$e_a$  – pressão real do vapor, em kPa

$T_x$  e  $T_i$  – Temperaturas máximas e mínima, em graus Kelvin

g)  $R_a$  (radiação solar no topo da atmosfera)

$$R_a = 37,6 d_r (w_s \text{ sen } f \text{ sen } \delta + \cos f \cos \delta \text{ sen } v_s) \quad (10)$$

em que:

$d_r$  - distância relativa Terra-Sol

F - latitude, em graus

d - declinação do sol, em graus

$\omega_s$  - ângulo horário correspondente ao nascer do Sol, em radiano

$R_a$  - expresso em  $\text{MJm}^{-2} \text{dia}^{-1}$

**j)  $g$**  (fator psicrométrico)

$$g = 0,00163 \frac{P}{I} \quad (11)$$

em que:

Pressão atmosférica (P) - expresso em kPa

$I$  - expresso em  $\text{MJkg}^{-1}$

**l)  $I$**  (calor latente de vaporização da água)

$$I = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3})T \quad (12)$$

em que:

T - temperatura do ar em  $^{\circ}\text{C}$

$I$  - expresso em  $\text{MJkg}^{-1}$

**m)** Na ausência das medições de P (pressão atmosférica), a mesma foi estimada da seguinte forma:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 Z}{293} \right)^{5,26} \quad (13)$$

Z - altitude em metros

P - expressa em kPa

**n)  $d$**  (declinação do sol)

$$d = \text{sen}^{-1} \left\{ 0,4 \cdot \text{sen} \left[ \left( \frac{360}{365} \right) (J - 82) \right] \right\} \quad (14)$$

em que:

**d** - expresso em graus

J – dia do ano (Juliano)

**o)**  $w_s$  (horário correspondente ao movimento do sol)

$$w_s = \arccos(-tg f tg d) \quad (15)$$

em que:

$w_s$  - expresso em graus

**f** - latitude, em graus

**p)**  $d_r$  (distância relativa Terra-Sol)

$$d_r = 1 + 0,033 \cos(0,0172J) \quad (16)$$

em que:

J - número do dia no ano (calendário Juliano)

**q)** N (insolação máxima teórica)

$$N = 7,64w_s \quad (17)$$

em que:

N - insolação máxima teórica (horas).

**r)** G (Fluxo de calor no solo)

De acordo com Allen *et al.*, (1998) a magnitude do fluxo de calor no solo em períodos diários é relativamente baixa e pode ser desprezada ( $G \cong 0$ ). Já Wright e Jansen (1972) expressam a seguinte fórmula:

$$G = 0,38.(T_{méd} - T_{méd-1}) \quad (18)$$

### 3.1.2. Método de Hargreaves (EToH)

Na ausência dos dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, a evapotranspiração, em mm/dia, pode ser estimada através da seguinte equação (Hargreaves, 1974):

$$ET_0 = 0,0023(T_{med} + 17,8)(T_x - T_i)^{0,5} R_a \quad (19)$$

em que  $T_{med}$ ,  $T_x$  e  $T_i$ , em °C, representam, respectivamente, as temperaturas média, máxima e mínima e  $R_a$  e a radiação solar no topo da atmosfera (mm/dia).

### 3.1.3. Método de Linacre (EToL)

A evapotranspiração de referência pelo método de Linacre, em mm/dia, pode ser obtida em função da altitude, latitude e das temperaturas diárias máxima, mínima e do ponto de orvalho, através da equação (Linacre, 1977):

$$ET_0 = \frac{700 \frac{T_m}{(100 - f)} + 15(T_a - T_d)}{(80 - T_a)} \quad (20)$$

em que:

$$T_m = T_a + 0,006 z;$$

$z$  é a altitude (m);

$T_a$  é a temperatura média do ar (°C);

$f$  a latitude local (graus) e

$T_d$  é a temperatura de ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 3.1.4. Método proposto pelo trabalho (EToT)

Considerando o conhecimento adquirido através da literatura, constata-se que existe uma relação bem próxima entre a evapotranspiração de referência e a amplitude térmica diária. Neste sentido procurou-se identificar esta relação, de modo que, utilizando-se os métodos de estimativa descritos anteriormente e os dados de temperaturas máxima e mínima diários medidos em Campina Grande-PB, foram encontradas as seguintes equações:

$$EToT = 0,885.(T_x - T_i)^{0,696} \quad \text{Equação anual} \quad (21)$$

$$EToT = 3,547.(T_x - T_i)^{0,072} \quad \text{Equação para o verão} \quad (22)$$

$$EToT = 0,881.(T_x - T_i)^{0,68} \quad \text{Equação para o outono} \quad (23)$$

$$EToT = 0,9.(T_x - T_i)^{0,907} \quad \text{Equação para o inverno} \quad (24)$$

$$EToT = 1,118.(T_x - T_i)^{0,609} \quad \text{Equação para a primavera} \quad (25)$$

#### 3.1.5. Correlações entre as estimativas

As correlações entre os métodos de estimativa de evapotranspiração de referência foram realizadas estatisticamente através da equação linear:

$$y = ax + b \quad (26)$$

em que:

y representa a variável dependente.

x representa a variável independente.

a e b são os coeficientes angular e linear da equação linear.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pode ser calculado a partir da equação a seguir:

$$R^2 = \frac{\sum (Y_{est} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \quad (27)$$

onde:

$Y_{est}$  representa a variável estimada

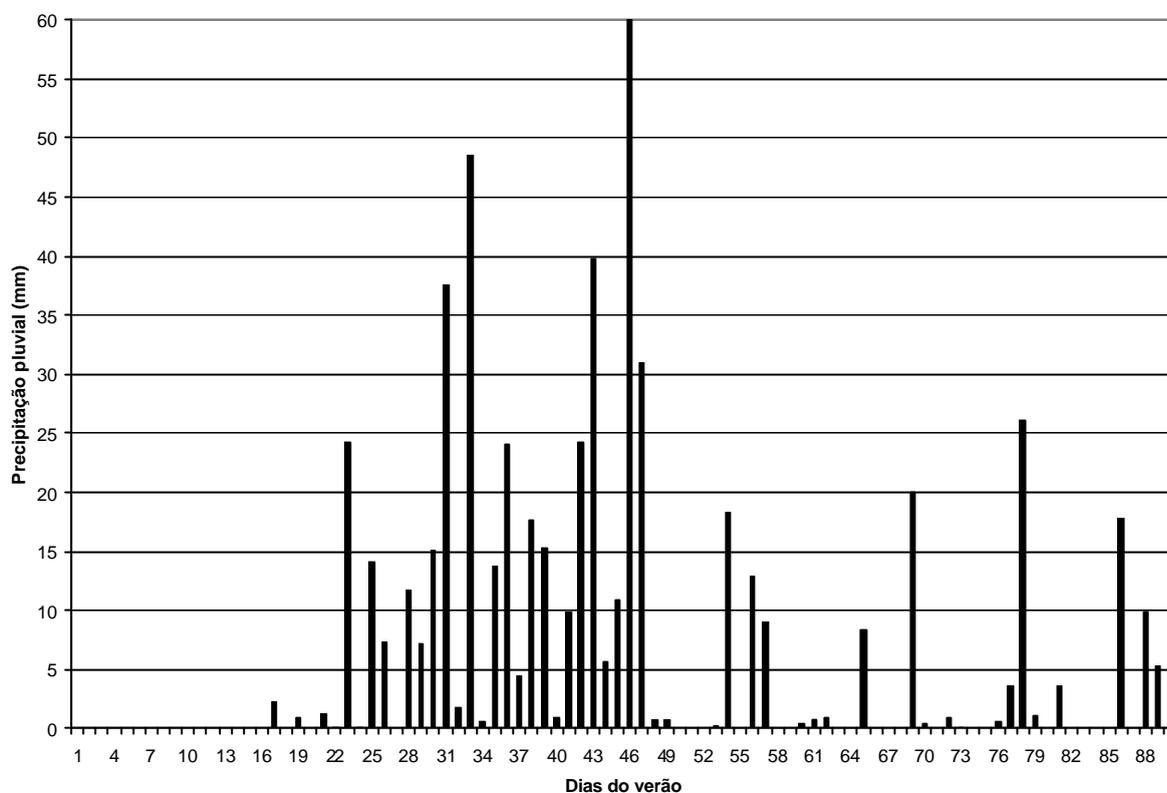
$Y$  representa a variável observada

Assim,  $R^2$  pode ser interpretado como a fração da variação total que é explicada pela reta de regressão da equação linear. Em outras palavras, a variação total dos dados amostrais é toda ela explicada pela reta de regressão, isto é, se  $R^2 = 1$  ou  $R = \pm 1$ , dizemos que há correlação linear perfeita (e, então, também regressão linear perfeita).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Precipitação pluvial**

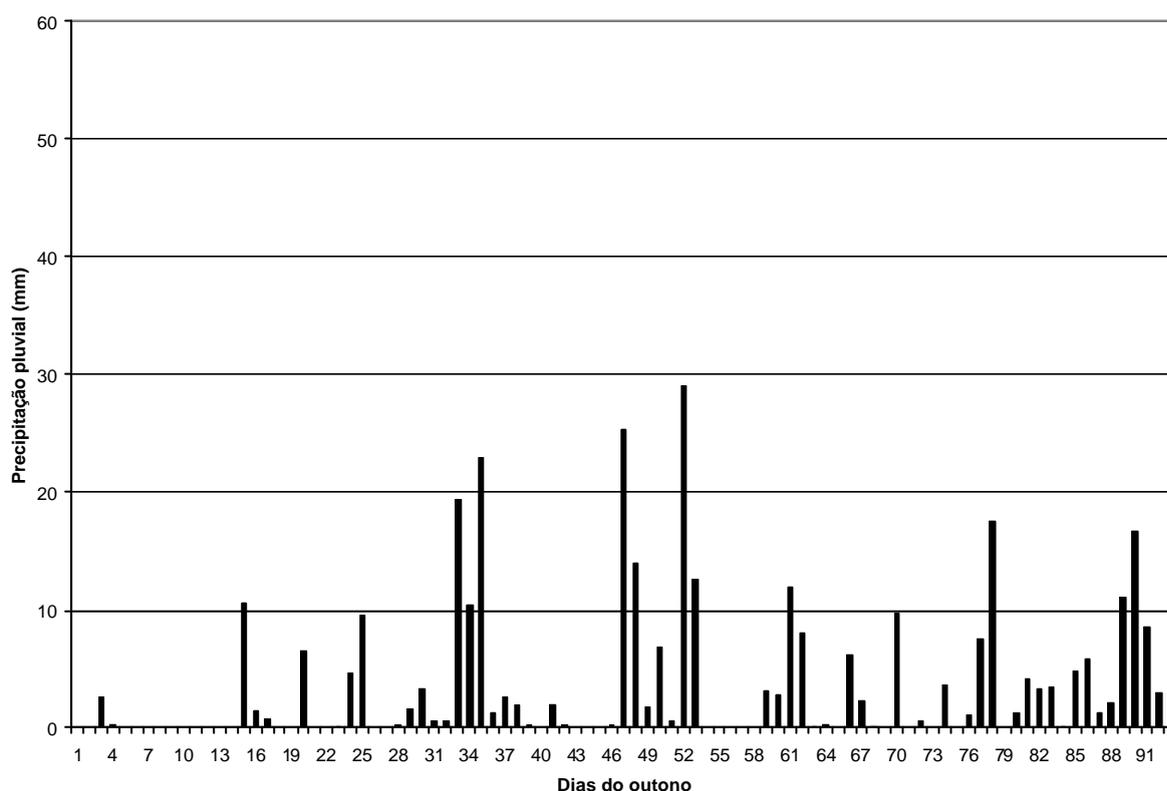
A precipitação pluvial diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB está apresentada na Figura 4a. Na mesma apresentam-se os maiores índices de precipitação pluvial do ano, constatando que este ano foi um ano atípico. Verifica-se que no verão de 2004 choveu praticamente todos os dias dos meses de janeiro e fevereiro, registrando chuva de até 60 mm no dia 4 de fevereiro evidenciando um ano chuvoso. No total esta estação do ano registrou 572,3 mm com o maior pico já registrado durante o ano de 60mm como já foi comentado e média de 7,2 mm. Nesta época, a grande maioria dos dias chuvosos apresentou chuvas, cujo totais foram inferiores a 10mm originados por nuvens do tipo Stratus ou derivados da mesma.



**Figura 4a-** Precipitação pluvial diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB.

A Figura 4b mostra a precipitação pluvial diária durante o outono de 2004 em Campina Grande-PB. Na mesma constata-se que choveu praticamente todo o outono de 2004 em Campina Grande-PB, evidenciando claramente a estação chuvosa de um ano extremamente chuvoso desta localidade, cujo total foi de 337,8 mm em 59 dias com pico de 29 mm no dia 10 de maio e média de 3,6 mm, demonstrando desta forma que, independente do total, o número de dias com precipitação evidencia muito bem a estação chuvosa de Campina Grande. Por outro lado, ainda pode-se constatar que a grande maioria dos dias chuvosos em Campina Grande, nesta época do ano, apresentou chuvas, cujo totais foram também inferiores a 10 mm, ou seja, características esta, associada ao tipo de precipitação intermitente, originadas por nuvens do tipo Stratus ou derivados da mesma.

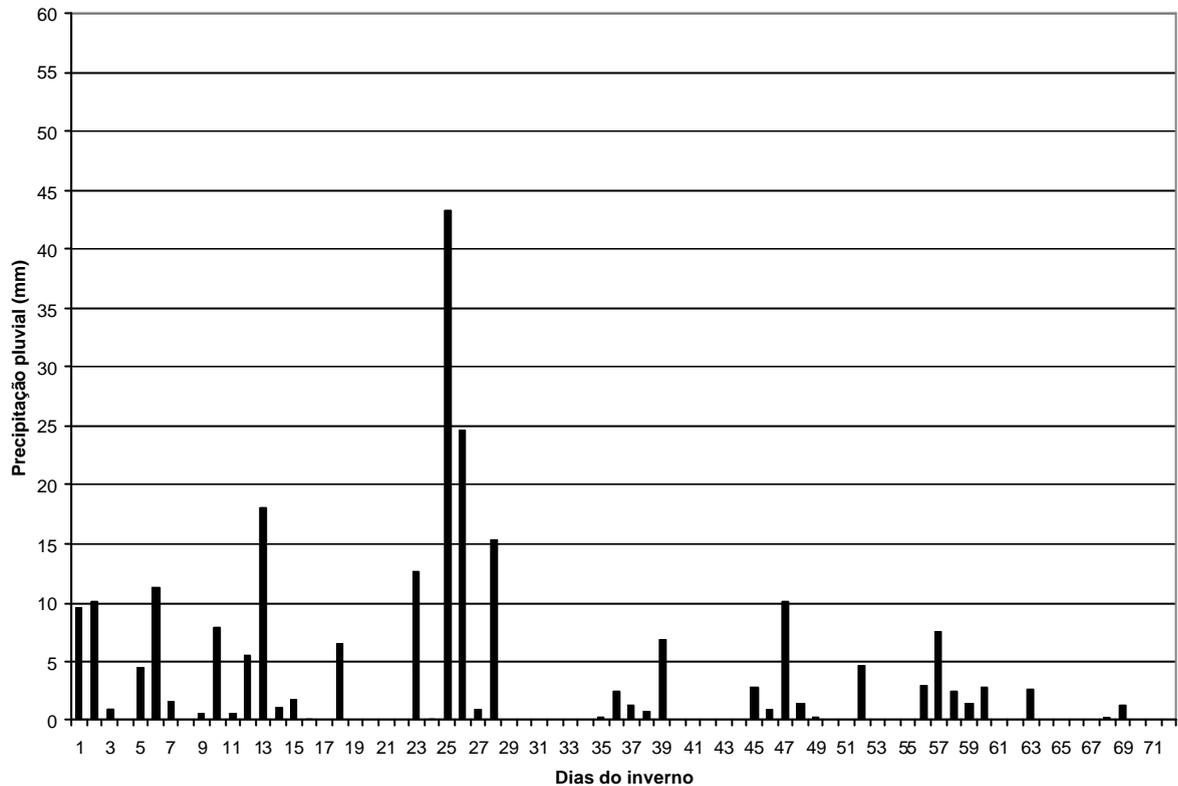
De acordo com Dantas (1998), em João Pessoa, assim como em Campina Grande, a estação chuvosa ocorre nesta estação, ou seja, no outono, de forma que em Campina Grande a mesma estende-se em alguns anos até agosto, e que as chuvas da pré-estação chuvosa são geralmente suficiente para superar a deficiência hídrica.



**Figura 4b-** Precipitação pluviual diária durante o outono de 2004 em Campina Grande-PB.

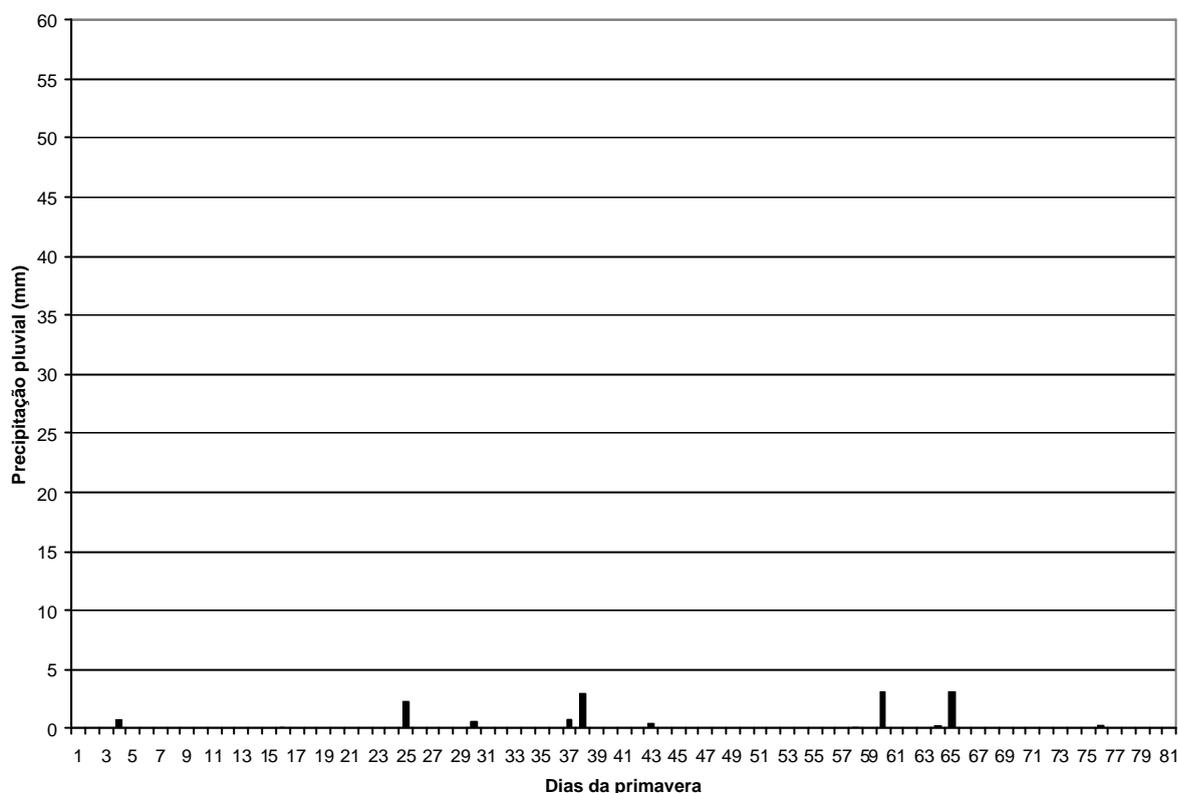
Na Figura 4c encontra-se a precipitação pluviual diária no inverno de 2004 em Campina Grande-PB. Na mesma constata-se que o número de dias que choveu durante a época diminuiu em relação às duas épocas anteriores chovendo no total de 229,8 mm com pico de 43,3 mm no dia 15 de julho e com média de 3,2 mm. Mesmo assim, esta época foi um pouco

semelhante ao outono só que a grande maioria dos dias chuvosos em Campina Grande, nesta época do ano, apresentou chuvas, das quais, o total da precipitação dos dias foi inferior a 5 mm.



**Figura 4c-** Precipitação pluvial diária durante o inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

A Figura 4d apresenta a precipitação pluvial diária na primavera de 2004 em Campina Grande-PB. A Figura mostra claramente que a primavera é a época de estiagem na região onde poucos foram os dias de chuva. No total precipitou 14,7 mm com pico de apenas 3,1 mm no final de novembro e início de dezembro, nos dias 30 e 4, respectivamente, com média de 0,2 mm. Nesta época praticamente, do ponto de vista climatológico, não chove em Campina Grande, e essas chuvas de novembro e dezembro, são denominadas vulgarmente como chuvas do “caju”, e ainda verifica-se que choveu apenas 12 dias nesta estação, o que está de acordo com as condições normais desta localidade.



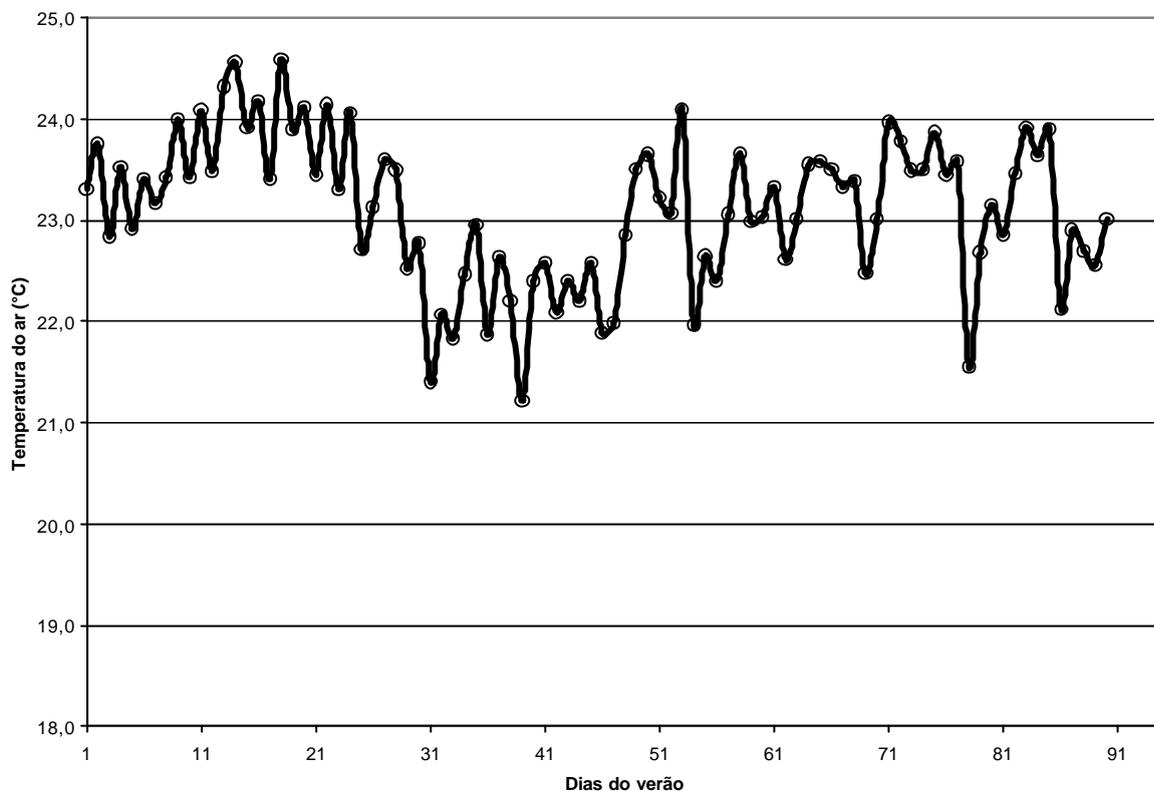
**Figura 4d-** Precipitação pluvial diária durante a primavera de 2004 em Campina Grande-PB.

Estes resultados concordam com Araújo *et al.*(2003), que utilizou dados de precipitação pluvial obtida da série histórica da extinta SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste de 1910-1985 e constatou a ocorrência de dois períodos distintos, um mais chuvoso de abril a julho e outro menos chuvoso de agosto a março. Climatologicamente junho é o mês mais chuvoso, devido a atuação das Ondas de Leste, conseqüentemente aumentando as chuvas na região. O período de maior estiagem foi verificado entre os meses de setembro a janeiro, onde a precipitação pluvial ocorrida seria devido, principalmente, aos efeitos locais. Em relação aos resultados obtidos no estudo dos totais médios mensais e anuais deste trabalho, Araújo *et al.*, (2003) ainda mostraram que entre 1942-1970 a precipitação em Campina

Grande teve um período de chuvas abaixo da média (709,9 mm) em relação à 1911-1941 (799,5 mm) e 1971-2002 (787,6 mm).

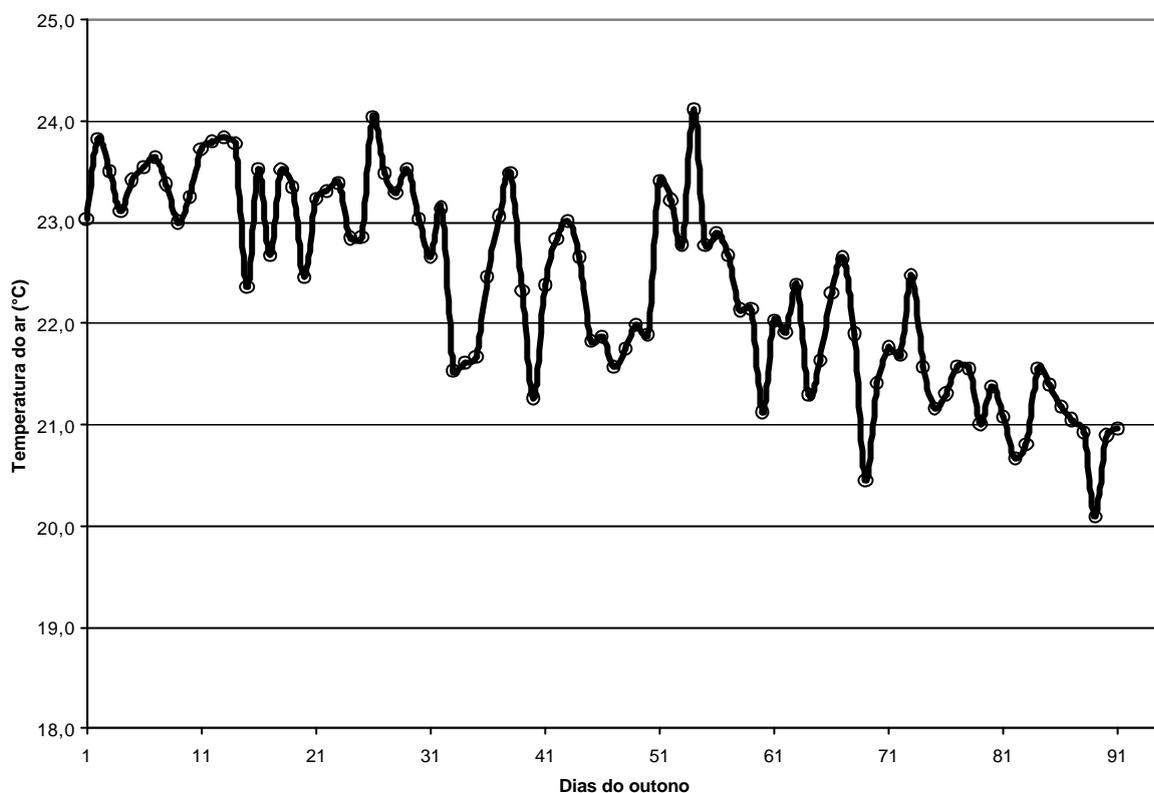
## **4.2. Temperatura**

A Figura 4e mostra a temperatura do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB. A mesma evidencia que nesta época a temperatura do ar variou de 21,2°C a 24,6°C e que os dias mais quentes ocorreram entre os 13 primeiros dias desta estação. Já os dias com menores temperaturas estão entre os primeiros 20 e 30 dias do ano. Temperaturas estas ocasionadas devido às chamadas “chuvas de verão”, considerando também que, neste período, as mesmas foram bem acima do normal. Observa-se que também nesta época nos dias em que as temperaturas foram geralmente iguais ou inferiores a 22°C, as precipitações nestes dias foi superior a 10mm/dia.



**Figura 4e** – Temperatura do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB.

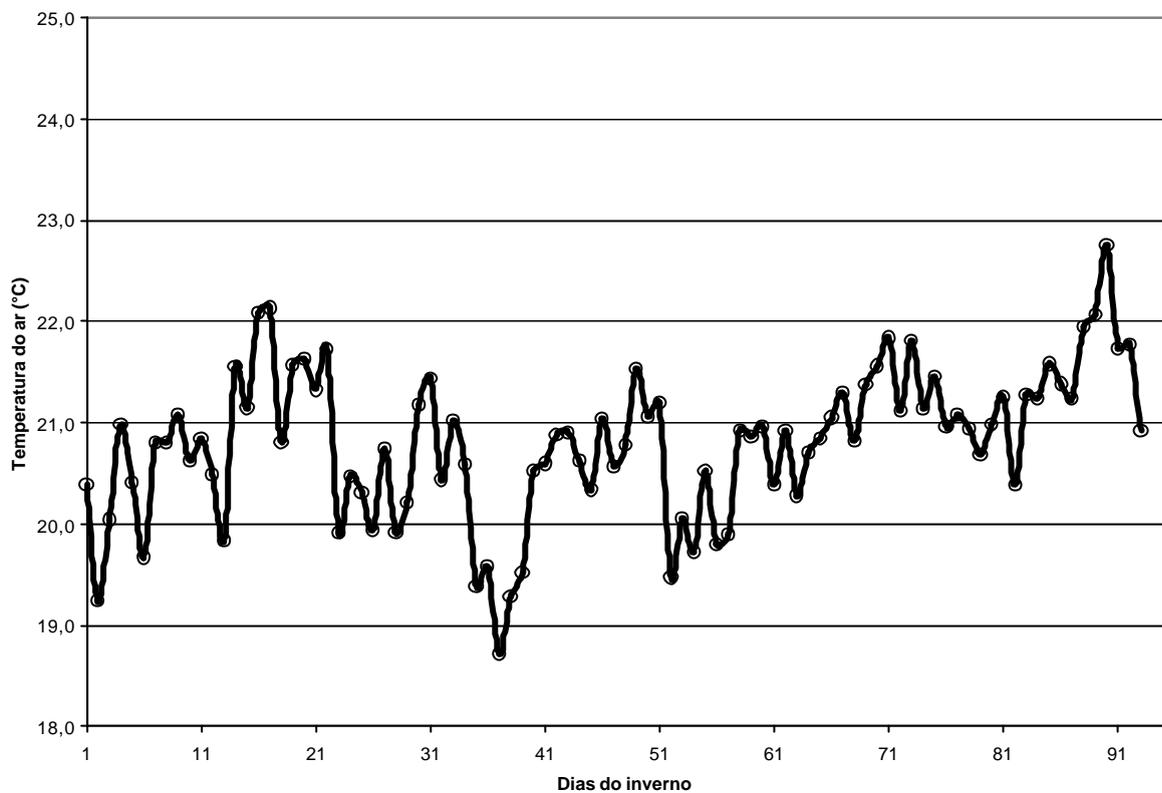
A Figura 4f mostra temperatura do ar no outono de 2004 em Campina Grande-PB. A mesma evidencia que nesta época a temperatura do ar variou de 20,1°C a 24,1°C e que os dias com menores temperaturas ocorreram a partir do 30º dia do outono, isto é, esfriamento este ocasionado em função do início das fortes chuvas que ocorreram na região, neste ano. Vale salientar também que a mínima (20,1°C) ocorreu já no final da estação, ou seja, início praticamente do inverno, mostrando evidentemente decréscimo na temperatura.



**Figura 4f** – Temperatura do ar no outono de 2004 em Campina Grande-PB.

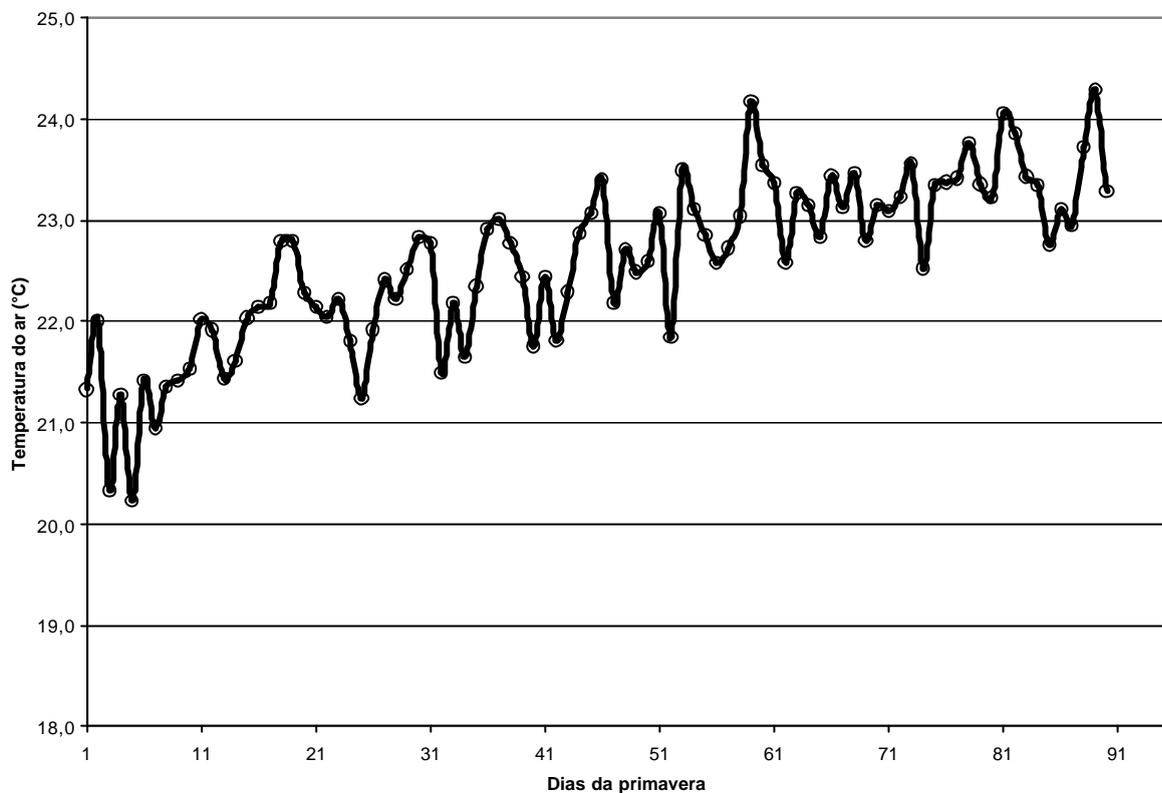
A Figura 4g mostra a temperatura do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

A mesma evidencia que nesta época a temperatura do ar variou de 18,7°C a 22,8°C e que o aquecimento ocorreu a partir do 50º dia de inverno, isto é, aquecimento este ocasionado em função do início da estação mais seca de Campina Grande-PB, ou seja, a primavera, com destaque para o 90º dia da primavera, que a temperatura foi máxima (22,8°C), característica de um dia claro da segunda quinzena de setembro.



**Figura 4g** – Temperatura do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

A Figura 4h mostra a temperatura do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB. A mesma evidência que nesta época a temperatura do ar variou de 20,2°C a 24,3°C e que os dias mais quentes ocorreram a partir do 60º dia da primavera, isto é, aquecimento este ocasionado em função da aproximação do verão. Por outro lado, verifica-se que a tendência da temperatura é aumentar nesta estação na seqüência dos dias, de modo que, em dezembro, os dias se tornaram os mais quentes deste período.



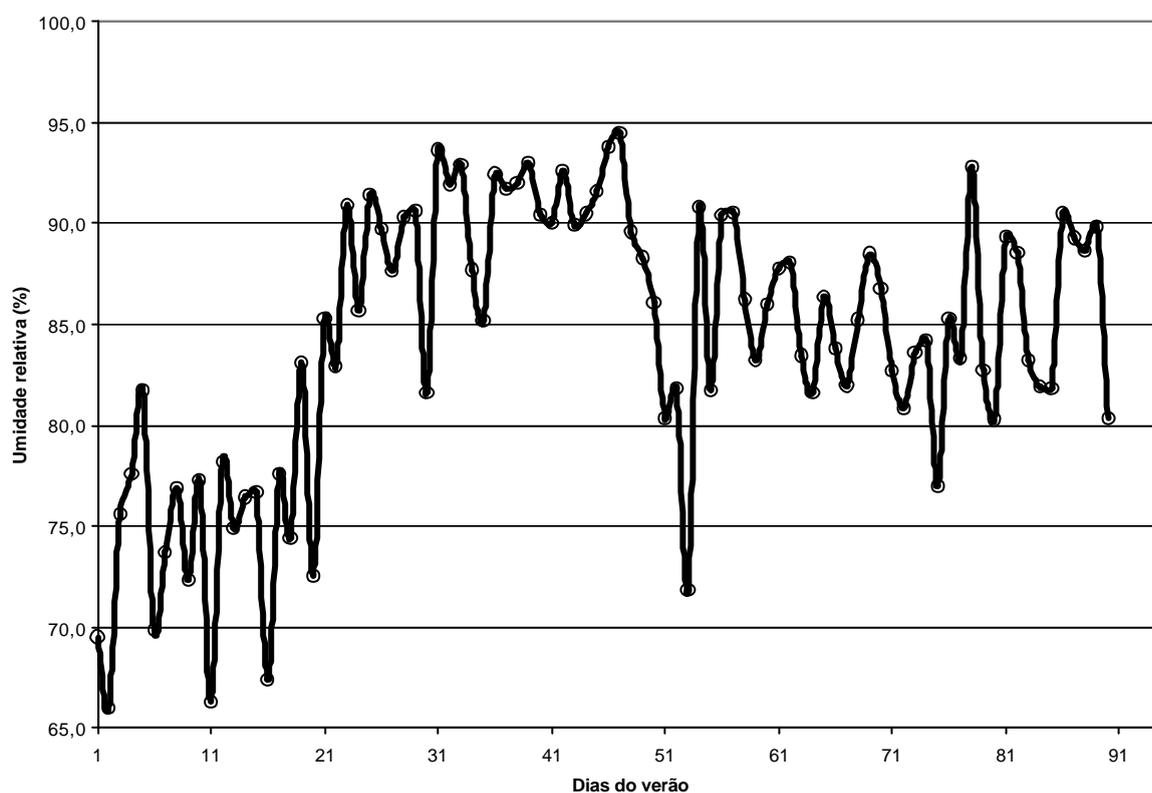
**Figura 4h** – Temperatura do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.

De acordo com Lombardo (1985), a maior quantidade de vegetação implica na mudança do balanço de energia, devido à necessidade das plantas absorverem energia em função de seus processos vitais. Portanto, esta estação oferece as melhores condições energéticas para as plantas, desde que o suprimento de água seja satisfatório.

Assim como Oliveira e Costa (2005) verificaram que a temperatura na área sem arborização foi maior que na área arborizada, ao passo que a umidade específica do ar foi maior na área arborizada. Esses resultados evidenciaram a importância da vegetação na moderação da temperatura do ar e no aumento da umidade do ar.

### 4.3. Umidade relativa do ar

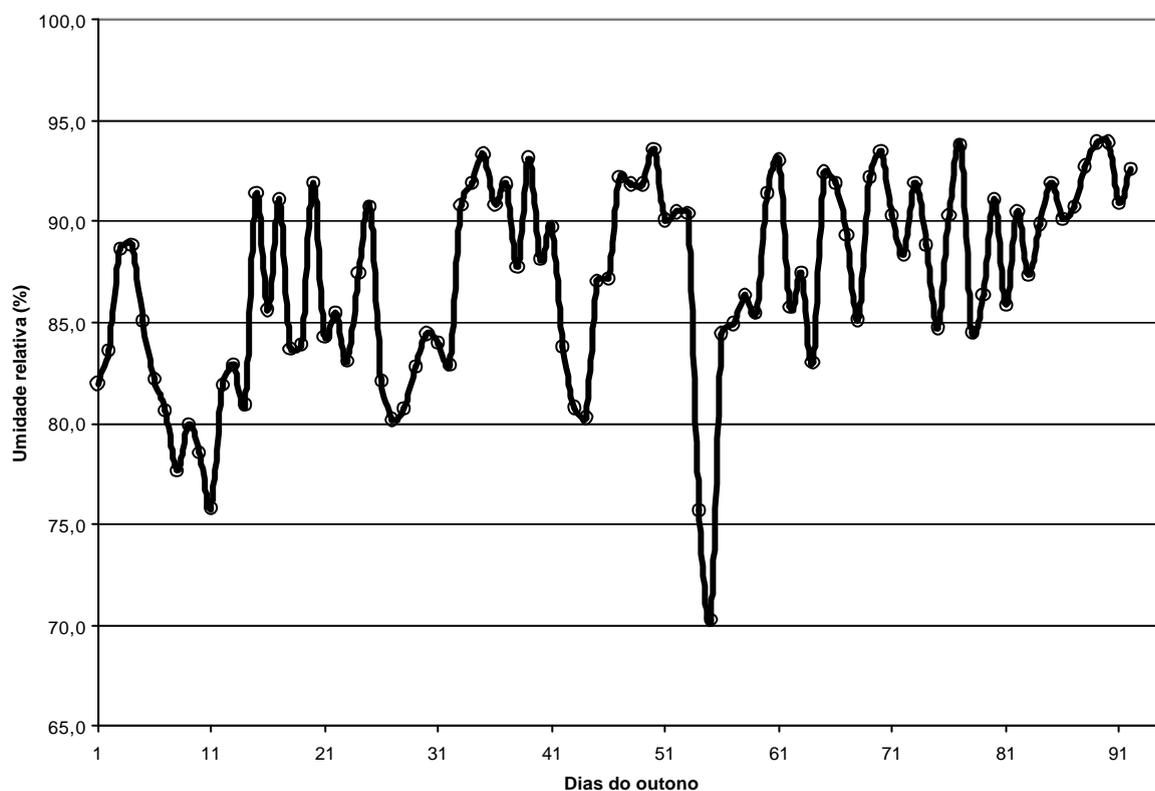
A Figura 4i mostra a umidade relativa do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB. Verifica-se que na figura 4i que o verão de 2004 não foi tão desconfortável assim em termos de estiagem, pois a faixa de umidade variou em maior parte entre 80% a 94%. Isto se deve pelo fato de que as chamadas chuvas de verão apareceram com mais frequência nesta época, principalmente em janeiro de 2004.



**Figura 4i** - Umidade relativa do ar no verão de 2004 em Campina Grande-PB.

Na Figura 4j encontra-se a umidade relativa do ar no outono de 2004 de Campina Grande-PB. Através da mesma, verifica-se que no outono desta cidade a umidade relativa do

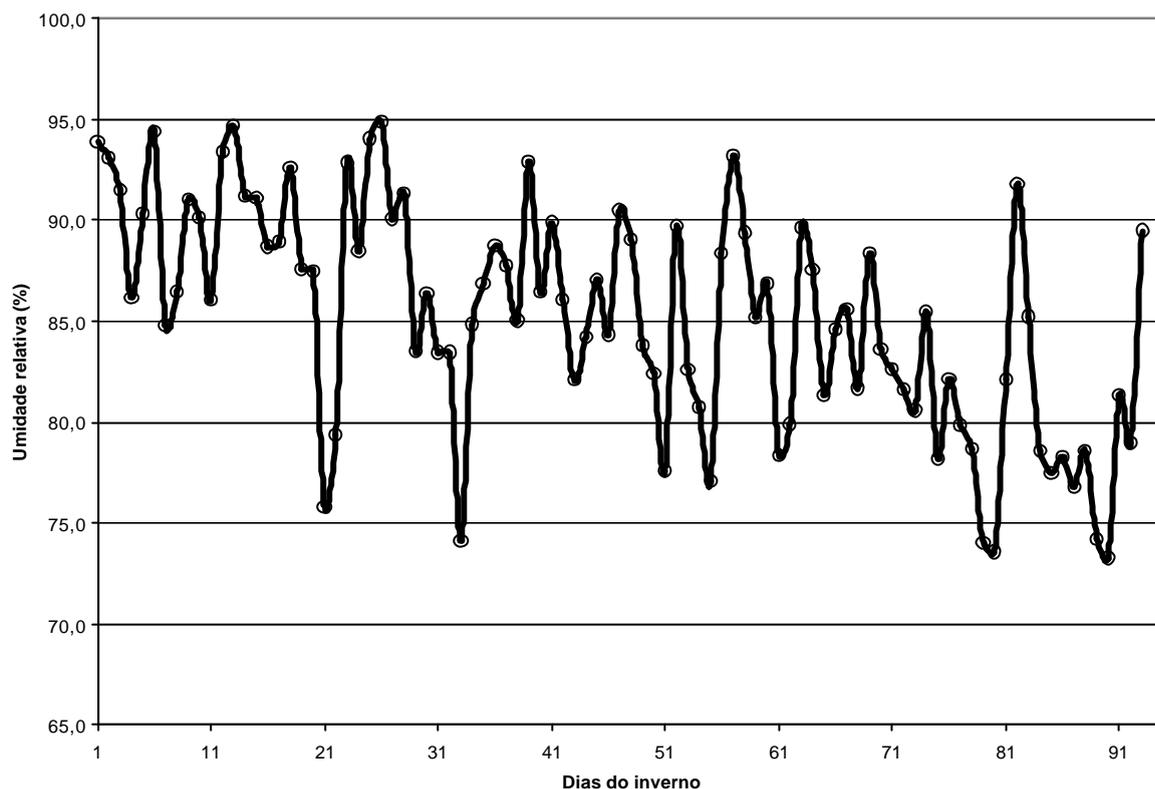
ar foi considerada alta, pois a mesma esteve praticamente acima de 80%, fato este normal para a época do ano, tendo em vista que este período coincide com a estação chuvosa e baixas temperaturas de Campina Grande. Esta característica apresentada nesta Figura 4j está bastante coerente com a precipitação ocorrida nesta mesma época, pois além das duas estarem relacionadas, houve 60 dias de chuva no mesmo período. Da mesma forma, pode-se verificar que os valores de umidade relativa acima ou em torno de 90% estão associados à precipitação naquele dia ou em dias antes ou depois da mesma.



**Figura 4j** - Umidade relativa do ar no outono de 2004 em Campina Grande-PB.

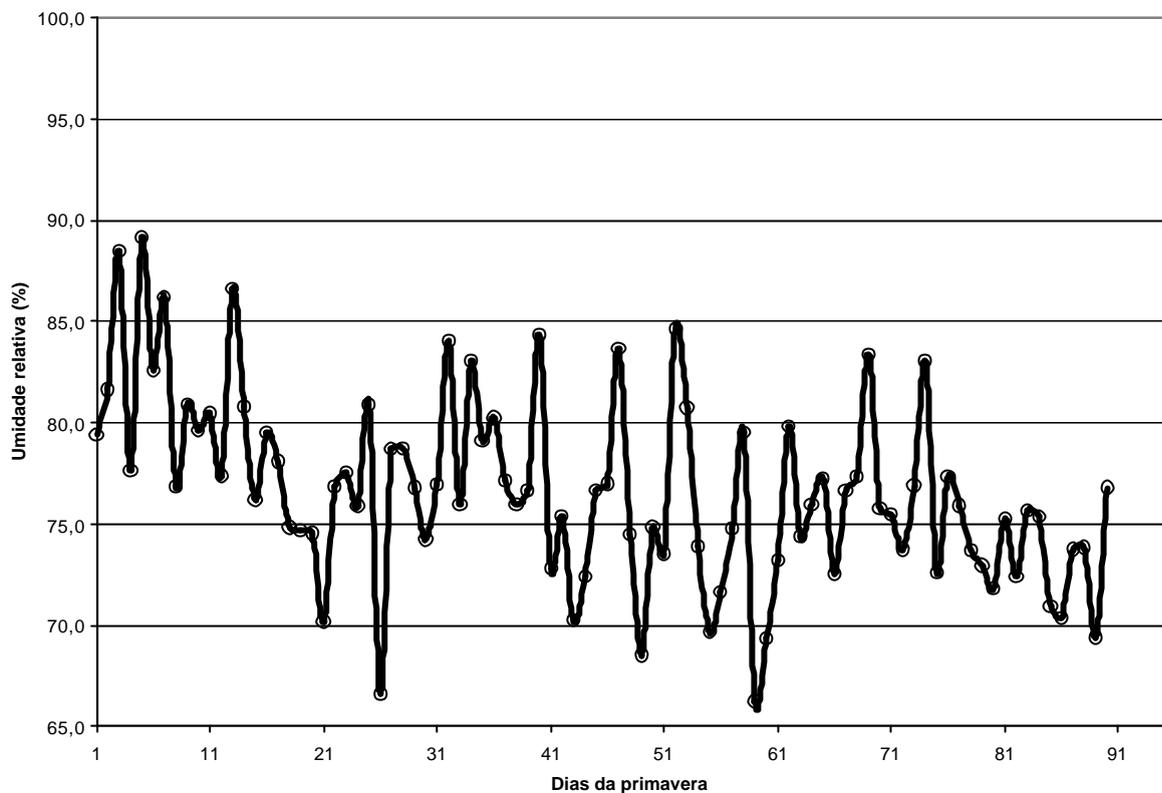
Na Figura 4k observa-se a umidade relativa do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB. Observando os 20 primeiros dias da figura 4k ainda há valores de umidade em torno de 90%. Isto aconteceu pelo fato de que ainda terminaria o outono, período considerado neste ano

o mais úmido, e começaria o inverno, período ainda com chuvas, mas um pouco inferior ao outono. Assim a diminuição de temperatura nesta época causou valores oscilando muito em torno de 75% a 95%.



**Figura 4k** - Umidade relativa do ar no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

A Figura 4l encontra-se a umidade relativa do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB. Aqui os valores da umidade relativa do ar caem chegando a oscilar em sua maioria entre 66% a 75% entre os dias de 20 a 90, como indicativo de estação seca e aumento da temperatura, associado também ao aumento da irradiação solar direta.

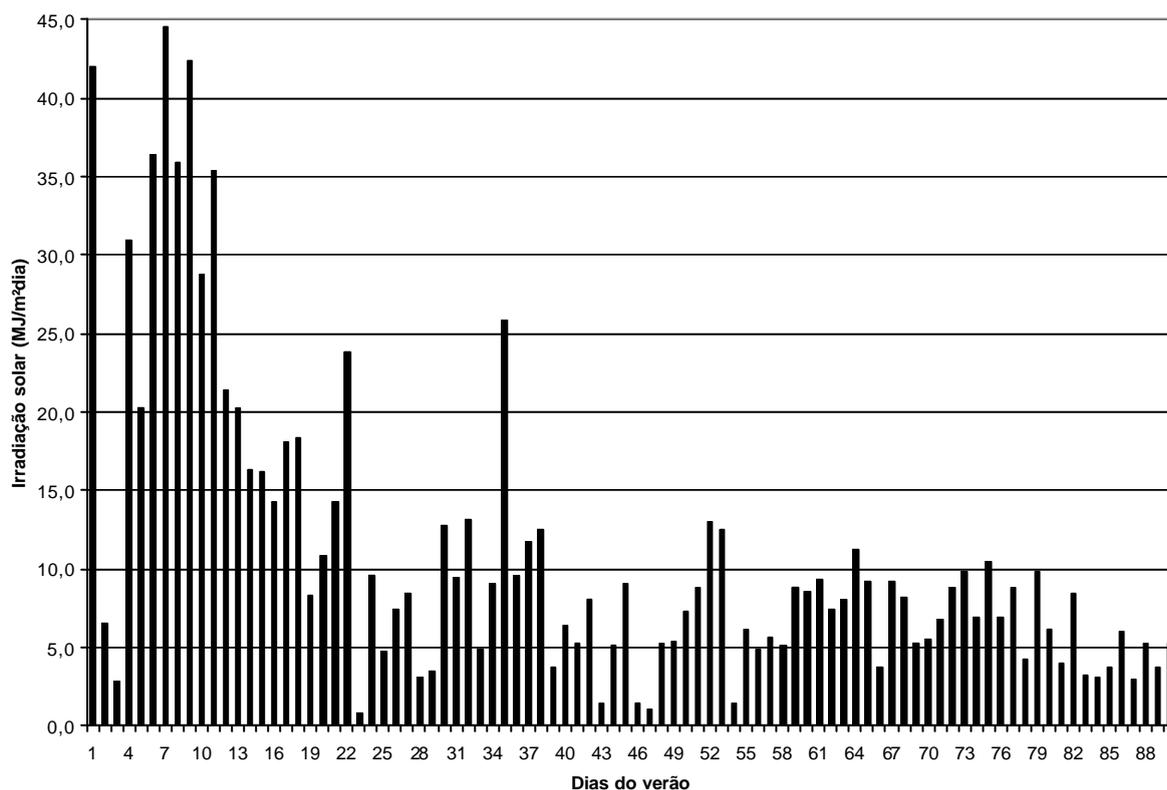


**Figura 41** - Umidade relativa do ar na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.

Neste sentido, Silva *et al.*,(2004) a partir dos elementos do Balanço Hídrico Climático de Thornthwaite e Mather (1955) estimou, com boa precisão, as normais de umidade relativa do ar, através da equação polinomial  $UR = -10^{-3} \cdot (IH)^2 + 20,75 \cdot 10^{-2} \cdot (IH) + 75,379$ , para as regiões dentro Estado do Piauí que não dispunham desse parâmetro. Onde UR é a umidade relativa do ar e IH é o índice hídrico. Com esses valores de umidade ele obteve um mapa com a espacialização desse parâmetro, possibilitando assim a obtenção de índices bioclimáticos no estado do Estado do Piauí que dispõem apenas de dados de temperatura do ar e de precipitação pluviométrica.

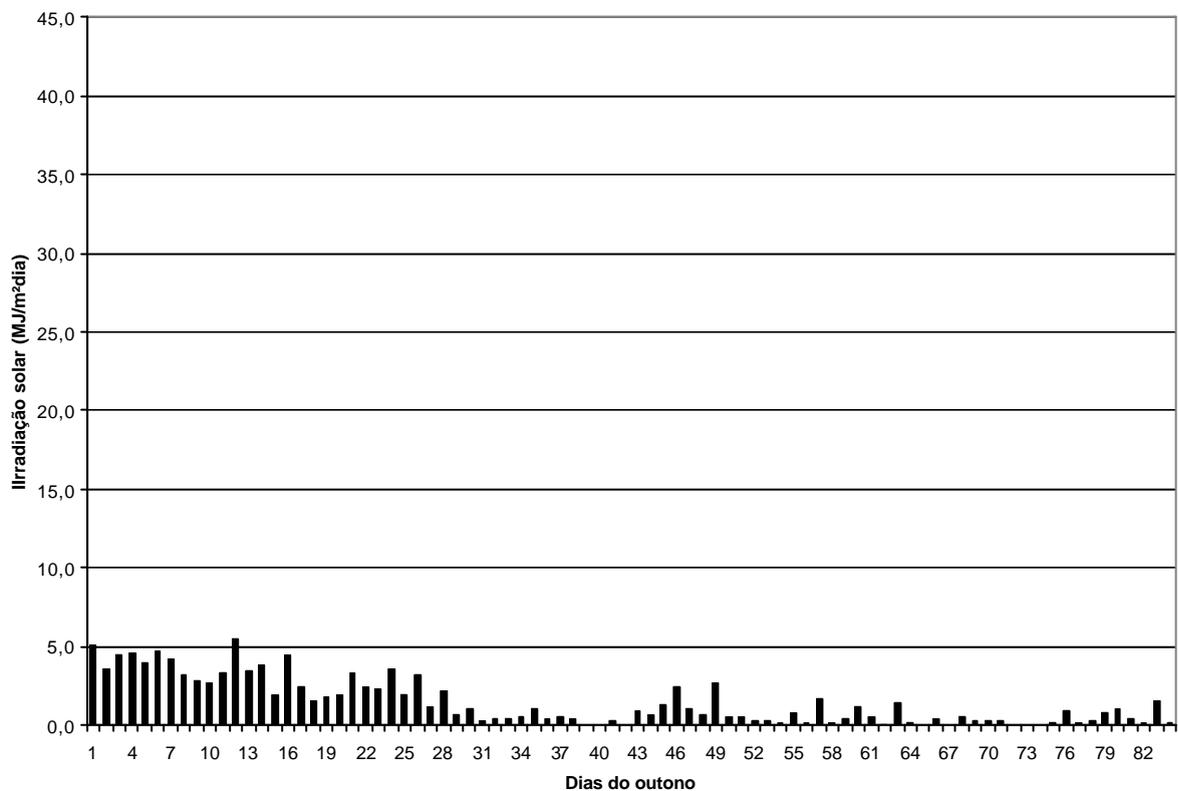
#### 4.4. Irradiação solar

Na Figura 4m temos a irradiação solar diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB. Nota-se nos oito primeiros dias (início de dezembro de 2004) do início do verão, o registro de medidas de radiação variando de 25 a 45  $\text{Mj/m}^2\text{dia}$ . Aqui também foi registrado o maior pico de radiação que foi de 44,5  $\text{Mj/m}^2\text{dia}$  no dia 27 de dezembro. Já no início de Janeiro, devido ao início das chuvas e a presença de nuvens, a maioria das taxas de radiação oscilaram entre 5 a 10  $\text{Mj/m}^2\text{dia}$ .

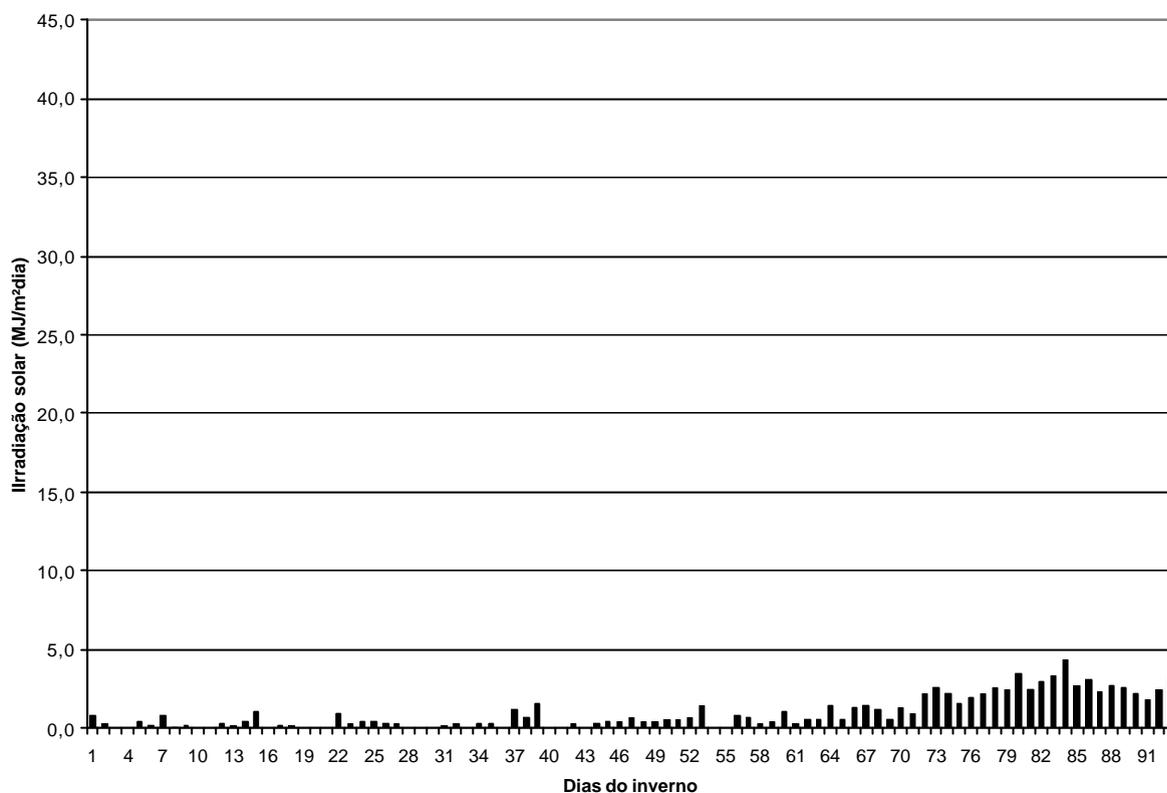


**Figura 4m** - Irradiação solar diária durante o verão de 2004 em Campina Grande-PB.

A seguir temos a Figura 4n e a Figura 4o que representam a irradiação solar diária durante o outono de 2004 e a irradiação solar diária durante o inverno de 2004 respectivamente. Convêm afirmar que para as Figuras 4n e 4o a maioria da taxa de variação oscilaram em torno de 5 Mj/m<sup>2</sup>dia. Isto devido ao grande aparecimento de nuvens carregadas com chuvas, pois o outono e inverno de 2004 foram considerados épocas com chuvas em abundância.

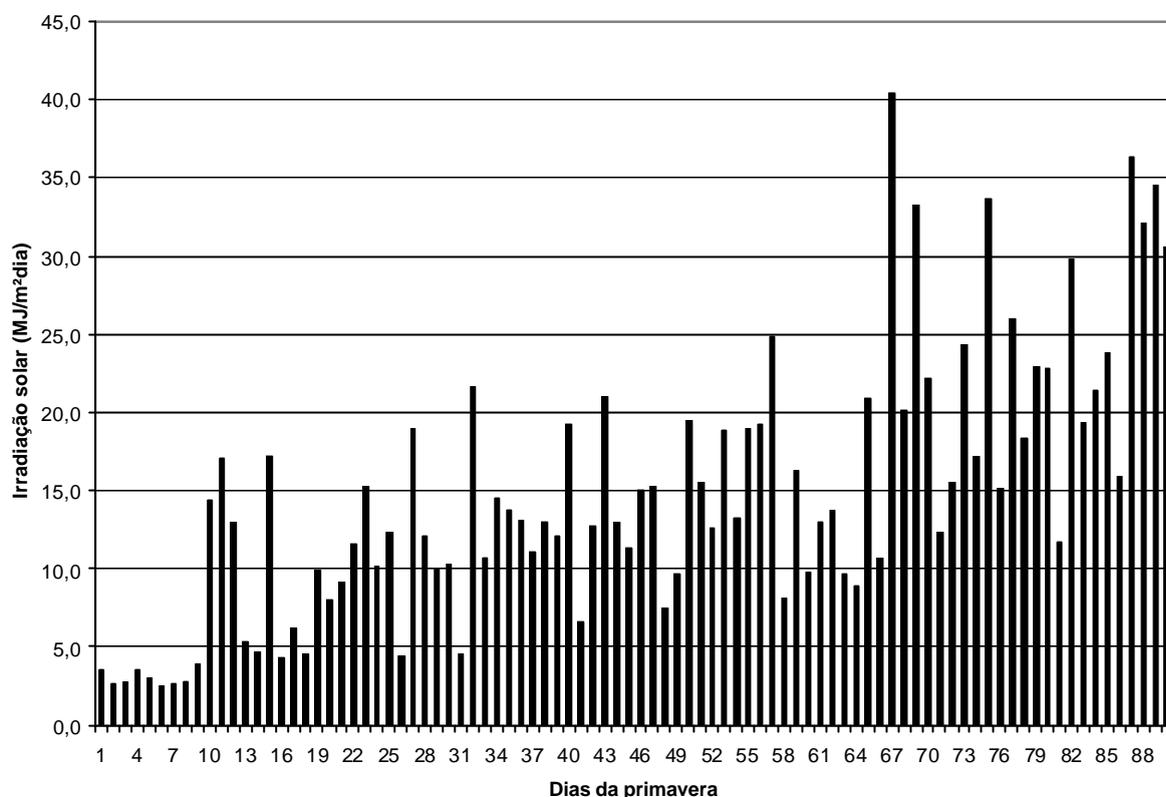


**Figura 4n** - Irradiação solar diária durante o outono de 2004 em Campina Grande-PB.



**Figura 4o** - Irradiação solar diária durante o inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

Na Figura 4p temos a irradiação solar diária durante a primavera de 2004 em Campina Grande-PB. Verifica-se que na primavera se encontrou a maior oscilação de taxa de irradiação solar que foi entre 3  $\text{Mj/m}^2\text{/dia}$  a 40  $\text{Mj/m}^2\text{/dia}$ , sua maioria foi registrada nos últimos vinte dias nesta época. É normal dizer que é uma estação seca, pois, nesta localidade encontra-se nos últimos dias na primavera valores acima de 15  $\text{Mj/m}^2\text{/dia}$ , fato este devido à aproximação do verão.



**Figura 4p** - Irradiação solar diária durante a primavera de 2004 em Campina Grande-PB.

Menezes *et al.*, (2003) estimou a Irradiação Solar Global à Superfície em Campina Grande-PB para a condição de céu claro a parcialmente nublado e parcialmente nublado a nublado, utilizando a equação de Angstrom ( $I_g = I_o[a + b(n/N) + c(P/P_o)]$ ) com a inclusão da razão de pressão. Considerando  $P_o = 1013,25\text{hPa}$  e  $P$  é a pressão média diária medida em hPa ele verificou que pela equação de regressão múltipla para a condição de céu claro, a Irradiação Solar Global à Superfície em Campina Grande é máxima, principalmente para locais em que a pressão atmosférica é menor do que  $1013,25\text{ hPa}$ , ou seja, em altitudes mais elevadas. A estimativa da Irradiação Solar Global à Superfície em Campina Grande através da equação de regressão múltipla para a condição de céu nublado é mínima, principalmente em localidades de altitudes mais baixas. Ele afirmou ainda que através de dados de insolação real(n) para representação da

condição atmosférica, e pressão atmosférica(P) representando a contribuição do vapor d'água e de todos os elementos químicos da atmosfera, pode-se estimar a Irradiação Solar Global à Superfície de uma determinada localidade.

De acordo com Bristow e Campbell (1984), também pode-se demonstrar a relação entre a temperatura diária do ar com a radiação solar incidente na superfície. Eles elaboraram um modelo que vem sendo empregado em diversos estudos e já sofreu algumas modificações, tal como a introdução de correção do efeito estacional tipicamente registrado em latitudes temperadas, e também um outro fator de correção geral para efeitos estacionais típicos de latitudes tropicais.

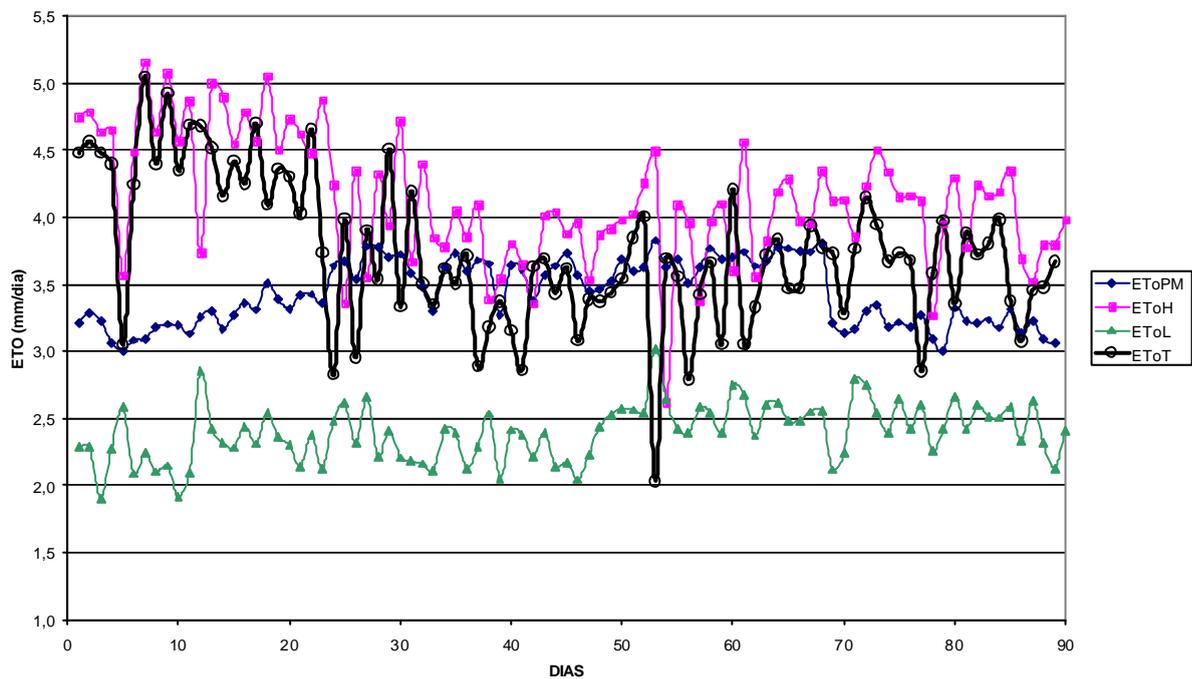
#### **4.5. Evapotranspiração de referência em Campina Grande-PB**

As Figuras 4q, 4r, 4s e 4t, foram elaboradas a partir dos valores calculados da evapotranspiração de referência das Tabelas (em anexo). A partir desses cálculos foram feitas as análises por estação do ano da seguinte forma:

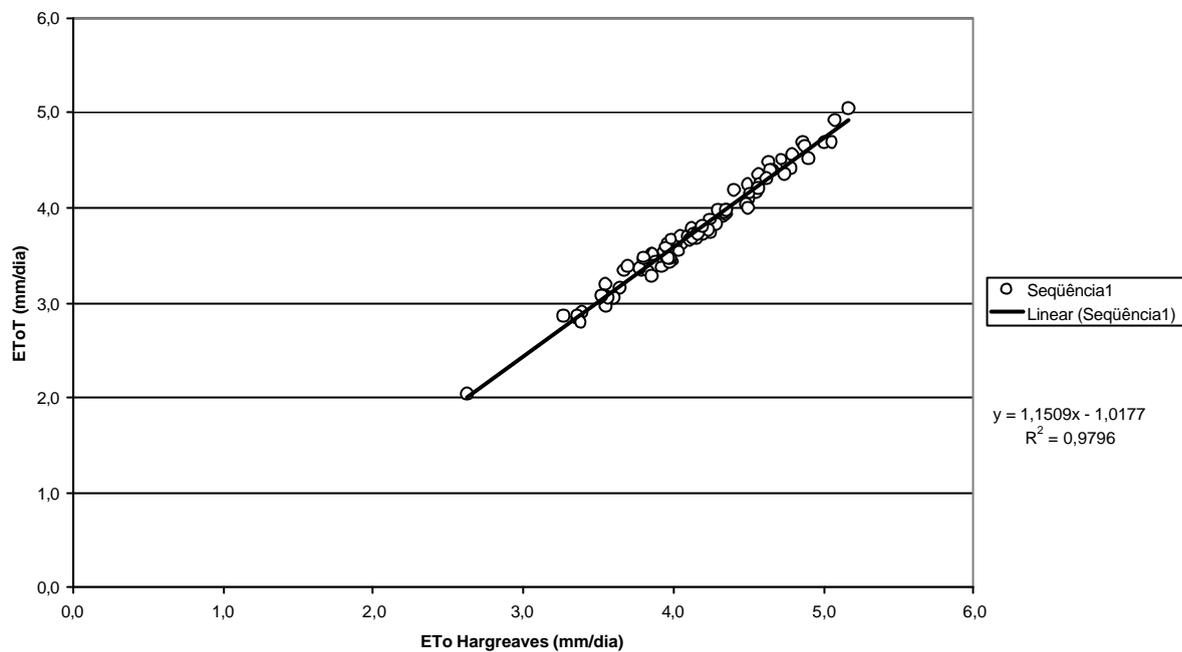
##### **4.5.1. Evapotranspiração de referência no verão**

Na Figura 4q tem-se, respectivamente a comparação dos valores diários da evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ) calculados pelos métodos de Penman-Monteith,

Hargreaves, Linacre e EToT no verão de 2004 em Campina Grande-PB. Nela observa-se a linha da EToT até aproximadamente o vigésimo dia do verão (começo de janeiro) se ajustando melhor com a ETo de Hargreaves com  $R^2 = 0,9796$  (Figura 4q.1). A partir de aproximadamente o vigésimo quinto dia, a EToT se ajustou melhor com as ETo de Hargreaves e Penman-Monteith. Aqui, durante todos os dias, o pior ajuste foi a ETo de Linacre. Ainda na Figura 4q, verifica-se que a estimativa da evapotranspiração de referência através do método de Hargreaves foi praticamente superior a 3,5 mm/dia em todo o verão, enquanto que o método de Linacre estimou valores, oscilando entre 2,0 mm/dia e 2,5 mm/dia, o que demonstra diferenças significativas entre estes métodos. No verão, a EToT ajustou-se bem aos métodos de Hargreaves e Penman-Monteith, com maior aproximação do método de Hargreaves.



**Figura 4q**- Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no verão de 2004 em Campina Grande-PB.

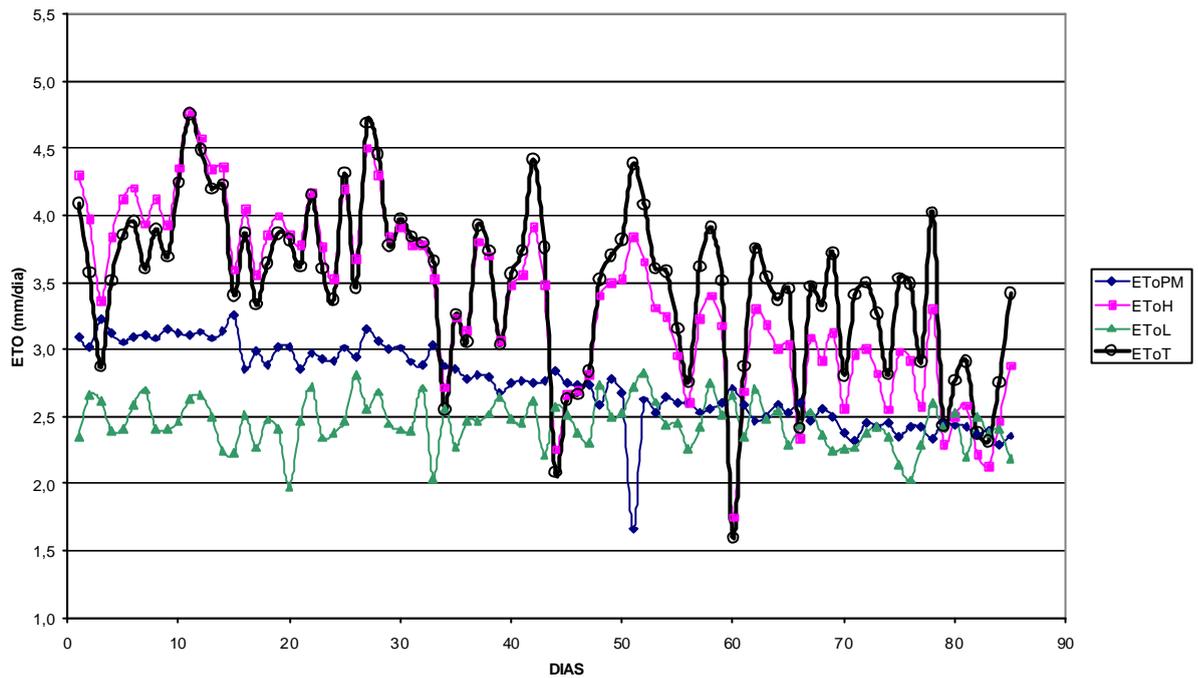


**Figura 4q.1** - Regressão linear da ETo T em função da ETo Hargreaves no verão de 2004 em Campina Grande-PB.

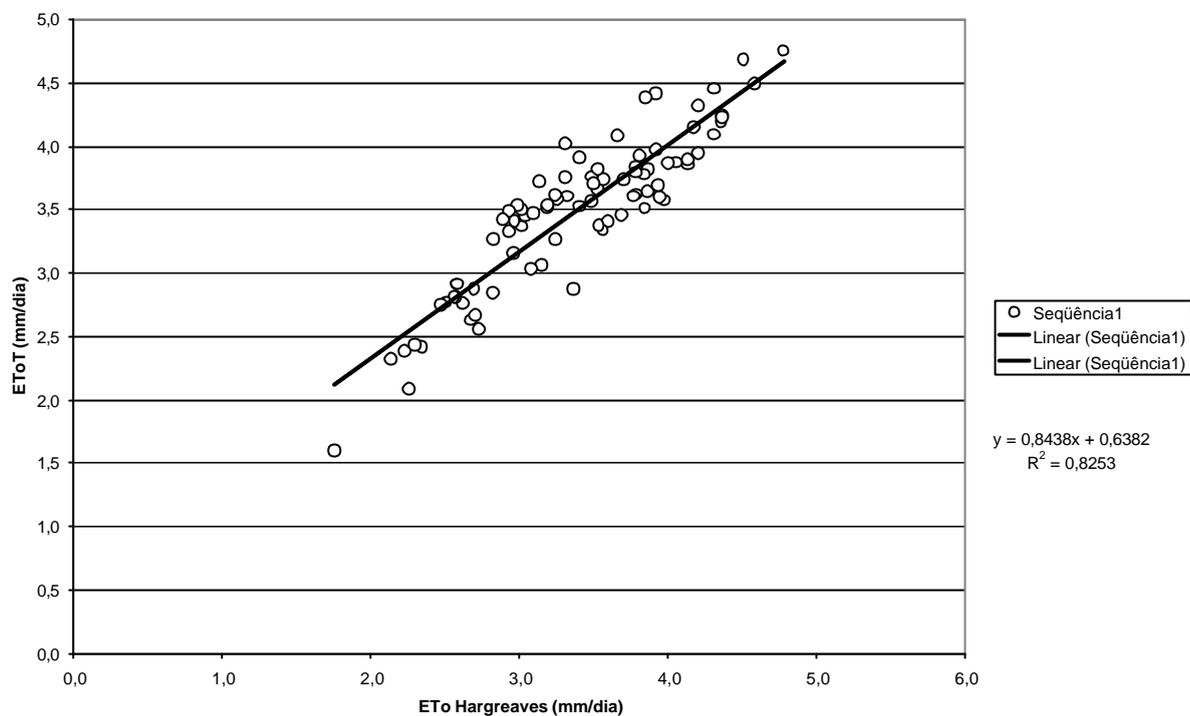
#### 4.5.2. Evapotranspiração de referência no outono

Na Figura 4r encontra-se os valores diários da evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e ETo CG no outono de 2004 em Campina Grande-PB. Verifica-se que a EToT em todos os dias desta estação correlacionou-se melhor com a estimativa de Hargreaves. Foram poucos os dias em que as linhas das ETo Penman-Monteith e Linacre se ajustaram melhor com as ETo de Hargreaves e EToT, pois EToH em função de EToT obteve  $R^2 = 0,8253$  (Figura 4r.1).

Nesta estação, verifica-se ainda que as estimativas EToT e EToH estão bem relacionadas, enquanto que outra relação também pode ser bem visualizada entre as estimativas de Penman-Monteith e Linacre após os primeiros 30 dias do outono, principalmente no final da mesma.



**Figura 4r** - Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no outono de 2004 em Campina Grande-PB.

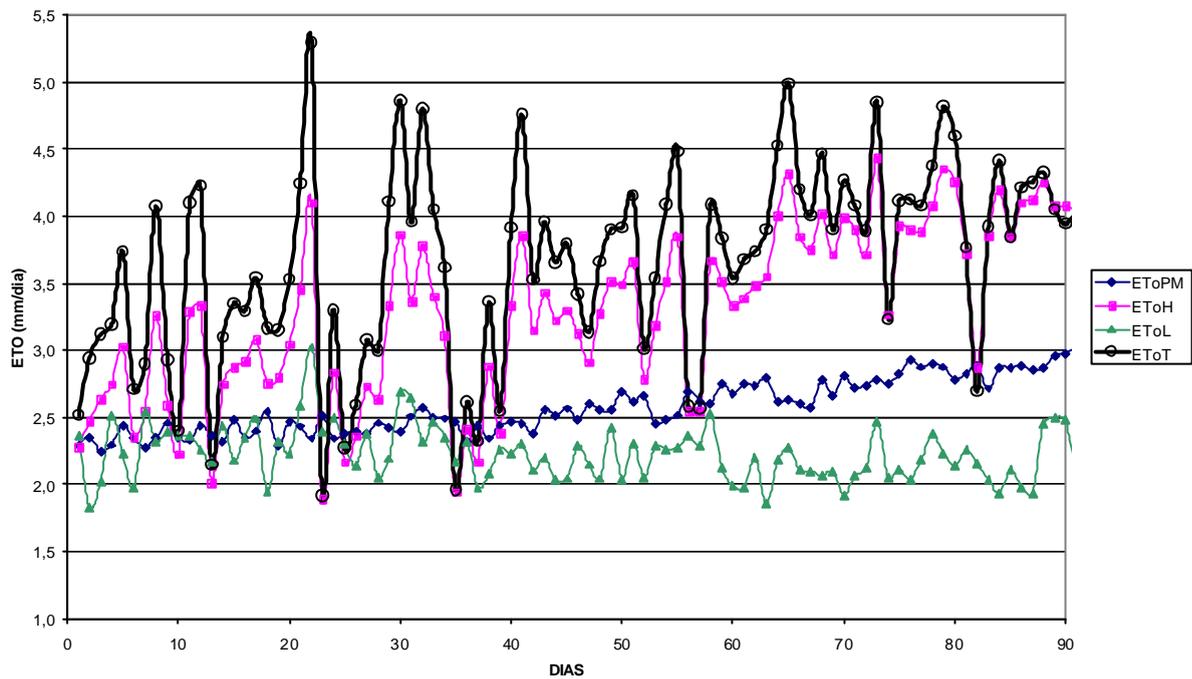


**Figura 4r.1** - Regressão linear da ETo T em função da ETo Hargreaves no outono de 2004 em Campina Grande-PB.

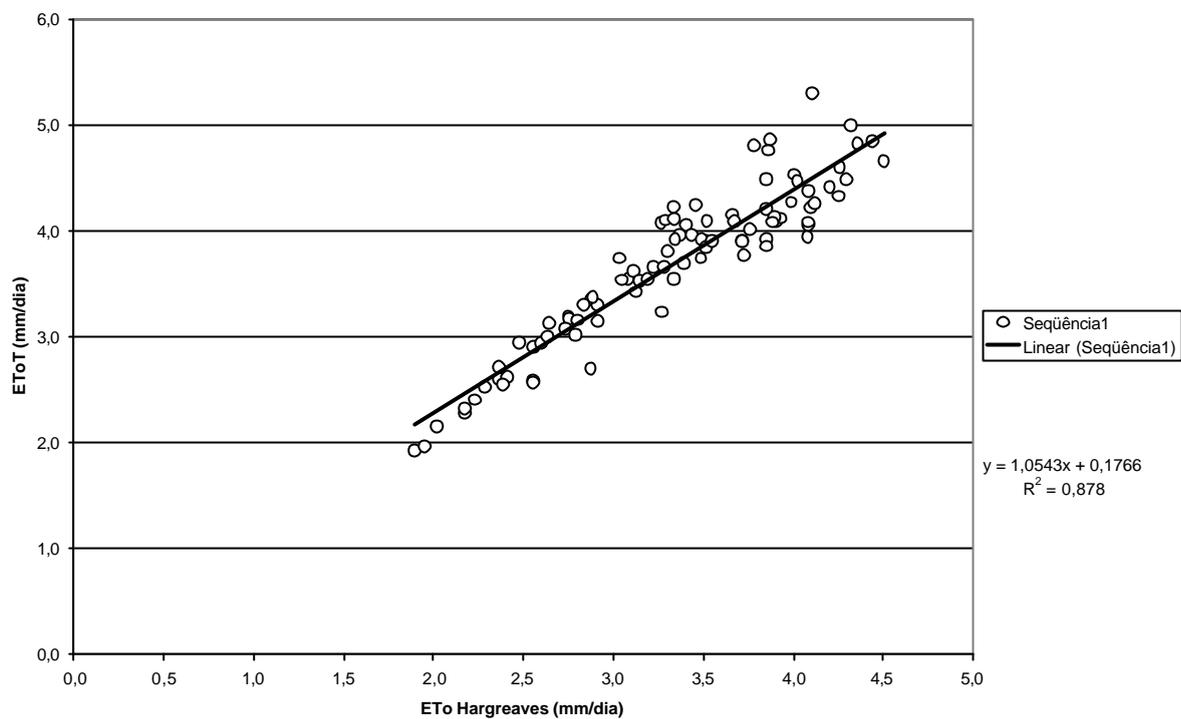
#### 4.5.3. Evapotranspiração de referência no inverno

Na Figura 4s encontra-se os valores diários da evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e ETo T no inverno de 2004 em Campina Grande-PB. Observa-se que a EToT em todos os dias da estação se ajusta melhor com Hargreaves. Também nota-se que são poucos os dias que as linhas da ETo Penman-Monteith e ETo Linacre se ajusta melhor com ETo T e ETo Hargreaves, pois este ultimo obteve  $R^2 = 0,878$  (Figura 4s.1). Verifica-se ainda que nos últimos 35 dias do inverno, aproximadamente, que as curvas da ETo Penman-Monteith e ETo Linacre tiveram as maiores discrepâncias. No inverno

deste ano em Campina Grande, os valores da EToT ajustaram-se muito bem com os valores da EToH. Verifica-se também que as estimativas EToPM e EToL mantiveram boa relação até aproximadamente o final de julho. Outro aspecto importante, é que em ambos os casos as mesmas subestimaram a EToT, praticamente em todo o período.



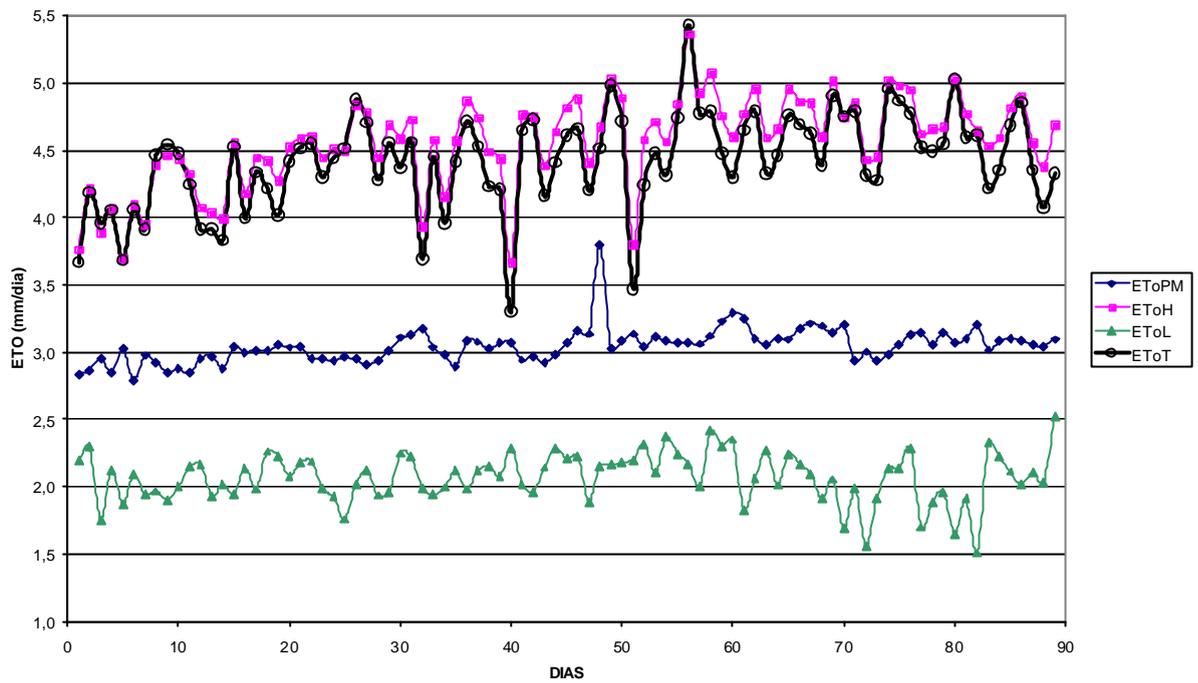
**Figura 4s** - Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.



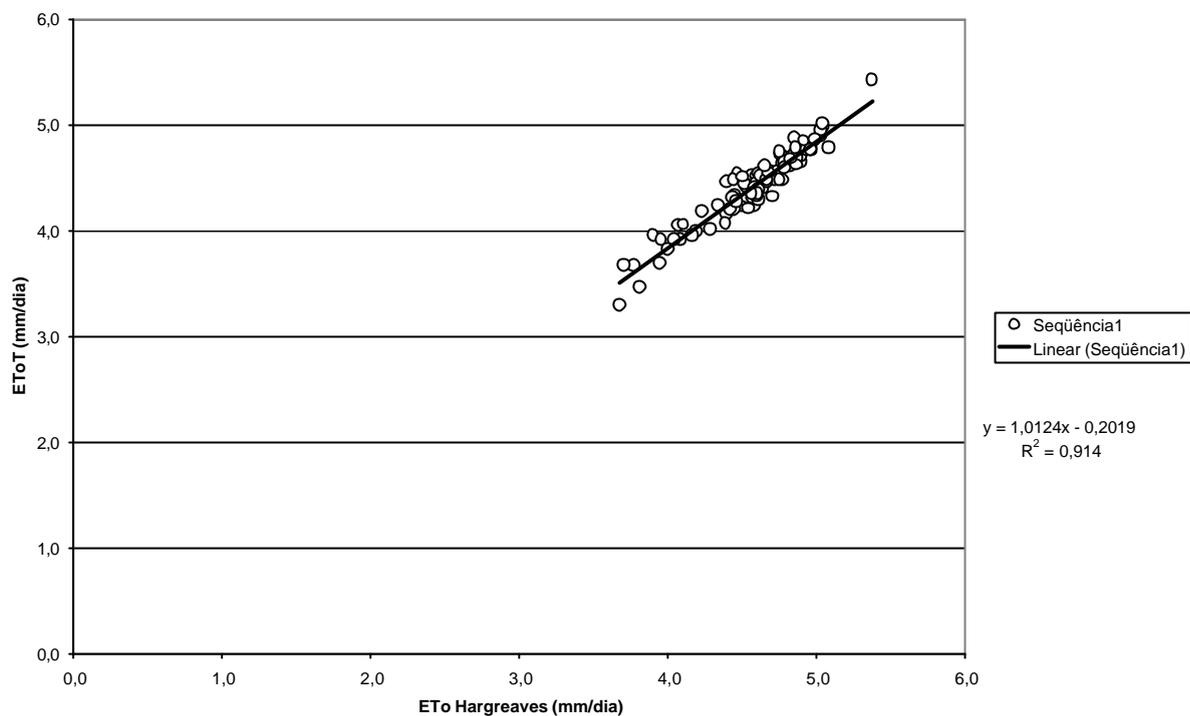
**Figura 4s.1** - Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves no inverno de 2004 em Campina Grande-PB.

#### 4.5.4. Evapotranspiração de referência na primavera

Na Figura 4t tem-se os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT na primavera de 2004 em Campina Grande-PB. Aqui claramente observa-se a melhor correlação entre a EToT em função da ETo Hargreaves (que variaram aproximadamente entre 3,3 mm/dia a 5,4 mm/dia) com  $R^2 = 0,914$  (Figura 4t.1). Enquanto que durante todos os dias desta estação as linhas da ETo Penman-Monteith (que variou entre 2,8 mm/dia a 3,8 mm/dia) e ETo Linacre (1,5 mm/dia a 2,5 mm/dia) foram os métodos de estimativas mais distantes da EToT.



**Figura 4t** - Evapotranspiração de referência (Eto) calculados pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Linacre e EToT na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.



**Figura 4t.1** - Regressão linear da EToT em função da ETo Hargreaves na primavera de 2004 em Campina Grande-PB.

Silva *et al.*, (2005) também avaliaram a eficiência dos métodos de estimativa de referência (Penman-Monteith (FAO/56), Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley e Taylor, Tanque “Classe A” e Thornthwaite) utilizando o sistema de estimativa da evapotranspiração – SEVAP – e dados médios mensais do ano de 2002 da estação climatológica de Petrolina-PE. Usando o coeficiente de determinação e a média e desvio padrão concluíram que na ausência de dados de insolação e velocidade do vento, a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith pode ser substituída com razoável precisão pelo método de Hargreaves. Os métodos de Linacre e de Thornthwaite não apresentaram resultados satisfatórios na estimativa da evapotranspiração de referência em escala diária.

#### 4.6. Correlação dos métodos estimados

Na Tabela 1 encontram-se a correlação entre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizados neste trabalho, assim como, os coeficientes **a** e **b** da regressão linear, como também o coeficiente de determinação **R<sup>2</sup>** para cada caso. Verifica-se através desta Tabela que existe correlação diretamente proporcional entre EToH x EToPM, EToH x EToT, EToPM x EToL e EToPM x EToT, embora os valores de evapotranspiração de referência estimados pela EToPM são sempre inferiores aqueles estimados pela EToH, enquanto que isto ocorre em relação a EToL para EToL ≤ 3,0mm.

Por intermédio da mesma Tabela, verifica-se também que existe correlação inversa proporcionais entre EToH x EToL e EToL x EToT. Por outro lado, constata-se, nesta mesma Tabela, que a única correlação aceita do ponto de vista estatístico é EToH x EToT, em outras palavras, na impossibilidade da utilização da EToT na estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, a mesma poderá ser estimada pelo método de Hargreaves com um grau de confiança aceitável neste contexto.

**Tabela 1** – Correlação e coeficientes de estimativa de evapotranspiração de referência estimada pelos os métodos de Hargreaves (EToH), Penman-Monteith (EToPM), Linacre (EToL) e o proposto pelo trabalho (EToT), durante o ano de 2004 em Campina Grande-PB.

Correlação		Coeficientes		
		Angular	Linear	Determinação
y	x	a	b	R <sup>2</sup>
EToH	EToPM	1,1203	0,5462	0,3423
EToH	EToL	-0,6767	5,3964	0,0485
EToH	EToT	0,991	0,0496	0,7882
EToPM	EToL	0,0558	2,8233	0,0012
EToPM	EToT	0,1267	2,4646	0,0472
EToL	EToT	-0,1044	2,6834	0,0826

Outro tipo de avaliação de estimativa de evapotranspiração de referência - usando os métodos de Priestley-Taylor (EToPT) e Thornthwaite (EToTh), este último considerado como padrão para comparação com o método de Penman-Monteith (EToPM) - foi feito por Júnior *et al.*, (2005) utilizando dados climáticos mensais de janeiro de 1990 a dezembro de 2003, coletados de uma estação meteorológica convencional, instalada no município de Parnaíba-PI. Os resultados indicaram que o método de Priestley-Taylor pode ser utilizado para estimativa de ETo considerando o alto índice de correlação ( $r = 0,9265$ ) com o método de Penman-Monteith. O método de Thornthwaite (EToT), apesar de ter apresentado menor correlação ( $r = 0,8242$ ) com o método de Penman-Monteith, foi considerado como opção para estimativa de ETo, especialmente quando o usuário apenas se dispõe da variável temperatura do ar. Resultados semelhantes foram observados por Sousa (1998), para oito localidades do estado do Ceará, e por Conceição (2003), para a região noroeste do estado de São Paulo.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Relacionando os objetivos propostos com os resultados obtidos, chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) As épocas mais quentes, conseqüentemente de maior influência na evapotranspiração, foram a primavera e o verão, pois o maior registro de variação de temperatura foi na primavera (24,3°C a 20,2°C) e o maior registro da irradiação solar ocorreu no verão (44,5 MJ/m<sup>2</sup>.dia). Sendo que na primavera ocorreu o menor registro de umidade relativa do ar no ano (63,3%) confirmando assim ser a época menos chuvosa do ano com total de precipitação de 14,7 mm.
- 2) O outono e o inverno, apesar do alto índice de precipitação do ano ter ocorrido no verão (572,3 mm), foram as estações de temperatura mais amenas, em que, a umidade relativa do ar variou de 94,9% a 73,3% (no inverno) e 94% a 70,3% (no outono). O menor registro de irradiação solar foi verificado no inverno (0,1 MJ/m<sup>2</sup>.dia), o que acarretou, principalmente no mês de julho, dias frios e nublados.
- 3) Em relação às correlações entre as estimativas de evapotranspiração de referência, a EToT em função da EToH foi a que melhor se ajustou, principalmente no verão em que o coeficiente de determinação foi de aproximadamente 0,98.

- 4) O método de estimativa encontrado neste trabalho poderá subsidiar, após alguns ajustes, atividades agrometeorológicas, principalmente aquelas inerentes ao crescimento, desenvolvimento e produção de culturas irrigadas.

Finalmente, recomenda-se a utilização do método empírico da estimativa de evapotranspiração de referência de Campina Grande-PB (ET<sub>oT</sub>), para trabalhos de estimativas de evapotranspiração de referência, não só para o município de Campina Grande, mas para regiões circunvizinhas ou de climas semelhantes.

Recomenda-se ainda que futuramente, com a instalação de evapotranspirômetros, os coeficientes **a** e **b** encontrados nas equações possam ser validados, e neste caso seja utilizada na prática, uma equação simples e confiável para estimativa da evapotranspiração de referência, considerando que a mesma é muito importante para as atividades agrometeorológicas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.K.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, C.A.S.; MARIANO, G. L.; CHAGAS, E. V.; JÚNIOR, R.D. da S. *Comparação do comportamento do saldo de radiação em área de pastagem na Amazônia durante dois períodos*. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, 2003, pp. 29-30.

ACOSTA, R; AGUIAR, A.; CALEARO, D.; TATSCH, J.; QUADROS, M.; LIMA, M. de. *Comparação das saídas do modelo ETA 24HS e 72HS com os dados observados, para a variável radiação global, nas cidades de Itajaí-SC e Concórdia-SC*. In. XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, 2003, pp. 890-899.

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

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; et al. *An update for the calculation of reference evapotranspiration*. ICID Bulletin, New Delhi, v.43, n.2, 1994a., pp.35-90.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERIER, A.; et al. *An Update for the definition of reference evapotranspiration*. ICID Bulletin, New Delhi, v. 43, n.2, 1994b., pp. 1-31.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation And Drainage Paper 56, Roma, Itália, 1998, p.300.

ALMEIDA, H. A. de. *Probabilidade de ocorrência de chuva no Sudeste da Bahia*. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico n.182, 2001, p. 32.

ALMEIDA, H.A.; FINIZOLA DE SÁ, D. *Estimativa das temperaturas médias, máximas e mínimas mensais e anuais do sudeste da Bahia*. Centro de pesquisa do cacau, Ilhéus, Bahia. Revista Theobroma, v. 14, n.2, 1984, pp.135-142.

ALMEIDA, H. A. de; RAMOS, M. M.; SILVA, L. de. *Características do regime pluvial em Campina Grande, PB*. In: *XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Campinas-SP, Meteorologia e climatologia, 2005, pp. 43-44.

ALVES, L. M.; CASTRO, C. A.C.; JÚNIOR, H. C.; SANCHES, M. B.; CALBETE, N. O.; MENDES, D. *Análise Subjetiva da Previsão do SIMOC para o Nordeste do Brasil no Período de março-maio de 2000 – Estudo de Caso*. In: *XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Fortaleza-CE. Anais: Fortaleza-CE: SBA, 2001, pp. 625-26.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. *Início das Chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica*. In: *XII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Foz do Iguaçu-PR. Anais: Foz do Iguaçu-PR: SBMET, 2002, pp. 403-410.

AMORIM, M.C. de; GOIS, G. de; FERREIRA, W. P. M.; TOMA, A. P. M. F.; MIRANDA, V. S.; AMORIM, R. C. F. In: *XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, pp. 43-44.

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.

ANDRADE, L. S.; SOUSA, L.P.; SILVA, C.M.S e ; GEMIAK, L.; MEIXNER, F.X.; MOURA, M.A.L. *Análise de balanço de onda e saldo de radiação para dias de céu claro e nublado na Amazônia*. In: *XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia*, Fortaleza-CE, 2004, pp. 361-370.

ANDRÉ, R. G. B. *Distribuição de Energia numa cultura de soja (Glycine Max (L.) Merrill) irrigada e não irrigada*. Faculdade de Agronomia, UFRGS Porto Alegre; 1986, p. 121. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).

ANGSTRON, A. *Solar and terrestrial radiation*. *Quartely Journal Research Society*, v.50, 1924, pp. 121-125.

ARMSTRONG, D.V. *Heat stress interaction with shade and cooling*. *Journal of Dairy Science*, v.77, n.7, 1994, pp. 2044-2050.

ARAGÃO, J. O. R. *Um estudo das estruturas das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil*. (INPE-789-TPT/017), 1975. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia).

ARAI, N. E F.C. DE ALMEIDA. *Estimativa da radiação solar que chega à superfície terrestre utilizando satélite meteorológico*. Anais II Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas, RS, 1982.

ARAÚJO, L. E. de; CAMPOS, J. H. B da; BANDEIRA, M. B., BECKER, C. T. *Disposição mensal e anual das Chuvas em Campina Grande – PB de 1911 a 2002*. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, 2003, p. 949-950.

ARGENTIÈRE, R. *O Sol e os Planetas*. São Paulo, SP: Ed. Princar, 1979, p. 176.

AZEVEDO, P.V.; VAREJÃO-SILVA, M.A.; VARGAS, G.A.O. *Zoneamento do potencial de energia solar do Nordeste*. Coleção Politécnica, Pub. Técnica nº 2. Editora da Universidade Federal da Paraíba, 1981, p. 80.

AZEVEDO, F.G.B.de; JÚNIOR, H.D.S.; LACERDA, F.F. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, pp. 29-30.

BARBOSA, O.R.; SILVA, R.G.; SCOLAR, J.; GUEDES, J.M.F. *Utilização de um índice de conforto térmico no zoneamento bioclimático da ovinocultura*. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 24, n.5, 1995, pp. 661-671.

BARCELLOS, C.P.; BOIASK, N.; CHAPA, S.R. *Estudo sobre as correlações entre nebulosidade, insolação e radiação solar para Pelotas-RS*. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, p. 793-804.

BECKER, B.A.; KNIGHT C.D.; BUONOMO, F.C.; JESSE, G.W.; HEDRICK, H.B.; BAILET, C.A. *Effect of a hot environment on performance, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites of pigs treated with porcine somatotropin*. Journal of Animal Science, v.70, n.9, 1992, pp. 2732-2740.

BENINCASA, M. M. P. *Contribuição Estudo Ecológico do Feijoeiro Comum (Phaseolus Vulgaris, L.)*, efeito hídricos, Jaboticabal: FCAV, 1972, p. 93. (Tese de Doutorado).

BERGAMASCHI, H. *Deficiência Hídrica em Feijoeiro II*. Balanço de Energia. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.23, n.7, 1988, pp. 745-757.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. *Evaporação e evapotranspiração*. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Agronômicas, 1981, pp. 4-95. (IPAGRO – Boletim Técnico).

BERNARDES, S. *Relação solo-água-clima e planta*. Viçosa, UFV, 1977, p. 29. (UFV-Boletim de Extensão, 6).

BETTS, A. K.; MILLER M. J. *A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX and arctic air-mass data sets*. Quart. J. R. Met. Soc., v.112, 1986, pp. 693-709.

BETTS, A. K.; BALL J. H.; BELIJARS A. C. M.; MILLER M. J.; VITERBO P. A. *The land surface-atmosphere interaction: A review based on observational and global modeling perspectives*. J. Geophys. Res., v.101, 1996, pp. 7209-7225.

BLANCO, F. F.; SENTELHAS, P, C. *Coefficientes da equação de Angström-Prescott para estimativa da insolação para Piracicaba-SP*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria - RS. v.10, 2002, pp. 295-300.

BOUCHET, R. J. *Evapotranspiration reele evapotranspiration potentielle et production agricole*. Annales Agronomiques. v.14, n.5, 1963, pp. 743-824.

BRISTOW, K. L.; CAMPBELL, G. S. *On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature*. Agricultural Forest meteorology, n31, 1984, pp.159-166.

CAMARGO, A. P. de. *Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo*. Bragantia, n.21, 1962, pp. 164-213.

CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA D. de; BRUNINI O.; BERGAMASCHI H.; BRAGA H.J. *Diagnóstico da agrometeorologia operacional no Brasil*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 10, n.2, 2002, pp. 363-371.

CARVALHO, B.C.L. de. *Modelos matemáticos para estimativa da temperatura em diferentes localidades do estado da Bahia*. Salvador, Bahia Agrícola, v. 4, n.3, 2001.

CEBALLOS, J.C.; MOURA G.B.A. *Solar radiation assessment using Meteosat 4 - VIS imagery*. Solar Energy 60: 1997, pp. 209-219.

CEBALLOS, J.C.; BOTTINO M.J.; SOUZA J.M. de *A simplified physical model for solar radiation assessment using GOES-8 VIS imagery*. J. of Geophys. Research VOL. 109, 2004.

CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, N.N.; MALANO, H.M.; *Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data Austrália*, Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 28, nº1, 1995, pp. 9-21.

CHANG, JEN-HU. *Climate and Agriculture*. In: Ecological Survey. Chicago, Aldine, 1968, p.304.

CONCEIÇÃO, M.A.F. *Estimativa da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar para as condições do Baixo Rio Grande, SP*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.11, nº2, 2003, pp. 229-236.

CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, XXXIII, COBENGE 2005-Campina Grande-PB. Disponível em: <<http://www.cobenge2005.cct.ufcg.edu.br/localdoevento>> Acesso em 17 de dezembro de 2005.

CUNHA, G.R. *Estudo Micrometeorológico de Transferência Vertical de Vapor D'água e Energia em Milho*. Porto Alegre, UFRGS. Faculdade de Agronomia, 1986, p.142. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia).

CUNHA, A.R., MARTINS, D. *Estudo comparativo entre elementos meteorológicos obtidos em estações meteorológicas convencional e automática em Botucatu-SP, Brasil*. Rev. Bras. Agrometeorologia, v.12, nº1, 2004, pp. 103-111.

DANTAS, R.T. *Determinação da Constante Térmica (R), na Estimativa da Evapotranspiração Máxima do Arroz (Oryza sativa L)*. In: IX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Anais: Campina Grande: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1995, pp.102-105

DANTAS, R.T. *Caracterização da estação chuvosa em três municípios do estado da Paraíba e aplicação da distribuição gama incompleta*. Atmosfera e água, v.2, n.3, 1998.

DANTAS, R.T.; SOUZA, W. M.; ARAÚJO, J.A.P. *Transmitância Atmosférica em três municípios do estado da Paraíba*. In: XI Congresso Brasileiro De Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ. Anais: Rio de Janeiro-RJ: SBMET, 2000, pp. 39-54.

DENMEAD, O.T.; MCLLROY, I. C. *Measurements of Non -Potencial Evaporation From Wheat*. Agric. Met., v.7, 1970, pp. 285-302.

DOBSON, H.; SMITH, R.F. *What is stress, and how does it affect reproduction?*. Animal Reproduction Science, v.60-61, nº2, 2000, pp. 743-752.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Crop water requeriments*. Roma, FAO, 1975, p. 179. (FAO Irrigation and drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Roma: FAO, 1977, p.198. (Irrigation and Drainage paper 24).

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande-PB*. UFPB, 1994, pp.306-310, (FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A. Available solar radiation. In: *Solar Engineering of Thermal Process*. Manual Piranometer LI200X, Campbell Scientific, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1980. p.28-110.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. *Estudos da demanda de água do feijoeiro*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1980, p.87. (Dissertação de mestrado).

FERRONATO, A.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; BEZERRA, E. L.; MENDONÇA, M. M. D. *Estimativa da radiação solar global baseada em medidas de temperatura do ar*. In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais: Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2003.

FILHO, J. S. V.; LEITE, M.L.; CATANEO, A. *Avaliação de três simulados de dados climáticos na geração de dados diários de temperatura do ar I-temperatura mínima*. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, p. 54-55.

FONTANA, D. C. *Balanço de Energia em soja irrigada e não irrigada*. In: V Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Coletânea de Trabalhos. Belém-Pará, 1987, pp. 317-319.

FONTANA, D.C. *Determinação da Evapotranspiração*. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.), *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, cap. 4, 1992, pp. 48-61.

GADIOLI, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCIA Y GARCIA, A. *Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma Calórica*. Piracicaba, *Scientiae Agricola*, v. 57, nº 3, Jul./Set., 2000, pp. 377-383.

GALVÃO, J. H. C.; FISCH, G. *Balanço de Radiação em área de pastagem na Amazônia*, Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.8, nº1, 2000, pp. 1-10.

GAUTIER, C.; DIAK, G.; MASSE, E.S. *A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data*. J. Appl. Meteorol., nº19, 1980, pp. 1005-1012.

HARGREAVES, G.H. *Estimation of potential and crop evapotranspiration* Trans. ASAE, 174, v.17, 1974, pp. 701-704.

HARGREAVES, L.G.; HARGREAVES, G.H.; RILEY, J.P. *Irrigation water requirements for Senegal River basin*. New York, J. Irrig. Drain. Engr., v. 111, nº 3, 1985, pp. 265-275.

HASTENRATH, S.; GREICHSCAR, L. *Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies*. Journal of Climate, v.6, 1993, pp. 743-758.

INMET/LABSOLAR (Instituto Nacional de Meteorologia/Laboratório de Radiação Solar, UFSC). *Irradiação solar do Brasil*. Publicação conjunta Instituto Nacional de Meteorologia (Ministério da Agricultura e Abastecimento) e Laboratório de Energia Solar (Universidade Federal da Santa Catarina). Brasília, 1998, p. 58.

JENSEN, D.T.; HARGREAVES, G.H.; TEMESGEN, B. *Computation of Eto under nonideal conditions*. Journal of Irrigation and Drainage and Drainage Engineering, New York, v. 123, n.5, 1997, pp. 294-399.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. D. *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE, On Manuals and Reports Engineering Practice, 70, New York, 1990, pp. 42-236.

JETER, S. M.; BALAROS, C. A. *Development of improved solar radiation models for predicting beam transmittance*. Solar Energy. v.44, n.3, 1990, pp. 49-56.

JÚNIOR, L.G.F.; ARAÚJO, M.J.V. de; JÚNIOR, A.S.A. *Estimativa da evapotranspiração de referência na escala mensal com os métodos de Penman-Monteith, Thornthwaite e Priestly-Taylor para Parnaíba, Piauí*. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campinas-SP, Relações Solo-Planta-Atm, 2005, pp. 81-82.

JUNIOR, L. G. M. F.; JUNIOR A. S. A.; BASTOS E. A. *Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na escala decenal para Teresina, Piauí*. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, pp. 89-90.

KELLY, C.F.; BOND, T.E. *Bioclimatic factors and their measurement*. In: National Academy of Sciences. A guide to environmental research on animals: Washington, 1971.

KNAPP, H. V. *Evaporation and Transpiration*. In: HOUGHTON, David D. Handbook of Applied Meteorology. John Wiley & Sons., New York, 1985, pp. 537-554.

LEMON, E.R.; GLASSER, A.M.; SATTERWHITE, L.E. *Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factor to evapotranspiration*. Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 21. 1957, pp.464-468.

LINACRE, E.T. *A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone*. Agric. Meteorology, v.18, 1977, pp. 409-424.

LOMBARDO, M. A. *Ilha de calor nas metrópoles*. São Paulo: Hucitec, 1985.

MALTEZ, H. T.; MALTEZ, M. G. L.; BASTOS, T. X.; DINIZ, T. D. de A. S. *Avaliação da evapotranspiração potencial a região de Belém-Pará*. In: Simpósio do Trópico Úmido. Belém. Anais: Embrapa-Cpatu, 1986, pp. 56-57.

MARTINS, C. M.; SOBRINHO, J. E.; MAIA, C. E.; COSTA, W. P. L. B.; RIBEIRO G. B. *Comparação da evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática.* In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas-SP, Relações Solo-Planta-Atm, 2005, pp. 36-37.

MASSIGNAM, AM.; PANDOLFO, C.; HAMMES, L. A.; PEREIRA, E.S. *Probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas do ar no estado de Santa Catarina.* In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, p. 52-53.

MATZENAUER, R. *Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura.* In: Bergamaschi, H. (Coord.), *Agrometeorologia aplicada à irrigação.* Porto Alegre: Ed. da Universidade / UFRGS. Cap. 3, 1992, pp. 31-39.

MENEZES, E. A.; DANTAS, R. T.; LIMA, J. A. *Análise dos coeficientes de regressão múltipla para extrapolação da estimativa da irradiação solar global em localidades distintas no estado da Paraíba.* In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, p. 747-748, 2003.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. *Análise Subjetiva da Simulação de Precipitação do Modelo Eta Climático para o Nordeste do Brasil no Período entre Janeiro e Março de 2003.* In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Anais: Santa Maria-RS: SBA, 2003, p. 811-12.

MENEZES, H. E. A.; SILVA, R. M.; ALVES, L. M.; CAMARGO JÚNIOR, H. *Verificação do Prognóstico de Precipitação Sazonal Simulada pelo Modelo Eta Climático para o Nordeste do Brasil.* In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria-RS. Anais: Santa Maria-RS: SBA, 2003, pp. 999-1000.

MENEZES, H. E. A.; ALVES, L. M.; BRITO J. I. B. de; SILVA, R. F. da. *Verificação do prognóstico da precipitação simulada pelo modelo Eta2d para o Norte e Nordeste do Brasil.* In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, p. 187.

MICHALOPOULOU, H.; PAPAIOANNOU, G. *Reference crop evapotranspiration over Greece Agricultural Water Management, Amsterdam.* v. 20, 1991, pp. 209-221.

MOLION, L. C. B. *Seca, o eterno retorno.* Ciência Hoje, v. 3, n18, 1985, pp. 26-32.

MOURA, D.; SHUKLA, J. *On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: observations, theory and numerical experiments with a general circulation model*. J. Atmos. Sci., 38, 1981, pp. 2653-2675.

MOURA, R.G.; TOTA, J., MANZI, A.O.; GU, L. *Medidas e Modelagem da Radiação Solar Interceptada pela Vegetação durante a Estação Chuvosa na Floresta da Rebio - Jarú-RO*, Primeira Conferência Científica do Projeto LBA, Belém-PA, 2000.

MOURA, R.G.; MANZI, A.O. *Performance dos Modelos Operacionais de Previsão Numérica de Tempo do CPTEC/INPE na Previsão da Radiação Solar e Terrestre em diferentes Sítios na Região Amazônica*. Anais: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia Fortaleza-CE. V. 02, 2001, p.643

NAÃS, I.A.; ARCARO JR., I. *Influência da ventilação e aspersão em sistemas de sombreamento artificial para vacas em lactação em condições de calor*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, , 2001, pp. 139-142.

NAOUM, S.; TSANIS, I.K. *Hydroinformatics in evapotranspiration estimation*. Environmental Modelling & Software, Oxford, v.1, n.18, 2003, pp. 261-271.

NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. *The climatology of drought prediction*. Kluwer Academic Publishers. The impact of variation on agriculture, v. 2, 1988.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. *Variations of sea surface temperature, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America*. J. Climate, 10(4), 1996, pp. 2464-2479.

NOBRE, P. *A Variabilidade Interanual do Atlântico Tropical e sua Influência no Clima da América do Sul*. Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

NOBRE, P.; MELO, A. B. C. *Variabilidade Climática Intrazonal sobre o Nordeste do Brasil em 1998-2000*. Revista Climanálise, 2001.

NOBRE, P.; MOURA, A.D.; SUN, L. *Dynamical Downscaling of Seasonal Climate Prediction over Nordeste Brazil with ECHAM3 and NCEP's Regional Spectral Models at IRI*. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, pp. 787-796.

NUNES, G.S.; ANDRÉ R.G.B.; VIANELLO R.L.; MARQUES V.S. *Estudo da distribuição da radiação solar sobre o Brasil*. Relatório INPE, S.J. dos Campos, SP, 1978, pp. 45.

OLIVEIRA, D.; VILLA NOVA, N.A. *Evapotranspiração Máxima e Lâminas de Irrigação Necessária Para Feijoeiro (Phaseolus Vulgaris L), no Paraná*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 4, n.1, 1995, pp. 29-36.

OLIVEIRA, G.S. *O El Niño e Você – O Fenômeno Climático*. São José dos Campos, SP: Transtec Editorial, 1999.

OLIVEIRA, A.D.; VOLPE, C. A. *Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando dados de estação meteorológica convencional e automática* In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Santa Maria-RS, 2003, pp. 307-308.

OLIVEIRA, L. A.; COSTA, A. C. da. *Influência da arborização na temperatura e umidade do ar no campus da UFPA*. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP, Micrometeorologia, 2005, pp. 26-27.

ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H; ENGLISH, M.; *Hourly grass evapotranspiration in modified maritime environment*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v. 121, n° 6, 1995, pp. 369-373.

PENMAN, H. L. *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proceeding of the Royal Society of London, v. 193, n° 1032, 1948, pp. 120-146.

PENMAN, H. L. *Evaporation: an introductory survey*. Neth. J. Agric. Sci. v. 4, 1956, pp. 9-29.

PENMAN, H. L. *Evaporation, transpiration and evapotranspiration*. In: *Vegetation and Hydrology*. Farnham Royal, Comm. Agric. Bureaux. 1963, pp. 30-50.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A; PEREIRA, A. S.; BARBIERI, V. A. *A model for the Class A pan coefficient*. Agricultural and Forest Meteorology. Piracicaba, v. 76, n° 2, 1995, pp. 75-82.

PEREIRA, E. B.; ABREU, S. L.; STUHLMANN, E.; RIELAND, M. ; COLLE, E. S.. *Survey of the incident solar radiation in Brazil by use of Meteosat satellite data*, Solar Energy, 57, 1996, pp. 125-132

PESSOA, Noel da Silva. *Balanço Hídrico*. Campinas. Coordenadorias de Assistência Técnica Integral, 1992.

PRESCOTT, J. A. *Evaporation from a water surface in relation to solar radiation*. Trans. Res. Soc. Aust., v.1, 1940, pp. 4-8.

PRUITT, W. O.; DOORENBOS, J. *Empirical calibration, a requisite for evapotranspiration formula based on daily or Longer climatic data*. In: *International round table coference on evapotranspiration*, Budapest international comission on irrigation and draina ge, 1977, pp. 1-20. (ICID-Question, 3).

RAVEN, J.A. *Action spectra for photosynthesis and light simulated ion transport processes in Hydrodictyon africanum*. New Phytol., v.68, n.1, 1969, pp. 45-62.

RAMOS, D.G.; OLIVEIRA, A. S.; PAZ V. P. da; PEREIRA, F. A. de. *Estimativa da temperatura média do ar na bacia do rio Itapicuru, Bahia*. In: *XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*. Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, pp. 104-105.

REPELLI, C. A.; NOBRE, P. *Modelagem Estatística das anomalias de Temperatura da Superfície do Mar do Oceano Atlântico Tropical* Revista Climanálise – Edição comemorativa de 10 anos, 1996.

ROUSE, W. R.; WILSON, R. G. *Test of potential accuracy of the water budget approach to estimating evapotranspiration*. Agricultural Meteorology, v. 9, 1972, pp. 421-446.

SANTOS, O. A.; BERGAMASCHI, H., CUNHA, G. R. *Necessidades hídricas da alfafa*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.4, n. 1, 1995, pp. 37-40.

SAS INSTITUTE. SAS/STAT user's guide. 5.ed. Cary, . v.1, 1990, p. 956.

SCURDUA, J. A. *Ocorrência de dias secos consecutivos na região de Cachoiero do Itapemirim, Estado do Espírito. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979, p. 76. (Tese de mestrado).*

SEDIYAMA, G.C.; MELO JÚNIOR, J.C.F. *Modelos para Estimativas das Temperaturas Normais Mensais Médias, Máximas, Mínimas e Anual no Estado de Minas Gerais*. Rev. Eng. Agricultura, 1998, pp. 57-61.

SENTELHAS, P.C.; CARAMORI, P.H. *Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas*. Rev. Bras. Agrometeorologia, v.10, n.2, 2002, , pp. 301-304.

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

SELLERS, W. D. *Physical Climatology*. The University of Chicago Press, 1985, p. 227.

SEVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA. I.J.O. *Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico*. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 51, n.1, 1994, pp. 01-07.

SILVA, V. P. R.; BELO FILHO A. F.; CAMPOS, J. H. B. C.; DANTAS, R.T. *Sistema de estimativa e monitoramento da evapotranspiração de referência-SIEN-ETo* In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, pp. 2235-2241.

SILVA, V. P. R.; DANTAS, R. T.; CAMPOS, J. H. B. C.; GUEDES, M. J. F. *Estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith – FAO/56, Hargreaves e Tanque Classe A em períodos diários mensais*. In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e III Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, v. 2, n.2, 2001, pp. 467-468.

SILVA, V.P.R.; FILHO, A.F.B.; SILVA,B.B.,CAMPOS, J.H. *Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência*. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Campinas-SP, Meteorologia e climatologia, 2005, pp. 78-79.

SILVA, T. G. da; MOURA, M. S. B. de; TURCO, S. H. N.; PADILHA, C. V. S.; TEIXEIRA, A. H. C. *Estimativa e espacialização da umidade relativa do ar no estado do Piauí*. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, p. 445.

SILVA, L.L. da; MENEZES, H. E. A.; LIMEIRA, R.C.; SILVA, A. D. da; DANTAS, R. T.; *Comparação da transmissividade e atenuação atmosférica entre Campina Grande e João Pessoa no estado da Paraíba*. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP, Meteorologia e climatologia, 2005, pp.169-170.

SOUSA, F. *Avaliação dos estudos hidroclimatológicos do plano estadual de recursos hídricos do Ceará: I – Evapotranspiração*. Irriga, Botucatu, v.3, nº 3, 1998, pp. 109-125.

SOUSA, W. S.; SOUSA, F. A.; LIMEIRA, R. C. *Estudo da estrutura da evapotranspiração na região Nordeste do Brasil utilizando análise de componentes principais*. In: XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas-SP, Estatística e modelagem, 2005, pp. 41-42.

SOUZA, E. P. *Estudo teórico e numérico da relação entre convecção e superfícies heterogêneas na região amazônica*. Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999, p. 121. (Tese Doutorado)

SOUZA, E. P.; DIAS, P.L. *Interação entre nuvens convectivas não precipitantes e radiação*. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, pp. 601-617.

SOUZA, E. P.; E. M. SILVA, *Impacto da implementação de uma parametrização de convecção rasa em um modelo de mesoescala: Descrição e testes de sensibilidade do esquema*. Rev. Bras. Meteorol. v.18, p. 601-617, 2003, pp. 601-617.

SMITH, M.; ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. *Revised FAO methodology for crop water requirements*. In: *Evapotranspiration and irrigation scheduling, Proceedings of the Internacional Conference*, American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, november, 3-6, San Antonio, Texas, 1996, pp. 116-123.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N.; SOARES, W. R. *Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul*. Agropecuária. Clima Temperado. Pelotas, v.2, nº1, 1999, pp. 77-851.

STULL, R. B. *A fair-weather cumulus cloud classification scheme for mixed-layer studies*. J. Climate Appl. Meteor., v.24, 1985, pp. 49-56.

TARPLEY, J. D. *Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data*, J. Appl. Meteorol, 18, 1979, pp. 1172– 1181.

TEIXEIRA, P.R.; CERQUEIRA, R.C.C.M.; SOUSA, W.J. de; BORBA, J.C.C.; SÁ, M.O.; QUERINO, C.A.S.; MEIXNER, F. X.; MOURA, M.A.L. *Estudo comparativo dos componentes do balanço de radiação para um dia de céu claro e outro de céu parcialmente nublado na Amazônia*. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004, pp. 698-707.

TETENS, O. *Über einige meteorologische Begriffe*. "Z. Geophys"., 6:,1930, pp. 297-309

THORNTHWAITE, C. W. *An Approach toward a rational classification of climate*. Geographical Review, v.38, n°1, 1948, pp. 54-94.

THORNTHWAITE, C.W. e MATHER, J.B. *The water publications in climatology*. v. 8, n° 02 centron, New Jerse, 1955.

THORNTON, P.E.; RUNNING, S.W. *An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation*. Agric. Forest. Meteorol., v. 93, 1999, pp. 211-228.

TIBA, C. H.; FREIDENREICH, N. *Atlas solarimétrico do Brasil*. Editora Universitária da UFPE, Recife, 2002, p. 111.

TIEDTKE, M., *A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models*. Mon. Wea. Rev., v.117, 1989, pp. 1779-1800.

TIMMONS, M.B.; GATES, R.S. *Predictive model of laying hen performance to air temperature and evaporative cooling*. Transaction of the ASAE, v.31, n°5, 1988, pp. 1503-1509.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília, DF: Ed. Pax, INMET, 2001. p. 532.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa, MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa/ Imprensa Universitária, 1991, p. 449.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: UFV, 2000.

VILLA NOVA, N. A. *Estudos Sobre o Balanço do Energia em Cultura do Arroz*. Piracicaba, ESALQ / USP: Tese Livre Docência, 1973, p. 89.

VILLA NOVA, N. A.; PEREIRA, A. R.; BARBIERE, V. *Evapotranspiration as a function of leaf area index class A pan evaporation*. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n°2, 1996, pp. 35-37.

WETZEL, P. J.; ARGENTINI S.; BOONIE A. *Role of land surface in controlling daytime cloud amount: Two case studies in GCIP-SW area.* J. Geophys. Res., v. 101, 1996, pp. 7359-7370.

WMO - Meteorological Aspects of the Utilization of Solar Radiation as an Energy Source. *World Meteorological Organization*, publication WMO no.557, technical note no.172, Geneva (Switzerland), 1981, p. 298.

WRIGHT, J.L.; JENSEN, M.E.. *Peak water requirements of crops in southern Idaho.* J. Irrig. And Drain. Div., ASCE 96(IR1):, 1972, p. 193-201.

## 7. ANEXOS

Anexo 01 - Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do verão de 2004  
(21/12 à 31/12 e 01/01 à 19/03)

Dia	EToPM (mm/dia)	EToH (mm/dia)	EToL (mm/dia)	EToT (mm/dia)	Dia	EToPM (mm/dia)	EToH (mm/dia)	EToL (mm/dia)	EToT (mm/dia)
1	x	3,7	2,9	x	47	3,6	4,0	2,5	3,4
2	3,3	5,0	2,4	4,7	48	3,8	4,1	2,4	3,7
3	3,3	4,9	2,3	4,5	49	3,7	3,6	2,8	3,1
4	3,2	4,5	2,3	4,2	50	3,7	4,6	2,7	4,2
5	3,3	4,8	2,4	4,4	51	3,7	3,6	2,4	3,1
6	3,4	4,6	2,3	4,3	52	3,6	3,8	2,6	3,3
7	3,3	5,1	2,5	4,7	53	3,7	4,2	2,6	3,7
8	3,5	4,5	2,4	4,1	54	3,8	4,3	2,5	3,8
9	3,4	4,7	2,3	4,4	55	3,8	4,0	2,5	3,5
10	3,3	4,6	2,1	4,3	56	3,7	4,0	2,6	3,5
11	3,4	4,5	2,4	4,0	57	3,7	4,3	2,6	3,9
12	3,4	4,9	2,1	4,7	58	3,8	4,1	2,1	3,8
13	3,4	4,2	2,5	3,7	59	3,2	4,1	2,2	3,7
14	3,6	3,4	2,6	2,8	60	3,1	3,9	2,8	3,3
15	3,7	4,3	2,3	4,0	61	3,2	4,2	2,7	3,8
16	3,5	3,5	2,7	3,0	62	3,3	4,5	2,5	4,2
17	3,8	4,3	2,2	3,9	63	3,3	4,3	2,4	3,9
18	3,8	3,9	2,4	3,5	64	3,2	4,2	2,6	3,7
19	3,7	4,7	2,2	4,5	65	3,2	4,2	2,4	3,7
20	3,7	3,7	2,2	3,3	66	3,2	4,1	2,6	3,7
21	3,6	4,4	2,2	4,2	67	3,3	3,3	2,3	2,9
22	3,5	3,8	2,1	3,5	68	3,1	4,0	2,4	3,6
23	3,3	3,8	2,4	3,3	69	3,0	4,3	2,7	4,0
24	3,6	4,1	2,4	3,6	70	3,3	3,8	2,4	3,4
25	3,7	3,9	2,1	3,5	71	3,2	4,2	2,6	3,9
26	3,6	4,1	2,3	3,7	72	3,2	4,2	2,5	3,7
27	3,7	3,4	2,5	2,9	73	3,2	4,2	2,5	3,8
28	3,7	3,5	2,1	3,2	74	3,2	4,4	2,6	4,0
29	3,3	3,8	2,4	3,4	75	3,3	3,7	2,3	3,4
30	3,6	3,6	2,4	3,2	76	3,1	3,5	2,6	3,1
31	3,6	3,4	2,2	2,9	77	3,2	3,8	2,3	3,5
32	3,4	4,0	2,4	3,6	78	3,1	3,8	2,1	3,5
33	3,6	4,0	2,1	3,7	79	3,1	4,0	2,4	3,7
34	3,6	3,9	2,2	3,4	80	3,2	4,7	2,3	4,5
35	3,7	4,0	2,0	3,6	81	3,3	4,8	2,3	4,6
36	3,6	3,5	2,2	3,1	82	3,2	4,6	1,9	4,5
37	3,4	3,9	2,4	3,4	83	3,1	4,7	2,3	4,4
38	3,5	3,9	2,5	3,4	84	3,0	3,6	2,6	3,1
39	3,5	4,0	2,6	3,4	85	3,1	4,5	2,1	4,2
40	3,7	4,0	2,6	3,5	86	3,1	5,2	2,2	5,1
41	3,6	4,3	2,5	3,9	87	3,2	4,6	2,1	4,4
42	3,6	4,5	3,0	4,0	88	3,2	5,1	2,1	4,9
43	3,8	2,6	2,6	2,0	89	3,2	4,6	1,9	4,4
44	3,6	4,1	2,4	3,7	90	3,1	4,9	2,1	4,7
45	3,7	4,0	2,4	3,6					
46	3,5	3,4	2,6	2,8					

**Anexo 02 - Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do outono de 2004**  
20/03 à 20/06

<b>Dia</b>	<b>EToPM (mm/dia)</b>	<b>EToH (mm/dia)</b>	<b>EToL (mm/dia)</b>	<b>EToT (mm/dia)</b>	<b>Dia</b>	<b>EToPM (mm/dia)</b>	<b>EToH (mm/dia)</b>	<b>EToL (mm/dia)</b>	<b>EToT (mm/dia)</b>
1	3,1	4,3	2,4	4,1	47	2,7	2,8	2,3	2,8
2	3,0	4,0	2,7	3,6	48	2,6	3,4	2,7	3,5
3	3,2	3,4	2,6	2,9	49	2,8	3,5	2,5	3,7
4	3,1	3,8	2,4	3,5	50	2,7	3,5	2,5	3,8
5	3,1	4,1	2,4	3,9	51	1,7	3,8	2,7	4,4
6	3,1	4,2	2,6	4,0	52	2,6	3,7	2,8	4,1
7	3,1	3,9	2,7	3,6	53	2,5	3,3	2,6	3,6
8	3,1	4,1	2,4	3,9	54	2,6	3,2	2,4	3,6
9	3,2	3,9	2,4	3,7	55	2,6	3,0	2,5	3,2
10	3,1	4,4	2,5	4,2	56	2,6	2,6	2,3	2,8
11	3,1	4,8	2,6	4,8	57	2,5	3,2	2,4	3,6
12	3,1	4,6	2,7	4,5	58	2,6	3,4	2,8	3,9
13	3,1	4,4	2,5	4,2	59	2,6	3,2	2,5	3,5
14	3,1	4,4	2,2	4,2	60	2,7	1,8	2,7	1,6
15	3,3	3,6	2,2	3,4	61	2,6	2,7	2,3	2,9
16	2,9	4,0	2,5	3,9	62	2,5	3,3	2,7	3,8
17	3,0	3,6	2,3	3,3	63	2,5	3,2	2,5	3,5
18	2,9	3,9	2,5	3,6	64	2,6	3,0	2,5	3,4
19	3,0	4,0	2,4	3,9	65	2,5	3,0	2,3	3,5
20	3,0	3,9	2,0	3,8	66	2,6	2,3	2,4	2,4
21	2,9	3,8	2,5	3,6	67	2,5	3,1	2,5	3,5
22	3,0	4,2	2,7	4,2	68	2,6	2,9	2,4	3,3
23	2,9	3,8	2,3	3,6	69	2,5	3,1	2,2	3,7
24	2,9	3,5	2,4	3,4	70	2,4	2,6	2,3	2,8
25	3,0	4,2	2,5	4,3	71	2,3	3,0	2,3	3,4
26	2,9	3,7	2,8	3,5	72	2,4	3,0	2,4	3,5
27	3,2	4,5	2,6	4,7	73	2,4	2,8	2,4	3,3
28	3,1	4,3	2,7	4,5	74	2,5	2,6	2,4	2,8
29	3,0	3,8	2,4	3,8	75	2,4	3,0	2,1	3,5
30	3,0	3,9	2,4	4,0	76	2,4	2,9	2,0	3,5
31	2,9	3,8	2,4	3,8	77	2,4	2,6	2,3	2,9
32	2,9	3,8	2,7	3,8	78	2,3	3,3	2,6	4,0
33	3,0	3,5	2,0	3,7	79	2,5	2,3	2,4	2,4
34	2,9	2,7	2,6	2,6	80	2,4	2,5	2,5	2,8
35	2,9	3,2	2,3	3,3	81	2,4	2,6	2,2	2,9
36	2,8	3,1	2,5	3,1	82	2,4	2,2	2,5	2,4
37	2,8	3,8	2,5	3,9	83	2,4	2,1	2,4	2,3
38	2,8	3,7	2,5	3,7	84	2,3	2,5	2,4	2,8
39	2,7	3,1	2,6	3,0	85	2,4	2,9	2,2	3,4
40	2,7	3,5	2,5	3,6					
41	2,8	3,6	2,5	3,7					
42	2,7	3,9	2,6	4,4					
43	2,8	3,5	2,2	3,8					
44	2,8	2,3	2,6	2,1					
45	2,8	2,7	2,5	2,6					
46	2,7	2,7	2,4	2,7					

**Anexo 03 - Estimativa de evapotranspiração de referência na estação do inverno de 2004 (21/06 à 21/09)**

<b>EToPM EToH EToL EToT</b>				<b>EToPM EToH EToL EToT</b>					
<b>Dia</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>Dia</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>	<b>(mm/dia)</b>
1	2,3	2,3	2,4	2,5	47	2,6	2,9	2,1	3,1
2	2,4	2,5	1,8	2,9	48	2,6	3,3	2,0	3,7
3	2,2	2,6	2,0	3,1	49	2,6	3,5	2,4	3,9
4	2,3	2,7	2,5	3,2	50	2,7	3,5	2,0	3,9
5	2,4	3,0	2,2	3,7	51	2,6	3,7	2,3	4,2
6	2,3	2,4	2,0	2,7	52	2,7	2,8	2,1	3,0
7	2,3	2,6	2,5	2,9	53	2,5	3,2	2,3	3,5
8	2,4	3,3	2,3	4,1	54	2,5	3,5	2,3	4,1
9	2,5	2,6	2,4	2,9	55	2,5	3,9	2,3	4,5
10	2,4	2,2	2,4	2,4	56	2,7	2,6	2,4	2,6
11	2,3	3,3	2,4	4,1	57	2,6	2,6	2,3	2,6
12	2,4	3,3	2,3	4,2	58	2,6	3,7	2,5	4,1
13	2,4	2,0	2,2	2,2	59	2,7	3,5	2,1	3,8
14	2,3	2,7	2,4	3,1	60	2,7	3,3	2,0	3,5
15	2,5	2,9	2,2	3,3	61	2,7	3,4	2,0	3,7
16	2,3	2,9	2,4	3,3	62	2,7	3,5	2,2	3,7
17	2,4	3,1	2,5	3,5	63	2,8	3,5	1,9	3,9
18	2,6	2,8	1,9	3,2	64	2,6	4,0	2,2	4,5
19	2,3	2,8	2,3	3,2	65	2,6	4,3	2,3	5,0
20	2,5	3,0	2,2	3,5	66	2,6	3,9	2,1	4,2
21	2,4	3,5	2,6	4,2	67	2,6	3,8	2,1	4,0
22	2,3	4,1	3,0	5,3	68	2,8	4,0	2,1	4,5
23	2,5	1,9	2,4	1,9	69	2,7	3,7	2,1	3,9
24	2,3	2,8	2,5	3,3	70	2,8	4,0	1,9	4,3
25	2,4	2,2	2,3	2,3	71	2,7	3,9	2,1	4,1
26	2,4	2,4	2,1	2,6	72	2,7	3,7	2,1	3,9
27	2,4	2,7	2,4	3,1	73	2,8	4,4	2,5	4,8
28	2,5	2,6	2,1	3,0	74	2,7	3,3	2,1	3,2
29	2,4	3,3	2,2	4,1	75	2,8	3,9	2,1	4,1
30	2,4	3,9	2,7	4,9	76	2,9	3,9	2,0	4,1
31	2,5	3,4	2,6	4,0	77	2,9	3,9	2,2	4,1
32	2,6	3,8	2,3	4,8	78	2,9	4,1	2,4	4,4
33	2,5	3,4	2,5	4,1	79	2,9	4,4	2,2	4,8
34	2,5	3,1	2,3	3,6	80	2,8	4,3	2,1	4,6
35	2,5	1,9	2,2	2,0	81	2,8	3,7	2,3	3,8
36	2,3	2,4	2,3	2,6	82	2,9	2,9	2,2	2,7
37	2,4	2,2	2,0	2,3	83	2,7	3,9	2,0	3,9
38	2,3	2,9	2,1	3,4	84	2,9	4,2	1,9	4,4
39	2,4	2,4	2,3	2,5	85	2,9	3,9	2,1	3,9
40	2,5	3,3	2,2	3,9	86	2,9	4,1	2,0	4,2
41	2,5	3,9	2,3	4,8	87	2,9	4,1	1,9	4,3
42	2,4	3,1	2,1	3,5	88	2,9	4,3	2,5	4,3
43	2,6	3,4	2,2	4,0	89	3,0	4,1	2,5	4,1
44	2,5	3,2	2,0	3,7	90	3,0	4,1	2,5	3,9
45	2,6	3,3	2,0	3,8	91	3,0	4,1	2,1	4,1
46	2,5	3,1	2,3	3,4	92	2,9	4,5	2,2	4,7
					93	2,9	4,3	1,6	4,5

**Anexo 04 - Estimativa de evapotranspiração de referência na estação da primavera de 2004**

22/09 à 20/12

<b>Dia</b>	<b>EToPM (mm/dia)</b>	<b>EToH (mm/dia)</b>	<b>EToL (mm/dia)</b>	<b>EToT (mm/dia)</b>	<b>Dia</b>	<b>EToPM (mm/dia)</b>	<b>EToH (mm/dia)</b>	<b>EToL (mm/dia)</b>	<b>EToT (mm/dia)</b>
1	2,8	3,8	2,2	3,7	47	3,1	4,4	1,9	4,2
2	2,9	4,2	2,3	4,2	48	2,6	5,4	5,6	4,4
3	3,0	3,9	1,8	4,0	49	3,8	4,7	2,2	4,5
4	2,8	4,1	2,1	4,1	50	3,0	5,0	2,2	5,0
5	3,0	3,7	1,9	3,7	51	3,1	4,9	2,2	4,7
6	2,8	4,1	2,1	4,1	52	3,1	3,8	2,2	3,5
7	3,0	3,9	1,9	3,9	53	3,0	4,6	2,3	4,2
8	2,9	4,4	2,0	4,5	54	3,1	4,7	2,1	4,5
9	2,9	4,5	1,9	4,5	55	3,1	4,6	2,4	4,3
10	2,9	4,4	2,0	4,5	56	3,1	4,9	2,2	4,7
11	2,8	4,3	2,2	4,2	57	3,1	5,4	2,2	5,4
12	3,0	4,1	2,2	3,9	58	3,1	4,9	2,0	4,8
13	3,0	4,0	1,9	3,9	59	3,1	5,1	2,4	4,8
14	2,9	4,0	2,0	3,8	60	3,2	4,8	2,3	4,5
15	3,0	4,6	1,9	4,5	61	3,3	4,6	2,4	4,3
16	3,0	4,2	2,1	4,0	62	3,3	4,8	1,8	4,7
17	3,0	4,4	2,0	4,3	63	3,1	5,0	2,1	4,8
18	3,0	4,4	2,3	4,2	64	3,1	4,6	2,3	4,3
19	3,1	4,3	2,2	4,0	65	3,1	4,7	2,0	4,5
20	3,0	4,5	2,1	4,4	66	3,1	5,0	2,2	4,8
21	3,0	4,6	2,2	4,5	67	3,2	4,9	2,2	4,7
22	3,0	4,6	2,2	4,5	68	3,2	4,9	2,1	4,6
23	3,0	4,4	2,0	4,3	69	3,2	4,6	1,9	4,4
24	2,9	4,5	1,9	4,4	70	3,1	5,0	2,1	4,9
25	3,0	4,5	1,8	4,5	71	3,2	4,7	1,7	4,8
26	3,0	4,8	2,0	4,9	72	2,9	4,9	2,0	4,8
27	2,9	4,8	2,1	4,7	73	3,0	4,4	1,6	4,3
28	2,9	4,4	1,9	4,3	74	2,9	4,5	1,9	4,3
29	3,0	4,7	2,0	4,6	75	3,0	5,0	2,1	5,0
30	3,1	4,6	2,2	4,4	76	3,1	5,0	2,1	4,9
31	3,1	4,7	2,2	4,6	77	3,1	5,0	2,3	4,8
32	3,2	3,9	2,0	3,7	78	3,1	4,6	1,7	4,5
33	3,0	4,6	1,9	4,5	79	3,1	4,7	1,9	4,5
34	3,0	4,2	2,0	4,0	80	3,1	4,7	2,0	4,6
35	2,9	4,6	2,1	4,4	81	3,1	5,0	1,7	5,0
36	3,1	4,9	2,0	4,7	82	3,1	4,8	1,9	4,6
37	3,1	4,7	2,1	4,5	83	3,2	4,6	1,5	4,6
38	3,0	4,5	2,2	4,2	84	3,0	4,5	2,3	4,2
39	3,1	4,4	2,1	4,2	85	3,1	4,6	2,2	4,4
40	3,1	3,7	2,3	3,3	86	3,1	4,8	2,1	4,7
41	2,9	4,8	2,0	4,6	87	3,1	4,9	2,0	4,9
42	3,0	4,8	2,0	4,7	88	3,1	4,6	2,1	4,4
43	2,9	4,4	2,1	4,2	89	3,0	4,4	2,0	4,1
44	3,0	4,6	2,3	4,4	90	3,1	4,7	2,5	4,3
45	3,1	4,8	2,2	4,6					
46	3,2	4,9	2,2	4,7					



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)