



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II
DEPARTAMENTO DE PÓS - GRADUAÇÃO
CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS EM METEOROLOGIA

USO DE TANQUE DE CIMENTO AMIANTO COMO ALTERNATIVA PARA
MEDIR EVAPORAÇÃO

AUTORA: ANDRÉA SOCORRO LIMA SILVA

PUBLICAÇÃO DCA - CMM TD Nº 04 - 2000

CAMPINA GRANDE

OUTUBRO - 2000

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
MESTRADO EM METEOROLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**USO DE TANQUE DE CIMENTO AMIANTO COMO ALTERNATIVA PARA
MEDIR EVAPORAÇÃO**

Autora: Andréa Socorro Lima Silva

Campina Grande – PB

Outubro de 2000

ANDRÉA SOCORRO LIMA SILVA

**USO DE TANQUE DE CIMENTO AMIANTO COMO ALTERNATIVA PARA
MEDIR EVAPORAÇÃO**

Dissertação apresentada ao CURSO de
MESTRADO em METEOROLOGIA da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Ciências Atmosféricas
Sub-área de Concentração: Agrometeorologia

Mário de Miranda V. B. R. Leitão
Orientador

Campina Grande - PB
Outubro de 2000

ANDRÉA SOCORRO LIMA SILVA

USO DE TANQUE DE CIMENTO AMIANTO COMO
ALTERNATIVA PARA MEDIR EVAPORAÇÃO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/10/00

BANCA EXAMINADORA


Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão
Universidade Federal da Paraíba


Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa
Universidade Federal da Paraíba


Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto
Centro Nacional de Pesquisa do Algodão/Embrapa

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Valter da Silva e Maria da Guia Lima Silva,

pela dedicação, amor e sacrifícios ao longo da realização deste trabalho,

Aos meus irmãos, primos e sobrinhos,

pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Ao misericordioso Deus, pela realização deste trabalho e sempre está ao meu lado;

À Virgem Maria, por sua intercessão, proteção, auxílio e amparo;

Ao curso de Mestrado em Meteorologia do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba pela estrutura didático-científica;

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos;

Ao doutor **MÁRIO DE MIRANDA V. B. R. LEITÃO**, pela orientação, dedicação, amizade, incentivo, confiança e definição do experimento de campo;

Aos membros convidados da **BANCA EXAMINADORA**, pelas sugestões apresentadas para melhoria deste trabalho;

Aos professores do Departamento de Ciências Atmosféricas, pela atenção, amizade e ensinamentos durante a realização deste trabalho;

Aos professores Drs. Bernardo Barbosa da Silva, Tantravahi Venkata Ramana Rao, Nilson Augusto Villa Nova e Jesus Marden de Santos pelas sugestões apresentadas para melhoria deste trabalho;

À Divanete Cruz Rocha, a Eng.^a Eyres Diana Ventina da Silva e a Márcia Quirino pela atenção e assistência;

Aos colegas Josiclêda, Gertrudes, Jakson, Magna, Ana Cláudia, Ramón, Daisy e Werônica, pela amizade, companheirismo, união, incentivo, compartilhados durante estes anos de convivência;

Aos legionários do Praesidium Maria Mãe do Bom Conselho que sempre invocaram a providência divina em meu auxílio;

Enfim, a todos àqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Resumo

Esta pesquisa foi conduzida na Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Atmosféricas do CCT da Universidade Federal da Paraíba – UFPB Campus II, no município de Campina Grande – PB ($7^{\circ}13'32''$ S; $35^{\circ}54'15''$ W; alt. 518,34 m), no período de 15 de novembro de 1999 à 01 de abril de 2000, tendo como principal objetivo avaliar a performance de tanques de cimento amianto como uma alternativa de substituição do tanque Classe A para medir evaporação. O experimento foi realizado em quatro etapas distintas, usando-se quatro tanques, sendo dois Classe A operados de acordo com os padrões da OMM e dois de cimento amianto (caixas d'água de 500 litros), nos quais foram construídos poços tranquilizadores com cano de PVC de 100 mm de diâmetro, para ter-se as mesmas condições de leitura do Classe A. Nas três primeiras fases do experimento os tanques foram operados no mesmo nível em relação ao solo: um Classe A (C1) e um de cimento amianto (A1) em área gramada e os outros dois tanques C2 e A2 em uma área quase sem vegetação. O tanque A2 em cada fase foi operado de forma diferente, na primeira fase com uma lâmina d'água de 60cm, na segunda com lâmina de 40cm de água e 20cm de areia, na terceira com uma lâmina de 20cm de água e 40cm de areia, já na última fase o mesmo foi transferido para a área gramada, enterrado 45cm e operado com lâmina de 60cm. Também durante três fases experimentais foram efetuadas medidas de temperatura e umidade do ar, do saldo de radiação, da velocidade e direção do vento, bem como de temperatura da água nos quatro tanques. Para obtenção destas medidas utilizou-se um Micrologger 21X, o qual foi programado para efetuar leituras a cada segundo e fazer médias a cada dez minutos, vinte e quatro horas por dia. Ao comparar-se as medidas obtidas nos dois tipos de tanques, verificou-se que nas três primeiras fases houve maior evaporação nos tanques de cimento amianto e que na primeira fase este índice chegou a

cerca de 16%. Já na última fase houve uma evaporação um pouco maior no tanque Classe A. Percebeu-se também que na medida em que a umidade do ar foi aumentando houve uma tendência de aproximação das medidas de evaporação. Quanto a temperatura, os tanques Classe A apresentaram-se sempre mais aquecidos do que os tanques de cimento amianto no período diurno, enquanto no período noturno ocorreu o inverso, os tanques de cimento amianto apresentaram-se mais aquecidos que os tanques Classe A. Observou-se ainda que o tanque Classe A resfriou-se muito rápido e aqueceu-se também muito rápido, e que em média sua água esteve apenas mais aquecida do que a do tanque de cimento amianto em cerca de sete horas durante o dia. As estimativas de evaporação pelo método Penman sobrestimaram os valores medidos nas três fases experimentais, apresentando uma maior defasagem em relação ao tanque Classe A, 32,2; 37,4 e 38,9%, respectivamente.

ABSTRACT

This research was conducted at the Meteorological Station of the Department of Atmospheric Sciences of CCT of the Federal University of Paraíba – UFPB, Campus II, in the municipal district of Campina Grande - PB ($7^{\circ}13'32''$ S; $35^{\circ} 54'15''$ W; alt. 518,34 m), during the period of November 15, 1999 to April 01, 2000, with the main objective of evaluating the performance of pans of cement amianthus as a substitution alternative of the pan Class A, to measure evaporation. The experiment was accomplished in four different stages, using four pans, two Class A pans being operated in agreement with the standards of WMO and two of cement amianthus (water pans of 500 liters), where still wells were built with pipe of PVC of 100mm, to have the same conditions of the Class A pan. In the first three phases of the experiment the pans were operated at the same level in relation to the soil: one of Class A (C1) and one of cement amianthus (A1) in the area cevened with grass and the other two pans C2 and A2 in an area almost without vegetation. The pan A2 in each phase was operated in a different way, in the first phase with a layer of water of 60cm, in the second phase with a layer of 40cm of water and 20cm of sand, in the third phase with a layer of 20cm of water and 40cm of sand, already in the last phase, the same was transferred to the area covered with grass, buried 45cm and operated with a layer of 60cm. Also during the three experimental phases air temperature and humidity, net radiation, speed and direction the wind, as well as the temperature of the water in the four pans were measured. For obtaining these measurements a Micrologger 21X was used and is programmed to make readings to every second and to make averages every ten minutes, twenty-four hours a day. When comparing the values obtained in the two types of pans, it was verified that there was larger evaporation in the pans of cement amianthus in the first three phases and that in the first phase this index the attained 16%. Already in the last phase there was an evaporation a little larger in the pan Class A. It was also noticed that with the increase of humidity there was a tendency of increased evaporation. The temperature of the

Class A pans was always warmer than the pans of cement amianthus during the day, while in the night period it happened the inverse, the pans of cement amianthus got heated up more than the Class A pans. It was observed that the Class A pan cooled rapidly and also became warm very fast, and that on the average its water was slightly warmer than that of the pan of cement amianthus for a period of seven hours during the day. The evaporation estimates by the Penman method superestimated the values measured in the three experimental phases, presented a larger lag in relation to the pan Class A, 32,2; 37,4 and 38,9%, respectively.

SUMÁRIO

	Pág.
RESUMO	
ABSTRACT	
<u>1. INTRODUÇÃO</u>	01
<u>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	05
2.1. Medidas de evaporação.....	05
2.2. Estimativas de evaporação.....	12
2.3. Evapotranspiração.....	16
2.4. Balanço de energia.....	24
<u>3. MATERIAL E MÉTODOS</u>	28
3.1 Área experimental.....	28
3.1.1 Localização e condições climáticas.....	28
3.1.1.2 Instrumental utilizado.....	30
3.2. Metodologia.....	31
3.2.1 Sistemática da coleta de dados.....	37
3.2.1.1 Aquisição automática.....	37
3.2.1.2 Leituras diretas.....	38
3.2.1.3 Procedimentos operacionais.....	38
3.3 Métodos.....	38
3.3.1 Fórmula Geral da evaporação.....	38
3.3.2 Método do Tanque Classe A.....	39
3.3.3 Método de Penman.....	40

pág.

<u>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	42
4.1 Primeira fase experimental.....	42
4.2 Segunda fase experimental.....	51
4.3 Terceira fase experimental.....	60
4.4 Quarta fase experimental.....	68
4.5 Análise para todo período experimental.....	70
4.6 Comparação entre medidas e estimativas.....	74
4.7 Uma análise com medidas de outros locais.....	78
<u>5. CONCLUSÕES</u>	80
<u>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Latinos

- A1 - Tanque de cimento amianto 1
- A2 - Tanque de cimento amianto 2
- C1 - Tanque Classe A1
- C2 - Tanque Classe A2
- C_p - calor específico do ar, $\text{cal.g}^{-1}.\text{c}^{-1}$
- E - Evaporação, mm/dia
- E_a - poder evaporante da superfície
- e - pressão parcial de vapor, mb
- e_s - pressão de saturação, mb
- ECA - Tanque Classe A
- F- tamanho da área de bordadura, m
- K_p - coeficiente de correção do tanque Classe A
- L - calor latente de vaporização
- p- pressão atmosférica do local, mb
- Rn- saldo de radiação sobre a água livre
- T_a - temperatura do ar, °C
- TA1 - temperatura d'água do tanque de cimento amianto 1
- TA2 - temperatura d'água do tanque de cimento amianto 2
- TC1 - temperatura d'água do tanque Classe A interno
- TC2 - temperatura d'água do tanque Classe A externo
- U - velocidade do vento a 2m, Km/dia
- UR - umidade relativa, %

Gregos

γ - parâmetro psicométrico, mb/°C

Δ - coeficiente angular da curva, mb/°C

LISTA DE QUADROS

	pág.
Quadro 3.1 - Localização do conjunto de tanques na área interna do cercado da estação meteorológica durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais.....	34
Quadro 3.2 - Localização do conjunto de tanques na área externa ao cercado de instrumentos da estação meteorológica durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais.....	34
Quadro 3.3 - Localização do tanque Classe A C1 e dos tanques de cimento amianto A1 e A2 na área interna do cercado de instrumentos da estação meteorológica, durante a quarta fase experimental.....	36
Quadro 3.4 - Vista geral do experimento e da Estação Meteorológica durante a quarta fase experimental.....	36
Quadro 3.5 - Localização da estação meteorológica automática durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais.....	37

LISTA DE TABELAS

	pág.
Tabela 4.1 - Valores médios da lâmina d'água evaporada (mm/dia) durante a primeira fase experimental.....	44
Tabela 4.2 - Valores médios das temperaturas (°C) durante a primeira fase experimental.....	45
Tabela 4.3 - Valores médios da lâmina d'água evaporadas (mm/dia) durante a segunda fase experimental.....	53
Tabela 4.4 - Valores médios das temperaturas (° C) durante a segunda fase experimental.....	53
Tabela 4.5 - Valores médios da lâmina d'água evaporada (mm/dia) durante a terceira fase experimental.....	62
Tabela 4.6 - Valores médios das temperaturas (°C) durante a terceira fase experimental.....	63
Tabela 4.7 - Valores médios da lâmina d' água evaporada (mm/dia) durante a Quarta fase experimental.....	69
Tabela 4.8 - Valores diários da evaporação medida e estimada durante as três primeiras fases experimentais.....	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 3.1 - Distribuição da temperatura mensal: máxima (T _{máx}); mínima (T _{min}) e média (T _{méd}).....	29
Figura 3.2 - Distribuição da precipitação média mensal (mm) em Campina Grande.	29
Figura 3.3 - Distribuição da evaporação média mensal (mm) em Campina Grande..	30
Figura 4.1 - Comportamento da evaporação na primeira fase experimental em que as lâminas de A1 e A2 é de 60 cm de profundidade.....	46
Figura 4.2 - Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a primeira fase experimental.....	47
Figura 4.3 - Comportamento da temperatura média diária dos tanques e do ar durante a primeira fase experimental.....	47
Figura 4.4 - Evolução da disponibilidade de energia (W/m ²) média ao longo do dia durante a primeira fase experimental.....	48
Figura 4.5 - Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a primeira fase experimental.....	48
Figura 4.6 - Comportamento da velocidade do vento média (m/s) ao longo do dia durante a primeira fase experimental.....	49
Figura 4.7 - Comportamento da velocidade média do vento diária (m/s) durante a primeira fase experimental.....	49
Figura 4.8 - Comportamento da predominância do vento diária média ao longo do dia durante a primeira fase experimental.....	50
Figura 4.9 - Comportamento da predominância diária do vento diária durante a primeira fase experimental.....	50
Figura 4.10 - Comportamento da umidade relativa (%) durante a primeira fase experimental.....	51

Figura 4.11 - Comportamento da evaporação na segunda fase experimental, tanque de cimento amianto A2 com lâmina d'água de 40cm de profundidade..	55
Figura 4.12 - Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a segunda fase experimental.....	55
Figura 4.13 - Comportamento da temperatura média dos tanques e do ar na segunda fase experimental.....	56
Figura 4.14 - Evolução da disponibilidade de energia (W/m^2) média ao longo do dia durante a segunda fase experimental.....	57
Figura 4.15 - Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a segunda fase experimental.....	57
Figura 4.16 - Comportamento da velocidade do vento média (m/s) ao longo do dia durante a segunda fase experimental.....	58
Figura 4.17 - Comportamento da velocidade do vento média diária (m/s) durante a segunda fase experimental.....	58
Figura 4.18 - Comportamento da predominância do vento diária média ao longo do dia durante a segunda fase experimental.....	59
Figura 4.19 - Comportamento da predominância diária do vento durante a segunda fase experimental.....	59
Figura 4.20 - Comportamento da umidade relativa (%) durante a segunda fase experimental.....	63
Figura 4.21 - Comportamento da evaporação na terceira fase experimental, em que o tanque de cimento amianto A2 está com lâmina de 20cm de profundidade.....	64
Figura 4.22 - Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a terceira fase experimental.....	64
Figura 4.23 - Comportamento da temperatura média dos tanques e do ar a durante terceira fase experimental.....	65
Figura 4.24 - Evolução da disponibilidade de energia (W/m^2) média ao longo do dia durante a terceira fase experimental.....	65
Figura 4.25 - Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a terceira fase experimental.....	66

Figura 4.26 - Comportamento da velocidade do vento média (m/s) ao longo do dia durante a terceira fase experimental.....	67
Figura 4.27 - Comportamento da velocidade do vento diária (m/s) durante a terceira fase experimental.....	67
Figura 4.28 - Comportamento da predominância diária do vento média ao longo do dia durante a terceira fase experimental.....	67
Figura 4.29 - Comportamento da predominância do vento diária durante a fase terceira experimental.....	67
Figura 4.30 - Comportamento da umidade relativa (%) durante a terceira fase experimental.....	68
Figura 4.31 - Comportamento da evaporação na quarta fase experimental, tanque de cimento amianto A2 com lâmina de 60cm e enterrado 45cm.....	69
Figura 4.32 - Comportamento da evaporação diária durante todo o experimento dos tanques C1 e A1.....	71
Figura 4.33 - Comportamento da temperatura média da água dos tanques no período mais quente durante as três fases iniciais do experimento.....	72
Figura 4.34 - Comportamento da temperatura média da água dos tanques no período mais frio durante as três fases iniciais do experimento.....	72
Figura 4.35 - Evolução da umidade relativa do ar no período de 15/01 à 27/02/2000.	73
Figura 4.36 - Comportamento da precipitação durante todo o experimento.....	73
Figura 4.37 - Comparação da evaporação medida e estimada por Penman a primeira fase experimental.....	75
Figura 4.38 - Comparação da evaporação medida e estimada por Penman a segunda fase experimental.....	76
Figura 4.39 - Comparação da evaporação medida e estimada por Penman na terceira fase experimental.....	76
Figura 4.40 - Comparação da evaporação no tanque Classe A em duas estações distintas durante todo período experimental.....	79
Figura 4.41 - Comparação da evaporação no tanque Classe A em duas estações distintas no período de 29/12/99 a 31/03/00.....	79

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste Brasileiro ocupa uma área de 1.548.672Km² e sua população é de aproximadamente 45 milhões de habitantes (Escola Viva, 1998). Desta área 75% é semi-árida que se caracteriza por apresentar alta incidência de radiação solar durante todo o ano, baixa umidade e elevadas temperaturas que contribuem para altos índices de evaporação, que em alguns casos chegam a mais de 2000 mm/ano. Por outro lado, os diferentes sistemas meteorológicos que atuam na região, provocam uma grande complexidade climática e contribuem para uma distribuição muito irregular de precipitação pluviométrica, que culmina com uma grande variabilidade espacial e temporal. Por exemplo: enquanto no litoral são registradas precipitações médias anuais de 1800mm, no interior são observados áreas com menos de 350 mm/ano (LMRS-PB, 1999).

Por conseguinte, como a produção agrícola no semi-árido do Nordeste do Brasil (NEB) depende quase sempre da precipitação pluviométrica, devido a sua grande variabilidade o agricultor que vive da agricultura de subsistência e, geralmente não utiliza técnicas de manejo da água e do solo, adequados à realidade regional, enfrenta constantemente sérios prejuízos.

Por outro lado, a necessidade de aumentar a produção de alimentos para fazer face ao crescente aumento populacional e conseqüentemente a sua própria existência, o agricultor tem necessariamente sido obrigado a buscar novas alternativas de cultivo, visando aumentar a produtividade. Jackson (1982) afirma que a produção agrícola nas regiões áridas é quase totalmente dependente da irrigação e, nas regiões semi-áridas, a irrigação é cada vez mais usada para suprir a escassez de precipitação.

No Nordeste nos últimos anos tem sido incentivada a prática da irrigação, buscando assim manter o agricultor no campo e aumentar a produtividade agrícola. O grande problema é que não há nenhuma preocupação com o uso da água, quase sempre aplicada em excesso, o que no decorrer do tempo poderá produzir grandes mudanças nas características do solo.

Dentre os fatores que contribuem para baixa produção agrícola, destacam-se: as adversidades climáticas, caracterizadas pelas irregularidades da distribuição de chuvas, evapotranspiração acentuada e, conseqüentemente, inadequada disponibilidade de água para as culturas; solos pobres, sem manejo e recomposição adequada; inexistência de programa de distribuição de água e escassa assistência técnica aos produtores agrícolas de baixa renda. Beckett & Webster (1971) indicam as diferenças climáticas regionais, como um dos fatores responsáveis pela variação dos solos e que a ação do homem é o fator de variabilidade, principalmente nas características químicas.

A demanda hídrica sendo um fator que depende das condições meteorológicas, das características biológicas da cultura e das propriedades físicas do solo, precisa ser melhor entendida, para assim contribuir para aumentar a produtividade agrícola. Por outro lado, é de fundamental importância estudar os parâmetros meteorológicos que direta ou indiretamente afetam o desenvolvimento e o rendimento das culturas; em particular aqueles

envolvidos com as perdas de água. A informação quantitativa sobre a perda de água em campos cultivados, juntamente com a ação dos fatores climáticos, são extremamente relevantes na exploração agrícola e nos projetos de irrigação.

A evaporação da água do solo é de grande importância na estimativa do balanço de água no solo, e uma informação primordial para resolução de problemas como manejo da irrigação, escolha da época do plantio, consumo de água pelas culturas etc. Deste modo, informações quantitativas desse processo, que se constituem em importante fase do ciclo hidrológico, são utilizados na resolução de inúmeros problemas envolvendo o manejo d'água, tanto no planejamento de áreas agrícolas de sequeiro, como de áreas irrigadas.

Por outro lado, alguns métodos de previsão de enchentes, a construção e operação de reservatórios, requerem dados confiáveis de evaporação e/ou evapotranspiração. Entretanto, essas informações são obtidas por medidas diretas em apenas alguns locais, sob condições meteorológicas distintas. Com isso, estimativas baseadas em princípios físicos e principalmente em equações empíricas, são utilizadas como alternativas para suprir esta carência.

Diante do exposto, o conhecimento das perdas d'água em superfícies naturais para a atmosfera em regiões áridas e semi-áridas representa uma valiosa contribuição para os diferentes campos do conhecimento científico, em especial nas aplicações de meteorologia e hidrologia. Aos meteorologistas interessa o estudo do fenômeno, pois ele condiciona a energética da atmosfera e altera as características das massas de ar nela existentes, enquanto para os hidrologistas essas informações são extremamente válidas no gerenciamento dos recursos hídricos. Diante disto, estudos que envolvam medidas precisas de evaporação, representam uma alternativa extremamente importante para o gerenciamento dos recursos

hídricos, tanto a nível de atividade agrícola como de armazenamento de água em reservatórios.

No que concerne as aplicações, o estudo de perdas d'água assume considerável significado prático, visto que o conhecimento da taxa média de transferência de vapor d'água para atmosfera pode propiciar o uso mais racional e eficiente da água. Também é evidente que, a partir de estudos dessa natureza, é possível quantificar melhor as lâminas d'água para irrigação e sua frequência. De modo geral, essas investigações fornecem subsídios que podem proporcionar um melhor controle da demanda de água em grandes reservatórios, racionalizando seu uso para fins industriais, abastecimento urbano etc. Assim sendo, estudos que visam caracterizar as perdas d'água para a atmosfera interessam diretamente aos meteorologistas, hidrologistas, agrônomos, sociólogos, economistas, engenheiros, administradores etc., já que podem beneficiar muitos setores da atividade humana e contribuir para o desenvolvimento sócio-econômico.

Finalmente, considerando que o tanque evaporimétrico Classe A, apesar de usado no mundo inteiro e ser considerado como instrumento padrão para medir a evaporação, por ser de metal, não representa a realidade das condições ambientais, e como consequência proporciona medidas não representativas. É fundamental que pesquisas sejam desenvolvidas visando obter-se medidas representativas da realidade, pois em regiões áridas e semi-áridas, diante das adversidades climáticas, a evaporação representa um dos parâmetros meteorológicos mais importante para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Diante do exposto, considerando que os tanques de cimento amianto são muito mais representativos das condições naturais e têm custo extremamente baixo comparando aos tanques de metal, este estudo tem como objetivo principal avaliar a performance de tanques de cimento amianto como uma nova alternativa para estimar evaporação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Medidas de evaporação

O fenômeno da transferência natural de água na forma de vapor pela evaporação de superfícies líquidas, úmidas e/ou vegetadas para atmosfera, constitui elemento decisivo no ciclo hidrológico, e é de essencial interesse nos diversos campos da atividade humana que tratam do aproveitamento e manejo da água. A atmosfera está em contínuo movimento, misturando e renovando o ar que envolve uma superfície, seja esta coberta de água ou vegetação. Essa renovação dificulta que o ar imediatamente acima da superfície se sature, mantendo o déficit de saturação e, por conseqüência, a continuidade do processo evaporativo. A medida direta da evaporação exige a utilização de um reservatório (tanque) onde o nível da água possa ser medido com precisão. A diferença da altura do nível da água em dias consecutivos indica o total evaporado no período. Em virtude da facilidade de medida da evaporação em tanques, este tem sido utilizado para estimar a evaporação de lagos e até mesmo de culturas, admitindo-se que existe correlação positiva entre a evaporação d'água do tanque e aquela do lago ou da superfície vegetada.

Estudos sobre evaporação, têm mostrado que a taxa de evaporação depende fundamentalmente da área exposta do tanque, isto é, da superfície de água que interage com a atmosfera. Sleight (1917) verificou utilizando tanques enterrados, em Denver, Colorado, EUA, que a taxa de evaporação diminui exponencialmente com o aumento na área do tanque, e que mantendo a área fixa (diâmetro igual a 0,61m) e variando a profundidade do tanque de 0,08m à 1,75m, não houve diferenças significativas nas taxas de evaporação.

Existem diversos tipos de tanques para medir a evaporação, sendo os mais comuns os seguintes: Classe A, GGI-3000 e 20m². Contudo, inúmeras são as modificações e adaptações feitas nesses tanques, principalmente no tanque Classe A. Baseando-se em diversos trabalhos Gangopadhyaya et al. (1966), listaram 27 tanques de evaporação, com diferentes características e grande diversidade de aplicação. Segundo Chang (1968) o tanque Classe A incorpora os efeitos de todos os elementos meteorológicos que atuam no processo evaporativo e, por esse motivo, permite estimativas a curto prazo, mais acuradas do que fórmulas empíricas. Oliveira (1971) citado por Pereira et al. (1997), utilizando o tanque de 20m² como padrão, nas condições de clima tropical em Piracicaba-SP, obteve os seguintes coeficientes: tanque Classe A de 0,67 a 0,89, com média de 0,76; tanque GGI-3000 de 0,88 a 1,04, com média 0,95.

Stewart & Rouse (1976) estudando a evaporação de lagos e tanques no verão, em Hudson Bay, usando a razão de Bowen e um modelo de equilíbrio, concluíram que 55% da radiação solar incidente foi utilizada no processo evaporativo. Estes autores comparando os resultados obtidos para lagos com valores estimados pela equação de Priestley & Taylor (1972), encontraram a mesma razão ($r=1,26$), e mostraram que a evaporação para lagos e tanques podem ser estimadas pela radiação solar e pela temperatura do ar.

A evaporação do tanque Classe A é uma medida do efeito integrado da radiação solar, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade relativa do ar sobre a evaporação de uma superfície de água livre. A estimativa da evaporação em superfícies livres de água em reservatório padrão, tem sido largamente usada para estimar a evapotranspiração de culturas, por está disponível em qualquer estação climatológica (Doorenbos & Pruitt, 1977). Hanson & Rauzi (1977) estudando a evaporação em tanque Classe A, em dois locais ao norte da grande planície, em Dakota do Sul, observaram que os tanques protegidos por quebra ventos constituídos de árvores, apresentaram evaporação cerca de 14% menor que aqueles não protegidos.

Hellwig (1978) ao estimar a evaporação em sete tanques com lençol freático variando de 0 a 600mm de profundidade durante 847 dias, em um local de clima árido (22°7'N; 16°38'E), na África do Sul, observou que quanto maior a profundidade do lençol freático menor a evaporação.

Idso et al. (1979) ao desenvolverem uma equação para calcular a evaporação diária em três estágios de secamento em solo argiloso, em Avondale e Phoenix, no Arizona, usando medidas lisimétricas, temperaturas máxima e mínima do solo e radiação solar, verificaram a validade do modelo para vários climas.

Palland (1979) ao avaliar o funcionamento de um novo tipo de evaporímetro denominado "evaporímetro escova" e testar em um campo gramado, observou que os valores medidos foram iguais as estimativas pelo método de Penman. Amorim Neto (1981) desenvolveu um sistema de medidas de evaporação baseado no tanque Classe A, no qual o volume de água evaporado é repostado através de um tanque complementar acoplado a um sistema de nível constante com uso de bóia. Este sistema tem a vantagem de dispensar o

uso do micrômetro, visto que as leituras são efetuadas diretamente numa escala comum com precisão de 0,05 mm.

Thom et al. (1981) ao analisarem as medidas e o comportamento físico da evaporação diária em tanque Classe A e Atmômetro de Piche, observaram que o tanque Classe A, aqueceu 31% a mais que a grama verde, e que suas medidas foram completamente distintas. Comparando estas medidas a estimativas pela equação de Penman, verificaram que as medidas do atmômetro de Piche, foram proporcionais ao segundo termo da equação de Penman e que as medidas do tanque Classe A, foram equivalentes as estimativas por uma equação do tipo combinado, que considerou o efeito do vento e o parâmetro psicométrico.

Idso (1981) ao verificar uma vasta literatura sobre evaporação, constatou que tanto os experimentos como as teorias desenvolvidas, evidenciam que a presença de vegetação (rasteira e aquáticas) próximo ou dentro de lagos e reservatórios, contribui para diminuir significativamente as perdas de água por evaporação e que a retirada desta vegetação proporciona aumento na evaporação.

Conforme Rosenberg et al. (1983), a evaporação e a transpiração, ocorrem simultaneamente na natureza e não é fácil, distinguir o vapor d'água produzidos pelos dois processos. Para estes autores o termo evapotranspiração é usado para descrever o processo total de transferência de água na forma de vapor de superfícies vegetadas. Afirmam que a energia disponível a superfície da terra se reparte em fluxo de calor para o solo, fluxo de calor sensível para o ar, fluxo de calor latente de evaporação, fotossíntese e trocas devidas as atividades metabólicas e ao armazenamento dos tecidos das plantas.

Mateus & Duarte (1987) comparando medidas de evaporação potencial de tanque Classe A e OMM de 20m², com estimativas obtidas pela fórmula de Penman para

Amazônia, verificaram que embora os valores do tanque Classe A tenham subestimado as estimativas por Penman, houve uma alta correlação entre os dados diários e médios mensais. Os dados do tanque Classe A apresentaram desvio médio de 22,6% em relação aos dados do tanque 20m², enquanto que as estimativas pela fórmula de Penman se afastaram 59,5%.

Ikebuchi et al. (1988) ao analisarem o desempenho de alguns métodos de estimativa de evaporação para o lago Biwa em 1985, e comparar métodos diretos e indiretos como: o tanque Classe A, correlação turbulenta, aerodinâmico e o balanço de energia, observaram que o método da transferência de massa baseado em medidas de superfície: temperatura da água, velocidade do vento, temperatura do ar e umidade, foi o que apresentou maior eficiência.

Molle (1989) com base em dados do tanque Classe A de onze postos evaporimétricos do semi-árido nordestino, estudou a variabilidade interanual da evaporação e definiu valores com diversas probabilidades de ocorrência a nível mensal, semestral e anual. Verificou também que a evaporação anual média é de 3m, com um coeficiente de variação da ordem de 10% e que dois terços desta evaporação anual, ocorre no período junho/dezembro.

Aloise et al. (1990) utilizando dados de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, velocidade do vento ao nível de 0,5 e 2m e três tipos de tanques Classe A, na estação experimental da UFRJ, na Ilha Universitária, Rio de Janeiro-RJ: um em ferro galvanizado pintado de branco, outro com as mesmas características mas com uma proteção de tela de arame, e um terceiro em aço inoxidável, sem proteção, observaram que os totais mensais do último tanque foram superiores aos demais, e que o tanque com tela de proteção foi o que apresentou os menores valores.

Ahmed (1991) afirma que o uso do tanque Classe A é uma boa alternativa para a obtenção da evaporação diária e mensal, porque este tipo de tanque envolve os principais parâmetros que influenciam a evaporação: temperatura, radiação solar e a velocidade do vento e também por ser um instrumento de baixo custo e de fácil manuseio.

Stannard & Rosenberry (1991) ao compararem medidas de evaporação do lago Hefner, usando os métodos do balanço de água e energia, verificaram que os fluxos de calor sensível e calor latente e a energia armazenada sobre o lago, variaram consideravelmente e que houve divergência em relação as estimativas.

Parlange & Katul (1992) ao estimarem a evaporação potencial em um solo sem vegetação e úmido em Davis, Califórnia, usando os métodos Penman-Brutsaert e Priestley-Taylor e comparar a medidas lisimétricas, observaram que o modelo de Priestley-Taylor apresentou bons resultados em condições instáveis exceto nos momentos em que houve advecção e o de Penman-Brutsaert em condições estáveis.

Segundo Withers (1995) o método intuitivo para determinar a capacidade evaporante da atmosfera é medir a evaporação da superfície livre da água. Para tanto, um recipiente aberto (tanque de evaporação) permite a exposição completa da superfície d'água a atmosfera e os resultados obtidos com tal aparelho devem apresentar estreita correlação com a água evaporada, na mesma localidade, pelas culturas. A grande vantagem desse dispositivo é a de constituir um método simples e barato para obter dados sem exigir instrumentos complicados. Deste modo, para calcular o consumo de água de uma cultura, os dados de evaporação precisam ser incorporados à intensidade da evaporação potencial da planta, contudo, chamam a atenção para o fato de que a evaporação de tanque varia de acordo com a colocação e exposição do mesmo.

Chin & Zhao (1995) ao utilizarem a evaporação medida com tanques e estimada usando os métodos Kriging Ordinário (OK), Kriging Universal (UK) e Penman-Monteith para obter evapotranspiração de referência (ET_0), no sul da Florida, concluíram que o método UK é o melhor para estimar ET_0 a partir de medidas de tanque e que o método de Penman-Monteith é o mais adequado para estimar ET_0 com base em dados meteorológicos.

Medeiros et al. (1997) ao estudarem as relações entre a evaporação medida em tanque Classe A padrão e minitanque, no interior de estufa e em estação meteorológica, observaram que em média o minitanque evaporou 15% a mais do que o tanque Classe A, na estação meteorológica, enquanto dentro da estufa evaporou 47% daquela observada na estação.

Machado & Saraiva (1998) ao analisarem as influências das variáveis meteorológicas nas taxas de evaporação do tanque Classe A e do atmômetro de Piche nas cidades de Rio Grande e Pelotas/RS, concluíram que as taxas de evaporação do tanque apresentaram valores mais altos nos meses de fevereiro e novembro, e o Piche em janeiro e dezembro. Por outro lado, os valores mínimos foram observados no mês de junho, para o tanque, e julho para o de Piche em Rio Grande, enquanto que em Pelotas ocorreram nos meses de julho e junho para o tanque e Piche, respectivamente.

Aguiar et al. (1998) estimaram a evaporação potencial em um solo Bruno Não Cálculo, em uma área da fazenda experimental da Universidade Federal do Ceará, usando dados do tanque Classe A e o modelo de umidade do solo desenvolvido pela FUCEME para profundidades de 20, 40, 60, 80 e 100cm, e fizeram o ajustamento das equações para cada profundidade, obtendo resultados satisfatórios para todas as profundidades, com exceção de 40cm.

Villa Nova & Sentelhas (1999) desenvolveram um novo sistema de medidas acoplado ao tanque Classe A padrão, que efetua balanço entre a água evaporada no tanque e a precipitação observada. Este sistema, que além de um tanque medidor é também um pluviômetro. Ao compararem as medidas do evapopluviômetro com evaporações simuladas e obtidas com o micrômetro verificaram excelentes resultados.

2.2 Estimativas de evaporação

Grant (1975) comparando os métodos de estimativa de evaporação razão de Bowen, aerodinâmico e o balanço de energia, à medidas efetuadas com lisímetros e sonda de nêutron, observou que os métodos do balanço de energia e da razão de Bowen apresentaram os melhores resultados e valores bem próximos. Jackson et al. (1976) ao calcularem a evaporação potencial combinando métodos tradicionais e usar medidas de albedo em uma área limitada, durante as fases líquida e de secagem do solo, observaram que o albedo foi proporcional ao conteúdo de água da superfície.

Gash & Stewart (1977) ao estimarem a evaporação potencial em uma área de pinho de 200 Km², na Floresta de Thetford em Anglia no ano de 1975, usando medidas micrometeorológicas, combinaram medidas de evaporação e estimativas de evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith (1965) e encontraram evaporação média anual de 595 mm.

Morton (1978) ao aplicar um modelo desenvolvido para estimar evapotranspiração e evaporação potencial em 122 bacias do Canadá, Irlanda e Kenia, que usa o conceito da relação complementar e dá ênfase as variáveis climatológicas: temperatura, umidade e radiação solar, observadas em qualquer estação meteorológica, e comparar ao balanço de água, encontrou uma boa aproximação.

Morton (1979) desenvolveu um modelo de estimativa de evaporação anual para lagos baseado em observações mensais de temperatura, umidade relativa e radiação solar. Aplicando o modelo aos lagos de Nasser no Nilo, Hefner em Oklahoma, Salton Sea e o Silver na Califórnia, Pyramid e Winnemcca em Nevada, Ontario entre Nova Iorque e Ontario e Dauphin em Manitoba, encontrou bons resultados ao comparar as estimativas baseadas no balanço de energia.

Quinn (1979) modificou a equação de transferência de massa baseando-se na camada limite e nas funções do gradiente de velocidade de vento, temperatura potencial e do comprimento de Monim-Obukhov para calcular a evaporação em lagos, e aplicar aos lagos Ontario e Hefner, verificou que a equação original subestimou os valores obtidos para o lago Ontario em aproximadamente 20%.

Frevert et al. (1983) ao desenvolverem equações de regressão para corrigir os coeficientes de evapotranspiração da FAO, usando os métodos da FAO Blaney-Criddle, Radiação, Penman e o Tanque Classe A, encontraram coeficientes de correlação maiores que 0,9. Marht & Ek (1983) fazendo algumas modificações na equação original de Penman e usando o método da instabilidade dependente para avaliarem a influência da estabilidade atmosférica na evaporação potencial em Wangara, observaram que a instabilidade no turno da tarde aumenta o termo aerodinâmico em 50% ou até mais.

Knapp et al. (1984) ao estimarem a evaporação mensal do lago Milford usando o método do transporte de massa e desenvolverem um modelo matemático com séries temporais baseado em dados médios semanais e mensais, verificaram uma predominância no ciclo anual de pequena evaporação na primavera e inverno e alta no verão e outono, e concluíram que a evaporação estimada mudou sensivelmente com as variações da temperatura da água.

Simon & Mero (1985) ao estimarem a evaporação no lago Kinneret, em Israel, e desenvolverem um modelo otimizado, usando dados de duas estações micrometeorológicas, concluíram que 30% da capacidade do reservatório evaporava por ano. Comparando o modelo com o método do balanço de energia verificaram boa concordância.

Granger (1989) ao avaliar a relação complementar entre evaporação real e potencial usando procedimento similar a Bouchet (1963), encontrou uma equação que mostrou que as evaporações potencial e real não são iguais. Granger & Gray (1989) seguindo o mesmo desenvolvimento de Penman (1948), encontraram uma equação simples, adimensional e válida para calcular a evaporação de superfícies não saturadas.

Nash (1989) ao analisar e comparar os conceitos de Morton (1983) de uma relação complementar entre evaporação real e potencial, com o de evaporação potencial de Penman (1948), encontrou compatibilidade entre os conceitos e concluiu que a diferença de um para o outro estava na terminologia e na imprecisão das definições. Snyder (1992) ao desenvolver uma equação combinando regressões da velocidade do vento, umidade relativa e o "fetch" para calcular o coeficiente de tanque (K_p), encontrou coeficientes mais precisos e de acordo com as condições ambientais de cada local.

Moura & Silans (1993) estudando a evaporação de lagos e açudes, a partir do conceito de advecção localizada, desenvolveram um método numérico inspirado em Weisman (1973) e fundamentado na teoria semi-empírica da turbulência de Monin-Obukov. Deste modo, obtiveram equações discretizadas e aplicaram para condição de instabilidade atmosférica, visando avaliar a interferência da forma e tamanho do açude sobre a evaporação. Com base nos resultados obtidos, estes autores sugerem que a disposição geográfica do lago deve ser escolhida quando possível, de maneira a minimizar

as perdas por evaporação e que deve-se dispor de um comprimento mais alongado do lago na direção de vento predominante.

Fennessey & Kirshen (1994) ao gerarem séries temporais mensais de evaporação e evapotranspiração potencial usando respectivamente os métodos Penman e Penman-Monteith e forçando condições perturbadas por modelos de circulação geral, nas quais são feitas simulações dobrando o potencial de concentração do CO₂ na atmosfera, observaram que se o CO₂ duplicar produz um acréscimo na temperatura de 2°C e 4°C respectivamente, o que pode elevar em 6 e 11% a evaporação e de 12 e 22 % a evapotranspiração.

Kim & Entekhabi (1997) ao examinarem os métodos de Priestley-Taylor (1972) e a relação complementar introduzida por Bouchet (1963) para estimar a evaporação regional usando a interação da camada de mistura e o modelo de superfície do solo, verificaram boa concordância entre os modelos. Teixeira et al. (1997) ao quantificarem a partição de energia solar num campo de videiras em diferentes estádios de desenvolvimento, sob distintas condições de umidade do solo e de demanda evaporativa da atmosfera, concluíram que 82% do saldo de radiação converteu-se em calor latente de evaporação, 13% em calor sensível e apenas 5% em fluxo de calor para o interior do solo.

Rodrigues et al. (1998) ao avaliarem a influência da textura do solo e o termo de rega na evaporação direta da água em uma cultura de feijão em Viçosa-MG, usando o modelo de Ritchie, observaram que a evaporação em solos arenosos é menor que em solos argilosos. Huntingford et al. (1998) estudando o efeito orográfico na evaporação para duas superfícies distintas, com alturas de 100 e 200m, a partir de um modelo orográfico que depende de temperatura e umidade específica e para superfícies planas, além dessas

variáveis foi usado o balanço de energia, concluíram que as diferenças encontradas na evaporação média foram devido o aumento da área e ao resfriamento adiabático.

2.3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração de uma determinada superfície é controlada pela disponibilidade de energia, demanda da atmosfera e pelo suprimento hídrico do solo (Penman, 1948 e 1956). Lemon et al. (1957) afirmam que evapotranspiração é uma função dos fatores meteorológicos do solo e da própria planta. Tanner & Lemon (1962) afirmam que em boas condições de umidade do solo a evapotranspiração depende, também, do tipo e estágio de desenvolvimento da cultura. 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.

Denmead & McIlroy (1970) comparando valores de evapotranspiração em trigo medida em lisímetros com estimativas baseadas no método do balanço de energia, para vários anos, não encontraram diferenças superiores a 0,1 mm/hora. Rouse & Wilson (1972) usaram o método do balanço de energia como padrão, para aferir a determinação da evaporação diária do solo através dos métodos gravimétrico e a sonda de nêutrons.

Hargreaves (1974) desenvolveu uma fórmula para a estimativa da evapotranspiração potencial, dando ênfase à simplicidade e ao uso mínimo de variáveis climáticas: temperatura média do ar e umidade relativa. Em diversas épocas autores como: Gangopadhyaya et al. (1966); Villa Nova (1967); Chang (1968); Dylla et al. (1980); Berlato & Molion (1981); Shaw (1983); Rosenberg et al. (1983); Pereira et al. (1997) e outros, descreveram diferentes técnicas de medidas e estimativas da transferência de vapor da superfície para a atmosfera.

Greenwood & Beresford (1979) ao estimarem a evapotranspiração de algumas espécies de eucalipto jovens com idade aproximada de 2 anos, em três locais de precipitação pluviométricas distintas: 420, 500 e 850mm em Hothan Valley, a sudeste de Perth e oeste a Austrália, verificaram que a transpiração em cada árvore variou de 26 a 37 litros/dia.

Ao estudar a temperatura e a evapotranspiração em soja (*Glycine Max L. Merrill*), Reicosky et al. (1980) verificaram uma redução de 40-70% devido a diminuição da umidade do solo e que houve um incremento de 4°C a 5°C na temperatura da cultura. Encarnação (1980) constatou que as estimativas de evapotranspiração potencial pelo tanque Classe A, entre outros métodos estudados, forneceu valores de K_c mais próximos daqueles sugeridos pela FAO.

A principal razão para se ignorar os efeitos hidrológicos e meteorológicos na evapotranspiração é que ela é extremamente difícil de ser medida ou estimada (Morton, 1983). Morton (1984) avaliando os fatores que limitam a evapotranspiração em floresta, verificou que diversos autores consideram o saldo de radiação solar como o principal fator, para Morton a evapotranspiração das florestas limita-se substancialmente pelos estômatos e não só pelo estresse provocado pelos fatores ambientais externos como: radiação solar, temperatura, déficit de pressão de vapor e a concentração de dióxido de carbono.

Hargreaves (1984) afirma que os valores dos coeficientes de evapotranspiração da FAO estimados por Doorenbos & Pruitt baseados em dados de 25 locais do oeste dos Estados Unidos e os modificados por Blaney-Criddle usando dados de grama, alfafa e gramas leguminosas, utilizados como dados de referência não são confiáveis e nem eficientes, pois os fatores de radiação e temperatura mudam muito de um lugar para outro.

Esse autor aconselha para estimar a evapotranspiração potencial, o uso de métodos que envolvam as variáveis temperatura e radiação, por serem mais precisos e representarem melhor a realidade local.

Greenwood et al. (1985) ao estimarem a evapotranspiração anual em pasto e algumas espécies de eucalipto em área com características de salinidade, no sudeste da Austrália, verificaram evapotranspiração anual de 390mm na pastagem e nas espécies de eucalipto entre 1600 e 2700mm, concluíram que a grande variação encontrada no eucalipto é atribuída ao local e a efetividade de cada espécie. Greenwood et al. (1985) ao estimarem a evapotranspiração anual na Floresta de Jarrah em Del Park, no sudeste da Austrália usando uma câmara de ventilação, encontraram um valor anual de 410mm no primeiro ano, considerando apenas o período diurno e 360 mm no segundo ano.

Knapp (1985) aponta duas razões básicas para o desconhecimento da evapotranspiração: 1) a não existência de instrumentação que possa verdadeiramente medir evaporação ou evapotranspiração em superfícies naturais; e 2) a evaporação e a evapotranspiração são altamente sensíveis às influências do microclima e apresentam grande variabilidade espacial.

Calder et al. (1986) ao estimarem a evapotranspiração numa floresta tropical localizada na Reserva natural do Janlappa a oeste de Java durante o período de um ano, usando o método do balanço de água, verificaram uma evapotranspiração de 1481mm. Sentelhas & Camargo (1996) ao compararem a evapotranspiração potencial obtida pelos métodos de Hargreaves (1974) e Hargreaves & Samani (1982), a medidas obtidas em evapotranspirômetros, verificaram uma superestimação. No entanto, ao modificarem a equação de Hargreaves (1974), substituindo o fator mensal de Hargreaves pela radiação

solar extraterrestre e o fator de correção da umidade relativa do ar, obtiveram estimativas melhores.

Mattos & Villela (1987) ao determinarem a evapotranspiração para a Bacia do Rio Paraíba do Sul, pelos métodos propostos pela UNESCO, verificaram que o método de Thornthwaite & Mather foi o mais adequado. Segundo Klar (1988) a evapotranspiração é dependente da disponibilidade de água à superfície, da energia disponível para vaporizá-la, da capacidade do ar em transportá-la, bem como do tipo de solo e da espécie vegetal. Jensen et al. (1990) afirmaram que o saldo de radiação representa o principal fator de controle climático da evapotranspiração, quando a água não é limitada, principalmente, em climas úmidos e subúmidos. Estes autores observaram que em clima úmido e frio somente 50 a 60% do saldo de radiação é convertido em calor latente, enquanto em climas áridos e quentes, o calor latente pode exceder o saldo de radiação em 10 a 50%.

Mota et al. (1991) ao compararem a evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método de Penman em Pelotas, Brasília, Campo Grande, Florianópolis, Castanhal e Bebedouro, concluíram que as estimativas a partir do tanque Classe A, foram menos correlacionadas com as estimadas por Penman baseadas em observações tradicionais. Illich et al. (1993) calculando a evaporação e a evapotranspiração potencial e real, pelo o modelo climatológico de Morton, usando os dados das Normais climatológicas, concluíram que existem grandes diferenças entre a evaporação e evapotranspiração regional e a calculada por este método.

Soriano & Pereira (1993) ao avaliarem vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, para sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense, tomando como padrão a evapotranspiração potencial estimada pelo tanque Classe A, concluíram que não houve supremacia dos métodos baseados no balanço de

energia sobre aqueles que utilizam apenas a temperatura do ar ou a radiação solar como variável independente, e que os métodos que apresentaram melhores resultados, foram os de Hargreaves & Semani, Linacre, Blaney & Criddle, Penman simplificado, Radiação Solar, Priestley & Taylor, Makkink e Jensen & Haise, e os menos precisos foram os de Penman, Camargo e Thornthwaite.

Allen et al. (1994) desenvolveram um método para calcular a evapotranspiração de referência (ET_0) para a grama, fazendo uma adaptação do método FAO com base em Penman-Monteith, que calcula a evapotranspiração de referência a cada hora e diária, considerando para altura da grama 0,12m e resistência 70 sm^{-1} , concluíram que o método pode ser utilizado para calibração e para o cálculo da ET_0 , e que o mesmo apresenta bons resultados comparado aos métodos usuais.

Assis (1995) comparando valores de evapotranspiração medida em evapotranspirômetros lençol freático constante cultivado com grama, em Piracicaba-SP e com sorgo sacarino em Pelotas-RS, a estimativas obtidas pela fórmula de Penman-Monteith, proposta pela FAO em 1991, encontraram boa relação e coeficientes de correlação maiores que 0,8.

Sentelhas & Camargo (1995) ao compararem a evapotranspiração potencial para o Estado de São Paulo, obtida com evapotranspirômetros e estimada pelo método de Hargreaves (1974), observaram que os valores estimados superestimaram os observados, tanto a nível decendial como mensal. Com base neste estudo estes autores propuseram uma alteração na equação original de Hargreaves (1974), que consiste na substituição do fator mensal pela radiação solar extraterrestre.

Chiew et al. (1995) ao compararem a evapotranspiração de referência (ET_0) de 16 locais da Austrália com diferentes condições de clima, com alguns métodos, concluíram

que o método da FAO-24 Penman superestimou ET_0 em 20 a 40%, em relação ao método de Penman-Monteith. Já o método da FAO-24 Blaney-Criddle, o qual usa dados de temperatura, apresentou o mesmo resultado de Penman-Monteith para valores mensais. Também encontraram uma boa correlação entre o tanque Classe A e Penman-Monteith para períodos superiores a três dias. No entanto, alertam para o fato que o coeficiente do tanque Classe A é muito dependente do local, do clima e das condições físicas.

Caseiro & Júnior (1995) ao compararem a evapotranspiração máxima de uma cultura de milho em região de cerrado, estimada pela equação de Penman, usando os coeficientes de cultura fornecidos pela FAO, com medidas obtidas dentro da realidade climática da região, concluíram que a evapotranspiração máxima estimada foi significativamente diferente dos valores medidos, subestimando-os ao longo de todo o ciclo do milho.

Cury & Villa Nova (1995) ao estimarem a evapotranspiração de referência através dos métodos mais consagrados, propuseram adaptações locais ao método de Thornthwaite através da adição de valores do poder evaporante do ar à sombra. Também, introduziram uma modificação na equação de Penman substituindo o termo aerodinâmico por uma função que expressa a evaporação do tanque Classe A coberto. Concluíram que o método de Thornthwaite foi o que apresentou o menor grau de precisão por ser baseado apenas na temperatura do ar e que métodos que levam em conta o efeito da radiação solar sobre a evapotranspiração foram os que forneceram estimativas mais precisas.

Villa Nova et al. (1996) determinaram a evapotranspiração em função da área foliar com culturas diferentes (cana-de-açúcar, milho e alface), utilizando como indicador da demanda atmosférica por água, evaporação observada no tanque Classe A. Alves et al. (1997) ao compararem estimativas de evapotranspiração com valores medidos pelo Hydra

na Amazônia, concluíram que a evapotranspiração estimada pela equação de Penman-Monteith, pareceu se ajustar melhor, que os valores medidos pelo Hydra, os quais indicaram uma sobrestimativa.

Prueger et al. (1997) comparando a evapotranspiração obtida por lisímetro com estimativas pela razão de Bowen em uma cultura de lentilhas, em clima semi-árido, verificaram que enquanto em 1993 a evapotranspiração medida com lisímetro, excedeu esta razão, em 1994, estiveram de acordo com a mesma, e concluíram que as diferenças entre o lisímetro e a razão de Bowen foi em torno de 10% e que isto ocorreu devido ao excesso de precipitação e a inadequada drenagem do lisímetro.

Amorim et al. (1997) ao estimarem a evapotranspiração de referência pelo tanque Classe A e testarem contra alguns modelos: Cuenca (1989), Frevert et al. (1983), Pereira et al. (1995) e Snyder (1992), adotando o modelo de Penman-Monteith como padrão, concluíram que entre os modelos estudados o de Frevert et al. (1993) foi o que apresentou melhor ajuste e que todos os modelos de coeficientes de tanque (K_t) se ajustaram satisfatoriamente aos dados de evaporação obtidos pelo tanque Classe A.

Lima & Silva (1997) determinaram o valor médio do coeficiente de tanque (K_p) e estabeleceram uma equação de correlação entre a evapotranspiração de referência (ET_o) medida em evapotranspirômetros e a evaporação do tanque Classe A (ECA), para o município de Teresina-Pi, obtendo a seguinte equação de correlação para o período de maior déficit hídrico $ET_o = 0,7101ECA$. Netto & Azevedo (1998) ao estimarem o coeficiente de cultura ao longo do ciclo vegetativo da videira utilizando os métodos do Balanço de água e Penman, concluíram que o método do Balanço de água no solo para a determinação de ET_c e o método de Penman para estimativa de ET_o , mostraram-se eficientes na determinação de K_c para videira.

Marcelino & Leopodo (1998) estimando a evapotranspiração regional pelo modelo de Morton para o Estado de São Paulo, verificaram uma distribuição regional razoavelmente uniforme e coerente. Oliveira Filho & Marcelino (1998) comparando estimativas de evapotranspiração para região de Pelotas, pelos modelos de Thornthwaite (1948) e Morton (1983), verificaram que o método de Thornthwaite fornece resultados semelhantes ao método de Morton.

Feitosa & Leitão (1998) ao realizarem uma análise comparativa da evapotranspiração potencial através dos métodos de Penman e Priestley-Taylor, entre áreas de floresta e pastagem nas estações seca e chuvosa, com a finalidade de identificar que método melhor se ajusta as condições climáticas da Amazônia Central, concluíram que a evapotranspiração potencial média pelo método de Penman durante a estação seca, na área de pastagem foi 3,9 mm/dia e de 4,9 mm/dia para área florestada, enquanto que pelo método de Priestley-Taylor foi 4,1 mm/dia na pastagem e 4,9 mm/dia na floresta. Durante a estação chuvosa a ET_p média estimada pelo método de Penman foi 4,3 mm/dia na pastagem e de 5,3 mm/dia na floresta, já pelo método de Priestley-Taylor a ET_p foi 4,4 mm/dia na pastagem e 5,6 mm/dia na floresta. Estes autores também observaram que a ET_p pelo método de Penman proporcionou boa estimativa, após a ocorrência de precipitação.

Oliveira & Leitão (1998) estudando medidas e estimativas horárias de evapotranspiração numa cultura de amendoim, no município de Rodelas-Ba, verificaram que na fase de maturação, houve um aumento acentuado na taxa de evapotranspiração devido a ocorrência de advecção. Costa et al. (1998) analisando o comportamento médio mensal da evapotranspiração em área de floresta tropical úmida na Amazônia, obtida pelo método do tanque Classe A e medida por evapotranspirômetro de drenagem, com estimativas pelo método de Thornthwaite e Camargo (1973), observaram que entre as

medidas e estimativas, não houve diferenças significativas, porém comparando-se a medidas diretas e indiretas, constataram uma marcante diferença com as medidas indiretas sobrestimando bastante os valores medidos diretamente.

Souza et al. (1998) ao estimarem a evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, na região do Tabuleiro em Maceió, no período de 1973-1996, encontraram valores médios diários de ET_0 , variando de 2,2mm nos meses de maio, junho e julho, a 5,3mm nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Bezerra & Oliveira (1999) ao estimarem a evapotranspiração máxima para um cultivo de melancia pelo método do balanço hídrico e a evapotranspiração de referência pelos métodos Penman-Monteith, Radiação FAO-24 e Blaney-Criddle FAO-24, concluíram que o método da Radiação foi o que apresentou a melhor correlação com o método de Penman-Monteith.

2.4. BALANÇO DE ENERGIA

Os primeiros estudos a respeito de balanço de energia sobre uma superfície natural, foram desenvolvidos por Bowen (1926), que determinou a razão entre os fluxos de calor sensível e calor latente numa superfície de água, em função da pressão de vapor e da temperatura observada sobre a superfície estudada. Essa relação foi denominada razão de Bowen (β), a qual a partir do balanço de energia, possibilita o cálculo da evapotranspiração.

Tajchaman (1971) utilizando os métodos do balanço de energia e da difusão turbulenta de vapor para estimar a evapotranspiração em cultivo de alfafa, batata e floresta de pinho, encontraram boa concordância para plantas baixas, o que não ocorreu para as florestas. Segundo Monteny (1972) o método do balanço de energia quando aplicado à

regiões semi-áridas pode indicar a existência de uma fonte adicional de energia, a advecção, que pode aumentar em mais de 100% a evaporação. Este fato foi confirmado por Rosenberg (1972), que observou 12mm diário de evapotranspiração para um saldo de radiação que correspondeu a uma perda de apenas 6,7mm (citados por Leitão, 1989).

McNaughton & Black (1973) ao compararem valores de evapotranspiração estimados pelo balanço de energia em uma floresta jovem de altura uniforme (7,8m) com solo bem úmido, durante um período de dezoito dias, com a evapotranspiração potencial estimada por Priestley & Taylor (1972), observaram a ocorrência de picos diários de evapotranspiração 2 a 3 horas após o meio dia.

Trabalhando com o balanço de energia em culturas de milho e sorgo, Sumayao et al. (1980) observaram que a evapotranspiração destas culturas sob condições de solo úmido superou o saldo de radiação, quando a temperatura do ar foi maior que 33°C. Black & Spittlehouse (1980) comparando estimativas de evapotranspiração numa floresta de pinho, pelo método do balanço de energia (razão de Bowen), com outros cinco modelos, concluíram que esse método apresenta limitações para avaliar a evapotranspiração em florestas.

Angus & Watts (1984) afirmaram que sob condições de solo úmido, o método da razão de Bowen para culturas agrícolas dar bons resultados, mas pode não ter boa aproximação sob condições muito secas ($\beta > 0$ positivo) e advecção ($\beta < 0$). Ao comparar o balanço de energia com o conteúdo de água no solo, durante o ciclo de desenvolvimento do trigo, Brun et al. (1985) observaram que 92% do saldo de radiação, foi destinado à evapotranspiração da cultura sob condições de solo úmido. No entanto, em condições de

baixa umidade no solo, este percentual diminui para 60% do saldo de radiação, e que 30% foi destinado ao fluxo de calor sensível e 10% ao fluxo de calor do solo.

Marques Filho et al. (1985) ao estudarem a evaporação potencial de florestas na Reserva Florestal Ducke em Manaus, usando o balanço de energia, encontraram um valor médio diário de 4,73mm. Leclerc et al. (1985) fazendo uma simulação laboratorial da evaporação de gotas em folhas artificiais de soja pelo balanço de energia, observaram que as áreas das bases permaneceram virtualmente constante, então concluíram que a modelagem concorda com o que ocorre em folhas naturais.

Gay (1986) trabalhando com o método da razão de Bowen numa região semi-árida da Califórnia, com o propósito de analisar os totais diários dos componentes do balanço de energia, verificou que quando $\beta=0$, toda energia disponível ($R_n + G$) foi utilizada no processo de evaporação, em contra partida, $\beta=2$, indicou fluxo de calor sensível vertical duas vezes maior que o calor latente, sugerindo que o local estava seco. Observou ainda que no sítio mais úmido a temperatura média foi de 24,2°C, e ET variou de 2,27 e 2,45mm/dia. Já no local mais seco, a temperatura média do ar foi de 22,7°C e a ET variou de 7,38 a 8,32 mm/dia para um período de quatro dias.

Bergamaschi et al. (1987) avaliando os componentes do balanço de energia em uma cultura de feijoeiro, sob diferentes condições de disponibilidades hídricas no solo e demanda evaporativa da atmosfera, concluíram que a quantidade de energia destinada ao processo de evaporação foi maior em níveis onde o índice de área foliar era mais elevado, onde havia maior disponibilidade hídrica e maior demanda evaporativa da atmosfera. Verificaram também uma grande correlação entre a evapotranspiração calculada, através do método de Penman (ET_p), e evapotranspiração estimado pelo tanque Classe A.

Leitão & Azevedo (1990) ao efetuarem o balanço de energia em cultivo irrigado de soja no semi-árido do Nordeste, concluíram que 23% da energia usada no processo evapotranspirativo da cultura, resultou da advecção de calor sensível. Trabalhando com balanço hídrico e de energia em videiras numa região semi-árida do Sul da Espanha, Oliver & Sene (1992), concluíram que a evaporação direta do solo foi provavelmente mais significativa após a chuva. Lewis (1995) afirma que Bowen (1898-1973) foi destaque no século 20, no período de 50 anos, contribuindo para ciência geofísica com seus trabalhos sobre evaporação, condução d'água na superfície, e assim para o desenvolvimento de várias expressões.

Siqueira (1997) estudando o microclima da caatinga e de uma área reflorestada com algaroba, usando o método da razão de Bowen, observou que os fluxos de calor latente e sensível, durante o período chuvoso, representaram cerca de 68,2% e 27,0% do saldo de radiação na caatinga, respectivamente; enquanto na algaroba, foram respectivamente 80,3% e 9,6%. Após o período chuvoso estes fluxos na caatinga representaram 93,3% e 4% de R_n ; enquanto que na algaroba chegaram a 93,3% e 3%, respectivamente. Siqueira & Leitão (1998) comparando o comportamento da evapotranspiração em áreas de caatinga e reflorestada com algaroba, na região semi-árida do Nordeste do Brasil, durante e após o período chuvoso, obtiveram pelo método da razão de Bowen valores médios diários de 4,6mm e 5,1mm, respectivamente para as áreas de caatinga e algaroba no período chuvoso, e após o período chuvoso, 4,7mm na área da caatinga e 4,6mm para área da algaroba.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área Experimental

3.1.1 Localização e condições climáticas

Este experimento foi conduzido na Estação Meteorológica do Departamento de Ciências Atmosféricas do CCT da Universidade Federal da Paraíba-UFPB Campus II, no município de Campina Grande-PB ($7^{\circ}13'32''S$; $35^{\circ}54'15''W$; alt. 512,34m), no período de 15 de novembro de 1999 à 01 de abril de 2000. Para que se tenha uma idéia das condições climáticas locais, nas Figuras 3.1, 3.2 e 3.3 são apresentados dados de temperaturas, precipitação e evaporação.

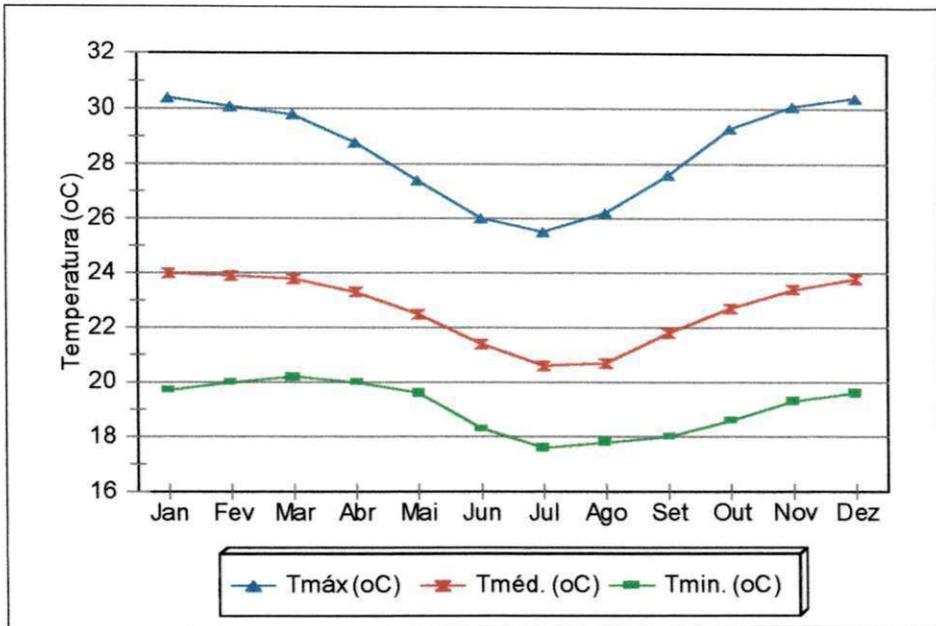


Figura 3.1- Distribuição da temperatura mensal: máxima (T_{máx.}); mínima (T_{min.}) e média (T_{méd.}). Fonte: Atlas Climatológico da Paraíba

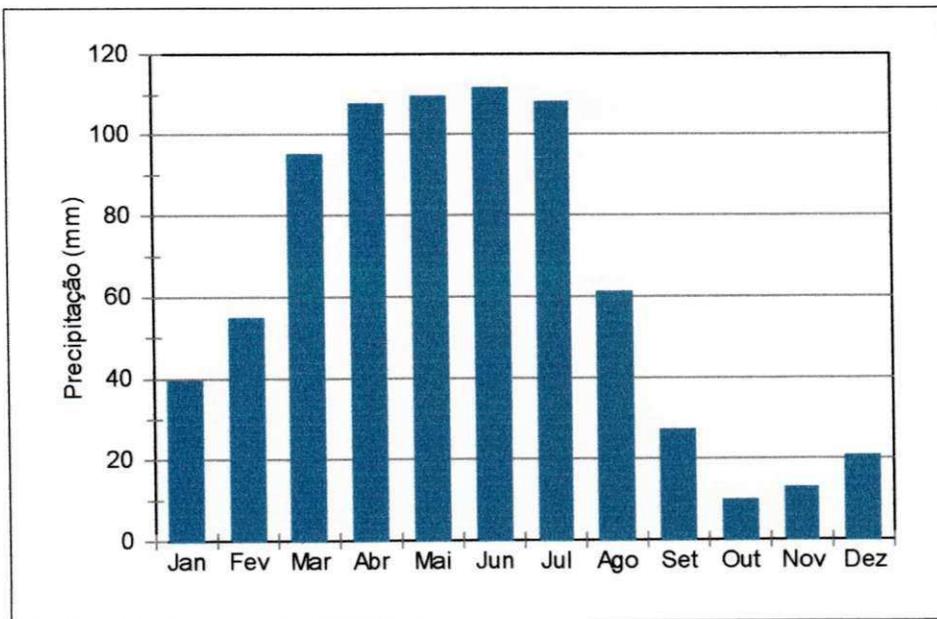


Figura 3.2 – Distribuição da precipitação média mensal (mm) em Campina Grande
Fonte: Atlas Climatológico da Paraíba

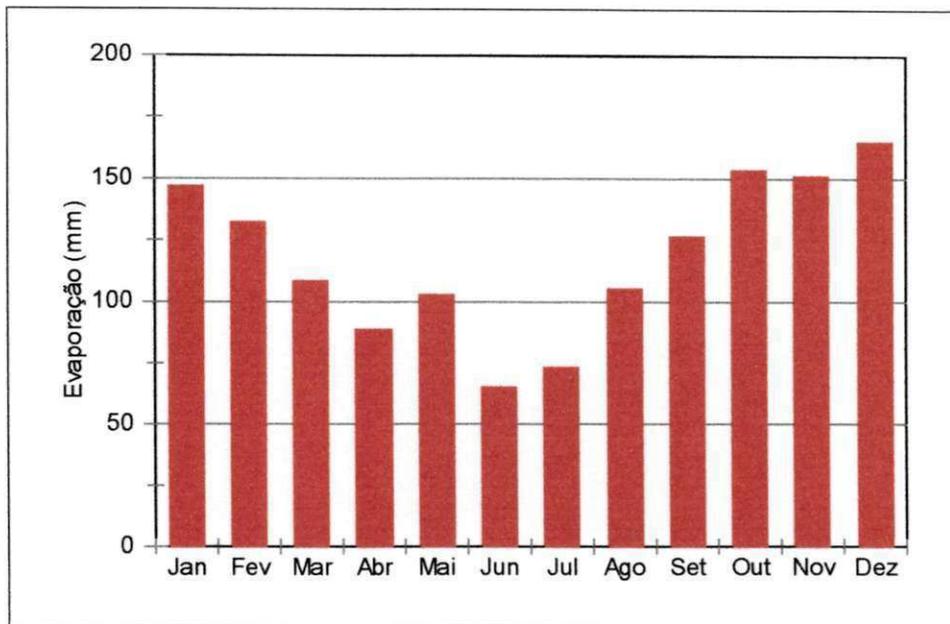


Figura 3.3 – Distribuição da evaporação média mensal (mm) em Campina Grande
Fonte: INMET

3.1.1.2 Instrumental Utilizado

Instrumentos de leitura direta

- Um anemômetro totalizador ao nível de 2m;
- Dois tanques Classe A com diâmetro de 1,20m e altura de 25cm;
- Dois tanques de cimento amianto de 500 litros com diâmetro de 1,09m e altura de 65cm;
- Um micrômetro;
- Um pluviômetro;
- Um pluviógrafo.

Obs. Para que os tanques de cimento amianto tivessem as mesmas condições de leitura com o micrômetro dos tanques Classe A, foram construídos nestes, poços

tranquilizadores, utilizando-se cano de PVC com diâmetro de 100mm. Os tanques de cimento amianto foram também impermeabilizados para que não houvesse nenhuma perda d'água nas laterais ou no fundo.

Instrumentos eletrônicos

- 01 sistema automático de aquisição de dados (Micrologger 21X).
- 04 sensores de temperatura termopares de cobre-constantan
- 01 psicrômetro à base de termopares de cobre-constantan
- 01 sensor de velocidade do vento
- 01 sensor de direção do vento
- 01 saldo radiômetro
- 01 telepluviômetro
- 01 painel solar

3.2 METODOLOGIA

Para se obter informações da evaporação em tanques Classe A e tanques de cimento amianto sob diferentes condições, além de uma etapa pré-experimental, essa pesquisa foi desenvolvida em quatro diferentes etapas conforme descrição a seguir.

Fase pré-experimental

Visando uma familiarização com a metodologia observacional a ser desenvolvida durante o experimento propriamente dito, e assim minimizar a ocorrência de erros, foi

efetuado um treinamento operacional prévio, aproveitando-se os dois tanques de cimento amianto já instalados na área fora do cercado da estação meteorológica, bem como o tanque Classe A da própria estação. Nesta pré-fase, os dois tanques de cimento amianto permaneceram enterrados 55cm, com suas bordas superiores 10cm acima do solo. Durante este período de observação que durou 15 dias, os tanques de cimento amianto foram operados com uma lâmina de água de 55cm de profundidade, enquanto o tanque Classe A, foi operado com uma lâmina de água de 20cm de profundidade, obedecendo o padrão recomendado pela OMM. Este procedimento foi adotado visando adquirir experiência e maturidade observacional, tendo em vista que geralmente muitos erros são cometidos no manuseio e na operação de tanques evaporimétricos, especialmente nas leituras efetuadas com o micrômetro.

Primeira fase experimental

Nesta fase, o tanque de cimento amianto A1 foi transferido da área externa para o interior do cercado da estação meteorológica e enterrado de modo que sua borda ficasse no mesmo nível do tanque Classe A - C1 (Quadro 3.1). Da mesma forma, o tanque Classe A C2 e o tanque de cimento amianto A2, foram instalados na área externa ao cercado de instrumentos. Nesta primeira fase, os tanques de cimento amianto A1 e A2, foram operados com uma lâmina de água de 60cm e os tanques Classe A C1 e C2, conforme o padrão recomendado pela OMM, ou seja, com uma lâmina de 20cm de profundidade. Estes dois conjuntos de tanques são mostrados nos Quadros 3.1 e 3.2. Durante a primeira fase, foram feitas observações de evaporação durante 74 dias, ou seja, no período de 15/11/1999 a 26/01/2000. Sendo que, no dia quinze de janeiro foi instalado um sistema automático de coletas de dados, e a partir daí, iniciadas as medidas de temperatura da água nos quatros

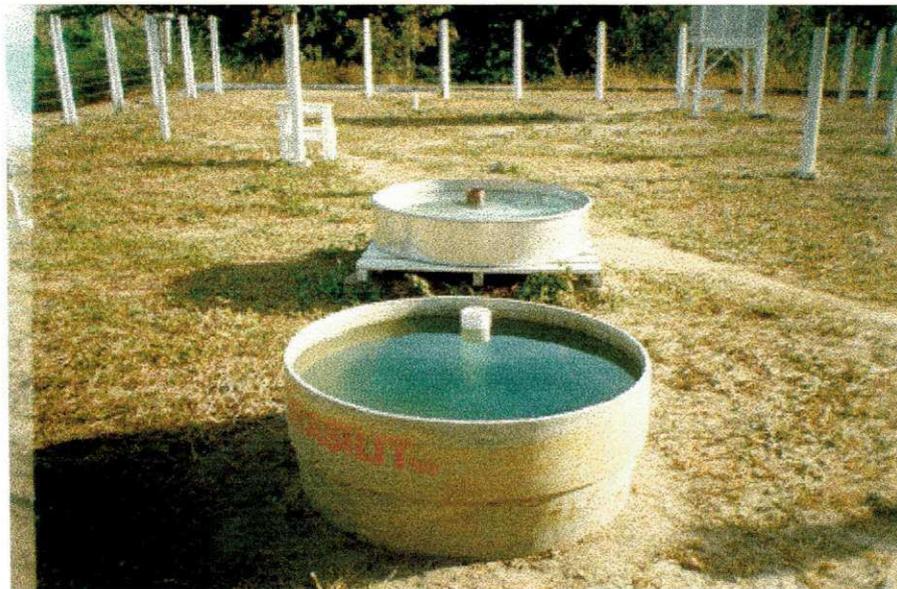
tanques, de temperaturas seca e úmida do ar, de velocidade e direção do vento, bem como do saldo de radiação (Quadro 3.5).

Segunda fase experimental

Durante a segunda fase tanto os tanques Classe A C1 e C2, como o tanque de cimento amianto A1, continuaram sendo operados como na primeira fase experimental, no entanto, no tanque de cimento amianto A2 colocou-se areia lavada até a altura de 20cm, com isto, este tanque passou a operar com lâmina efetiva de água de apenas 40cm de profundidade, porém sua borda superior continuou tendo o mesmo nível que os demais tanques, bem como a estação meteorológica automática permaneceu em operação coletando os mesmos dados já descritos na primeira fase experimental.

Terceira fase experimental

Durante a terceira fase experimental os tanques Classe A C1 e C2, bem como o tanque de cimento amianto A1 continuaram operando da mesma forma que na primeira e segunda fases experimentais, entretanto, no tanque de cimento amianto A2, foi adicionado mais areia lavada, desta vez até a altura de 40cm, com isso, este tanque passou a operar com uma lâmina de água de apenas 20cm de profundidade. Também nesta fase a estação meteorológica automática continuou coletando os mesmos dados descritos anteriormente.



Quadro 3.1. Localização do conjunto de tanques na área interna do cercado de instrumentos da estação meteorológica durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais



Quadro 3.2. Localização do conjunto de tanques na área externa ao cercado de instrumentos da estação meteorológica durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais

Quarta fase experimental

Durante esta fase experimental, os tanques Classe A C1 e C2, bem como o tanque de cimento amianto A1, continuaram sendo operados nas mesmas condições da primeira, segunda e terceira fases experimentais, contudo, o tanque de cimento amianto A2, sofreu nova mudança, foi transferido da área externa para o interior do cercado da estação meteorológica e enterrado 45cm, ficando com sua borda superior 20cm acima da superfície do solo. Nesta última fase experimental toda areia colocada no interior do tanque de cimento amianto A2 foi retirada, passando o mesmo a ser operado com lâmina de água igual a A1, ou seja, 60cm. Também nesta fase experimental os dois tanques de cimento amianto A1 e A2, foram pintados externamente de branco com tinta lavável (Quadro 3.3 e 3.4). Nesta fase, como não foi possível contar com a estação meteorológica automática, já que a mesma foi retirada para ser usada em outro experimento, os parâmetros meteorológicos medidos nas fases experimentais anteriores não foram obtidos. Esta fase teve como principal objetivo avaliar se a taxa de evaporação no tanque de cimento amianto A2 enterrado 45cm, apresentava diferença significativa em relação ao tanque de cimento amianto A1, que permaneceu no mesmo nível do tanque Classe A. Por outro lado, pretendeu-se também comparar as duas situações com o tanque Classe A.



Quadro 3.3. Localização do tanque Classe A C1 e dos tanques de cimento amianto A1 e A2 na área interna do cercado de instrumentos da estação meteorológica, durante a quarta fase experimental



Quadro 3.4. Vista geral do experimento e da Estação Meteorológica durante a quarta fase experimental

3.2.1 Sistemática da coleta de dados

3.2.1.1 Aquisição automática

Um sistema automático de aquisição de dados (Micrologger 21X) foi programado para gerar médias de dez em dez minutos, a partir de leituras efetuadas a cada segundo, cujos dados eram armazenados na memória do sistema, e a cada 72 horas coletados através de um módulo de armazenamento (memória portátil) e deste transferidos para um computador. No Quadro 3.5 é mostrado o conjunto de sensores que formam a estação meteorológica automática.



Quadro 3.5. Localização da estação meteorológica automática durante a primeira, segunda e terceira fases experimentais

3.2.1.2 Leituras diretas

Durante todas as fases do experimento, foram efetuadas leituras diretas diariamente às 09:00 e 15:00h local dos quatro tanques evaporimétricos, de um anemômetro totalizador instalado à 2m acima da superfície e do pluviômetro quando ocorreu precipitação.

3.2.1.3 Procedimentos operacionais

Visando manter as condições das superfícies evaporantes sempre em bom estado, durante o experimento os tanques foram lavados de oito em oito dias e dependendo do estado até mesmo antes.

3.3 MÉTODOS

Como o principal objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho do tanque de cimento amianto, são efetuadas comparações entre as medidas obtidas com este tipo de tanque e medidas do tanque Classe A, tanto para o período de maior demanda atmosférica (período diurno), como para período de baixa demanda (período noturno). Também é feita uma avaliação do efeito da temperatura sobre os dois tipos de tanque mencionados, bem como da disponibilidade da energia e da ação do vento.

3.3.1 Fórmula Geral da Evaporação

A primeira equação para o cálculo da evaporação d'água de uma superfície líquida foi proposta por Dalton (1928):

$$E = C(e_s - e) \quad (1)$$

onde (C) é uma função de vários elementos meteorológicos, (e_s) é a pressão de saturação à temperatura da superfície e (e) é a pressão parcial d'água .

Várias equações foram propostas para a estimativa da evaporação, a maioria delas baseadas na equação de Dalton ou a própria, com o ajuste da função (C) para cada localidade.

3.3.2 Método do Tanque Classe A

O método do Tanque Classe A tem sido bastante usado para estimar a evaporação em lagos, contudo a evaporação medida no tanque Classe A (ECA) deve ser corrigida por um coeficiente (K_p), isto é:

$$E = K_p ECA \quad (2)$$

em que,

K_p - assume um valor fixo, igual a 0,66 que freqüentemente é arredondado para 0,7. Também, K_p pode ser estimado usando uma das diversas equações propostas, como por exemplo a de Snyder (1992):

$$K_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U + 0,0045 UR \quad (3)$$

em que,

F - é o tamanho da área de bordadura, em m;

U - velocidade do vento, em Km/dia;

UR - umidade relativa média do dia, em %.

3.3.3 Método de Penman

Visando comparar a evaporação medida com estimativas far-se-à uso do método que se baseia na combinação do balanço de energia com os efeitos aerodinâmicos. Penman (1948) propôs a seguinte equação para estimativa da evaporação potencial:

$$E = (\Delta R_n + \gamma E_a) / (\Delta + \gamma) \quad (4)$$

em que,

R_n - é o saldo de radiação sobre a água livre, cal.dia⁻¹;

Δ - é o coeficiente angular da curva (mb/°C);

γ - é o parâmetro psicrométrico (mb/°C);

E_a - o poder evaporante da superfície.

$$\Delta = 33,3639 [0,05904 (0,00738T_a + 0,08072)^7 - 3,42 \times 10^{-5}] \quad (5)$$

em que,

t_a - é a temperatura do ar, em °C.

$$\gamma = (c_p p) / 0,622L \quad (6)$$

em que,

$c_p = 0,24$ cal. g⁻¹.c⁻¹ é o calor específico do ar;

p - pressão atmosférica do local, em mb;

L - calor latente de vaporização ($L = 595 - 0,51T_a$), em cal/g.

$$E_a = f(U)(e_s - e_a) \quad (7)$$

em que,

U – velocidade do vento à 2m de altura, em km/dia

e_s - pressão de saturação (mb)

e - pressão parcial de vapor (mb)

$f(U)$ (conforme Doorenbos e Pruitt, 1977) é expresso por

$$f(U) = 0,27(1+U/100) \quad (8)$$

Stigter (1983), examinando algumas equações para estimar $f(U)$, baseadas na aproximação de Thom & Oliver (1977) concluiu que:

$$f(U) = 0,37(1+U/160) \quad (9)$$

U - velocidade do vento à 2m de altura da superfície, em Km/dia;

A equação (9) dá resultados similares aos da equação (8).

Visto que o principal objetivo desta pesquisa é comparar medidas obtidas em tanques com características e condições variadas, e não à estimativas, utilizou-se apenas o método de Penman para se ter uma idéia das medidas efetuadas em comparação com as estimativas por este método.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 – PRIMEIRA FASE EXPERIMENTAL

Fazendo-se uma análise do comportamento da evaporação durante a primeira fase experimental, na qual, os tanques de cimento amianto A1 e A2, foram operados com uma lâmina de água de 60cm de profundidade, verifica-se tomando como base a Figura 4.1 e Tabela 4.1, onde computou-se a evaporação para o intervalo entre 9 horas e 9 horas do dia seguinte, que nesta fase os tanques de cimento amianto apresentaram uma evaporação superior a dos tanques Classe A de cerca de 1,14 mm/dia. Isto representa um índice médio diário bastante expressivo, uma evaporação de cerca de 16% a mais nos tanques de cimento amianto em relação ao tanques Classe A. Por outro lado, comparando-se as performances dos tanques de cimento amianto, percebe-se que o tanque A2 apresentou uma evaporação média diária superior ao tanque A1 de 0,11 mm/dia. Isto provavelmente ocorreu devido o solo do local onde o tanque A2 foi instalado, além de ser constituído de uma camada de areia, também ficou mais exposto a radiação solar do que o solo do cercado de instrumentos da estação meteorológica, o que certamente contribuiu para um aquecimento um pouco

maior no tanque A2. A evaporação média dos tanques C1, C2, A1 e A2 desta fase experimental nos horários: 09:00 às 09:00, 09:00 às 15:00, 15:00 às 09:00 e 15:00 às 15:00h podem ser vistos na Tabela 4.1.

Em termos de evolução diária da temperatura média d'água durante a primeira fase experimental, verifica-se analisando a Figura 4.2, que no período de 11:00 às 18:00h, os tanques de cimento amianto apresentaram uma temperatura média inferior àquela do tanque Classe A em cerca de $1,7^{\circ}\text{C}$. No entanto, quando se considera o período entre 00:00 e 11:00h e de 18:00 às 24:00h, observa-se uma situação exatamente oposta, nestes períodos os tanques de cimento amianto apresentaram uma temperatura superior a do tanque Classe A em cerca de $1,4^{\circ}\text{C}$. Isto indica que a água do tanque Classe A durante o dia, permanece cerca de 7 horas mais quente que a água dos tanques de cimento amianto, e que nas 17 horas restantes do período diário, a temperatura do tanque Classe A foi inferior a temperatura dos tanques de cimento amianto. Este maior aquecimento no tanque de cimento amianto em relação ao tanque Classe A, indica uma maior disponibilidade de energia na massa de água dos tanques de cimento amianto. Isto vem explicar a maior evaporação observada nos tanques de cimento amianto mostrado anteriormente, e ocorreu em função da lâmina d'água nos tanques de cimento amianto serem mais profundas que no tanque Classe A, ou seja, como já foi mencionado antes, enquanto no tanque Classe A, a profundidade da lâmina de água é cerca de 20cm, os tanques de cimento amianto foram operados com uma lâmina de 60cm de profundidade, visando simular uma situação mais próxima de uma superfície natural de água.

Verifica-se também na Figura 4.2 que o tanque de cimento amianto A2 no período de 00:00 às 06:00h e das 14:00 às 24:00h, apresentou uma temperatura média um pouco

maior em relação ao tanque de cimento amianto A1. Esta pequena diferença de temperatura de $0,1^{\circ}\text{C}$ entre os dois tanques de cimento amianto, como já comentado é atribuída a localização do tanque de cimento amianto A2, em uma área de solo mais exposta a radiação solar que o tanque de cimento amianto A1. Em outras palavras pode-se afirmar que esse maior aquecimento do tanque A2, resultou de um maior armazenamento de calor no solo, o que contribuiu para aumentar a evaporação neste tanque, conforme foi dito antes. Como pode ser visto na Figura 4.3, ainda nesta primeira fase experimental, a temperatura do ar foi sempre menor que a temperatura da água dos tanques.

Tabela 4.1. Valores médios das lâminas d'água evaporada (mm/dia) durante a primeira fase experimental

Horário (h)	Evaporação média na primeira fase experimental (mm/dia)			
	Tanque de cimento amianto 01	Tanque Classe A1	Tanque de cimento amianto 02	Tanque Classe A2
09:00 às 09:00	7,96	6,83	8,07	6,74
09:00 às 15:00	2,58	3,32	2,62	3,31
15:00 às 09:00	5,37	3,50	5,44	3,43
15:00 às 15:00	7,87	6,81	8,01	6,76

Na tabela a seguir são apresentadas as temperaturas médias dos tanques e do ar.

Tabela 4.2 – Valores médios das temperaturas durante a primeira fase experimental

Horário (h)	Temperaturas médias (°C) na primeira fase experimental				
	TC1	TA1	TC2	TA2	Tar
09:00 - 09:00	25,9	27,3	26,1	27,4	25,2
09:00 - 15:00	26,7	26,9	26,9	26,9	27,5
15:00 - 09:00	25,7	27,4	26,0	27,5	24,7
15:00 - 15:00	26,4	27,5	26,7	27,6	25,6
Méd. diária	26,0	27,4	26,2	27,5	25,2
09:00-18:00	31,4	29,8	31,7	30,0	29,7
18:00-09:00	24,2	26,8	24,4	26,9	23,5

Analisando a radiação líquida durante a primeira fase experimental, verifica-se através da Figura 4.4 que a maior disponibilidade de energia ocorreu entre 10:00 e 15:00h superando 400 W/m^2 e atingindo um máximo em torno de 14:00h, superior a 620 W/m^2 . Em termos de saldo diário de radiação é mostrado na Figura 4.5, o comportamento desta grandeza durante a primeira fase experimental, cujos valores são apresentados em termos de equivalência em mm/dia da energia disponível. Na Figura 4.6, verifica-se que a velocidade do vento ao longo da primeira fase experimental, apresentou os menores valores médios entre 06:00 e 07:00h, enquanto os maiores ocorreram entre 16:00 e 18:30h. Na Figura 4.7 é mostrado o comportamento médio diário da velocidade do vento durante esta fase. Por outro lado, conforme observa-se na Figura 4.8, a direção do vento nesta primeira fase experimental, predominou entre 90° e 120° , ou seja, o vento teve direção variando de leste para sudeste. A velocidade média do vento durante a primeira fase experimental foi

2,1 m/s. Na Figura 4.9 é mostrado o comportamento médio diário da predominância do vento na primeira fase experimental. Já na Figura 4.10, verifica-se que a umidade relativa do ar média diária durante esta primeira fase experimental, exceto no dia 19/01/2000, quando atingiu o índice mais baixo cerca de 69%, nos demais dias variou entre 75 e 85%.

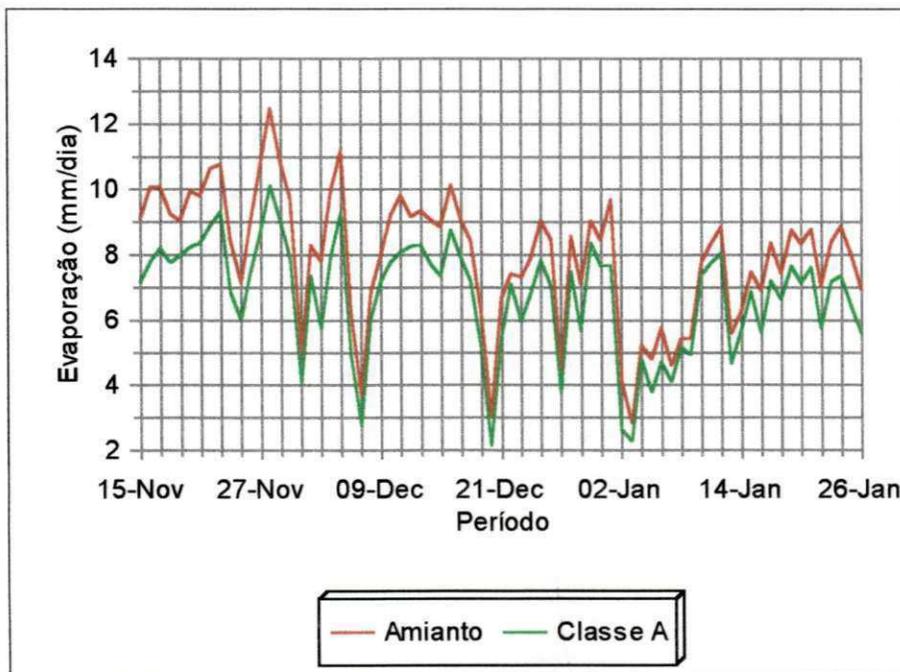


Figura 4.1 - Comportamento da evaporação na primeira fase experimental, em que as lâminas de A1 e A2 é de 60cm de profundidade

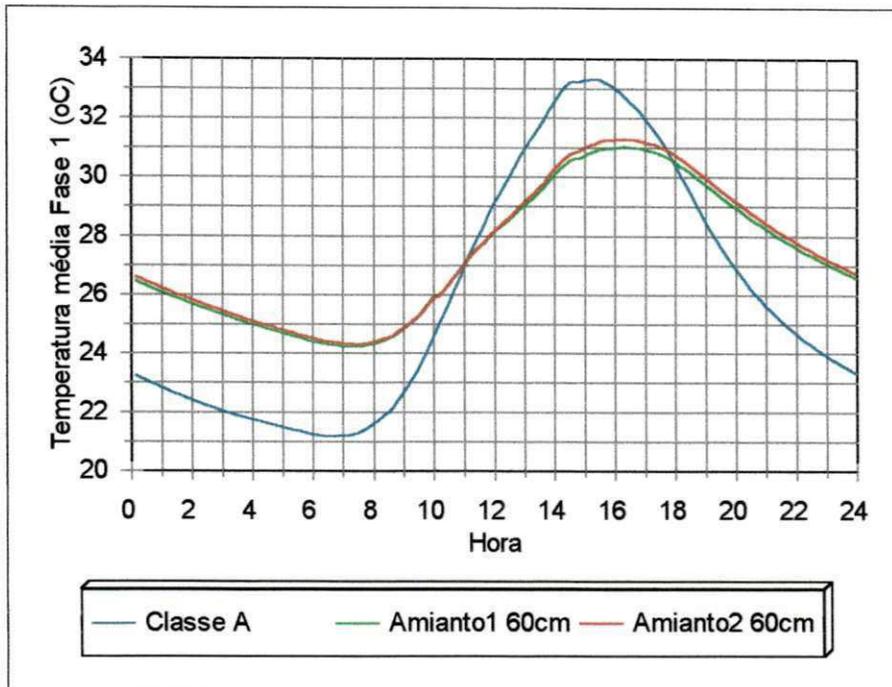


Figura 4.2 - Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a primeira fase experimental

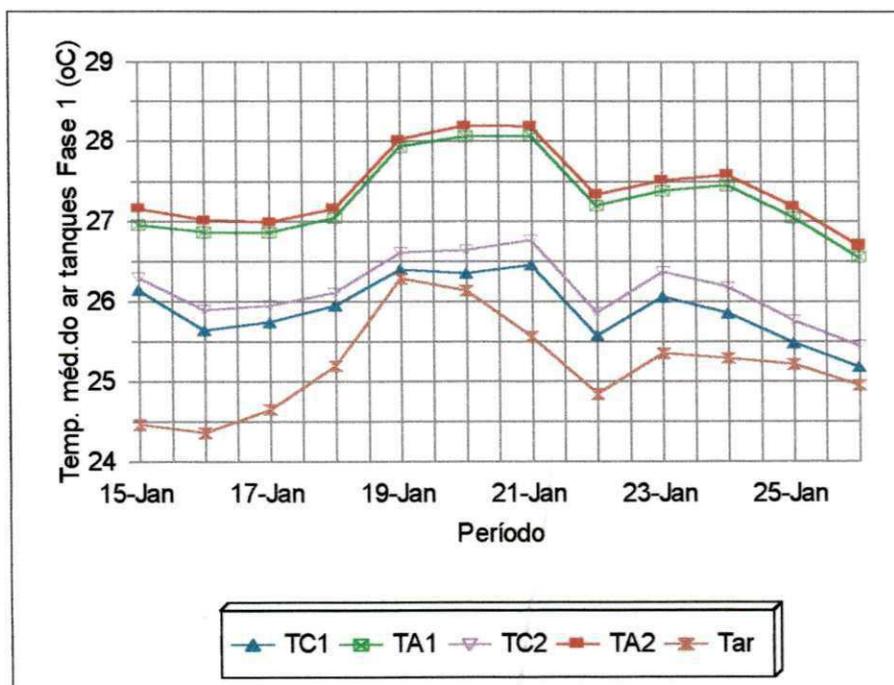


Figura 4.3 - Comportamento da temperatura média diária dos tanques e do ar durante a primeira fase experimental

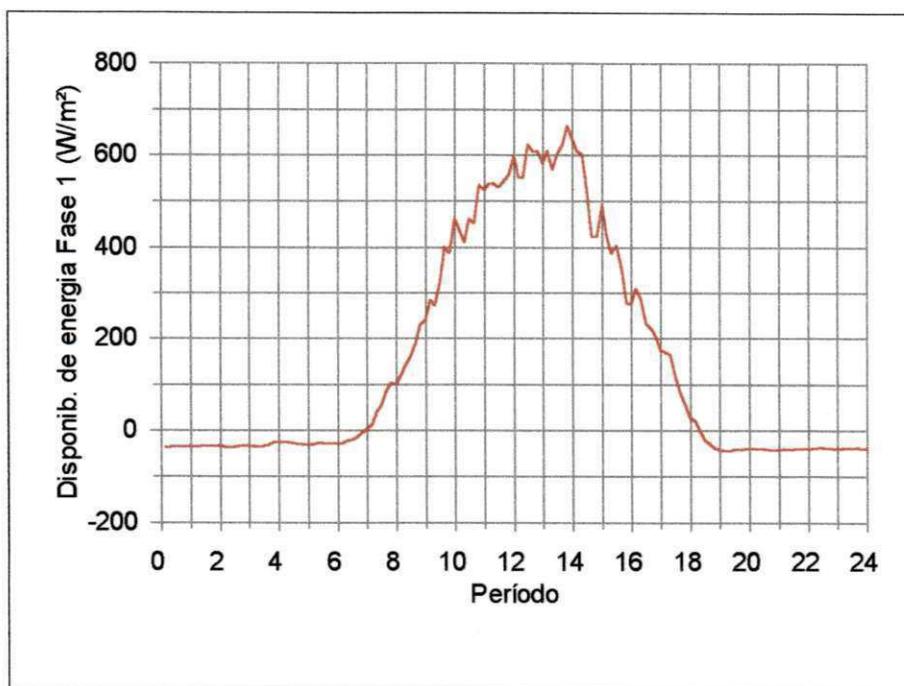


Figura 4.4 – Evolução da disponibilidade de energia (W/m^2) média ao longo do dia durante a primeira fase experimental

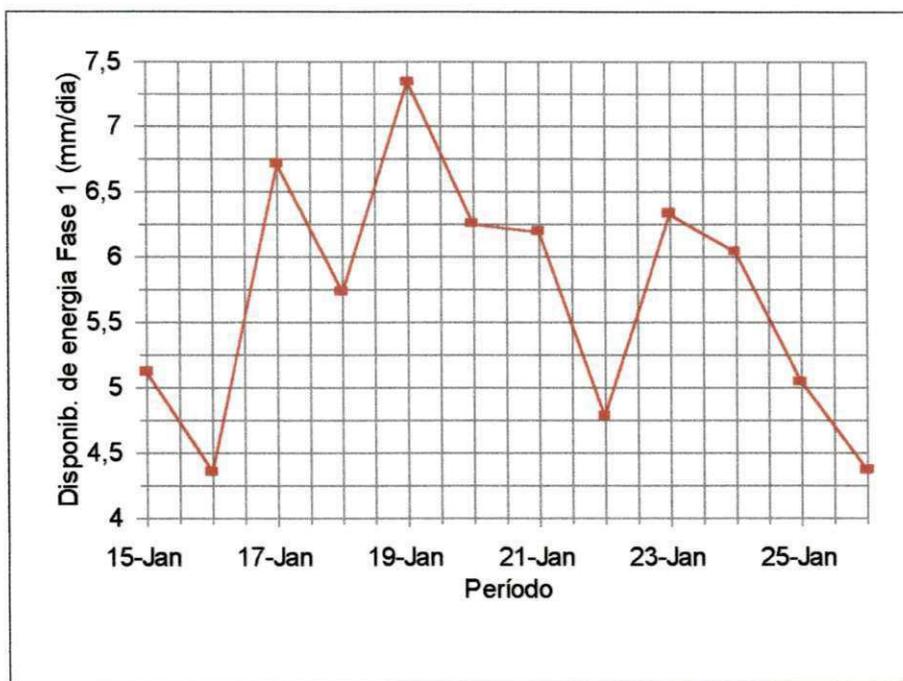


Figura 4.5- Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a primeira fase experimental

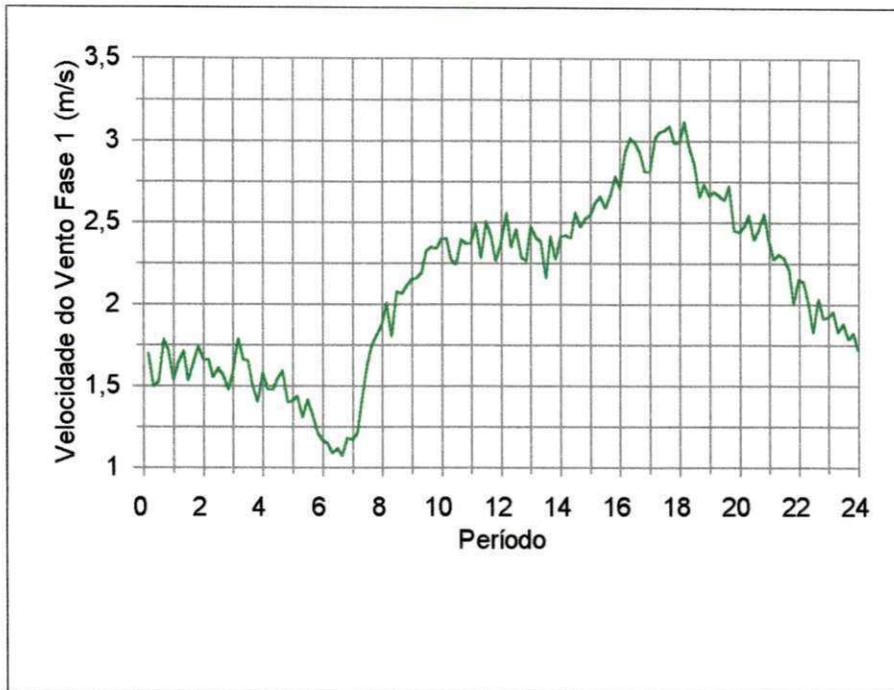


Figura 4.6 – Comportamento da velocidade do vento média (m/s) ao longo do dia durante a primeira fase experimental

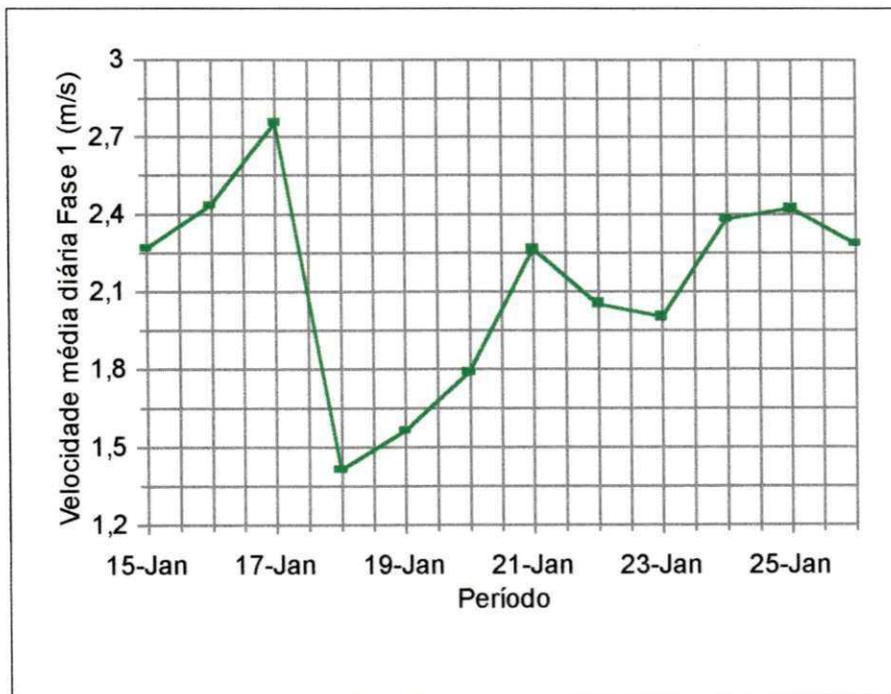


Figura 4.7 - Comportamento da velocidade média do vento diária (m/s) durante a primeira fase experimental

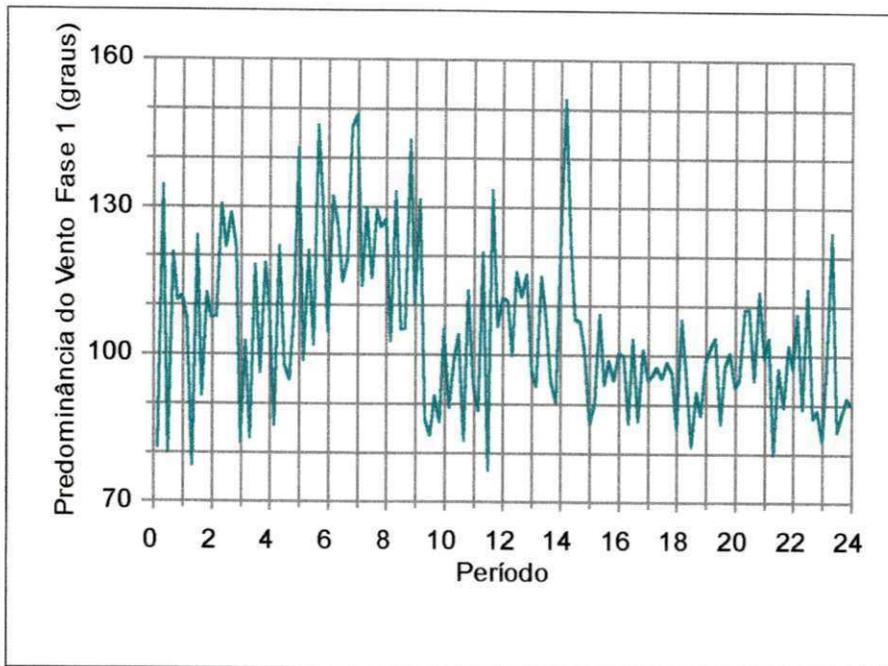


Figura 4.8 – Comportamento da predominância do vento ao longo do dia durante a primeira fase experimental

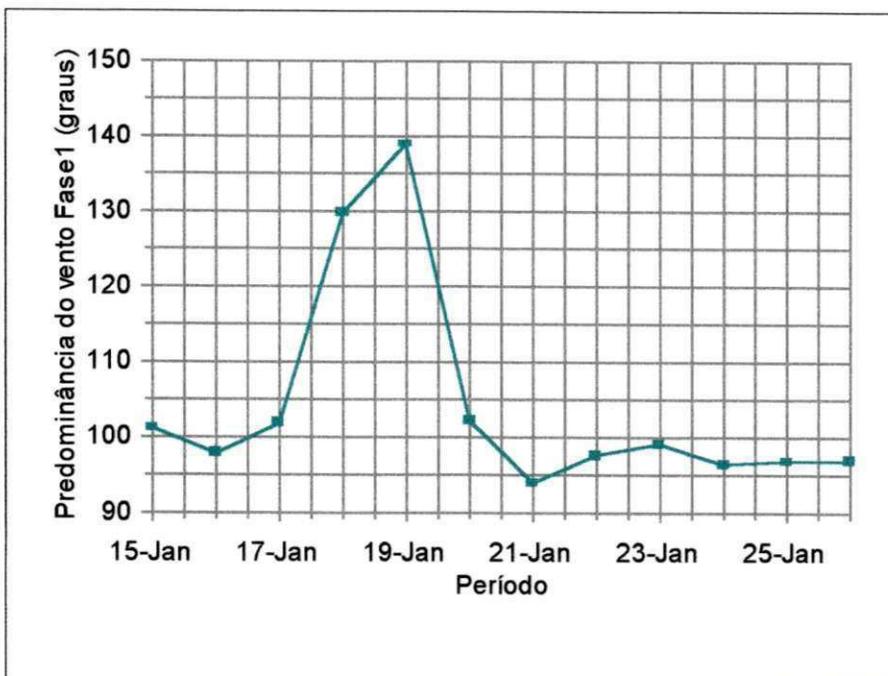


Figura 4.9 - Comportamento da predominância diária do vento durante a primeira fase experimental

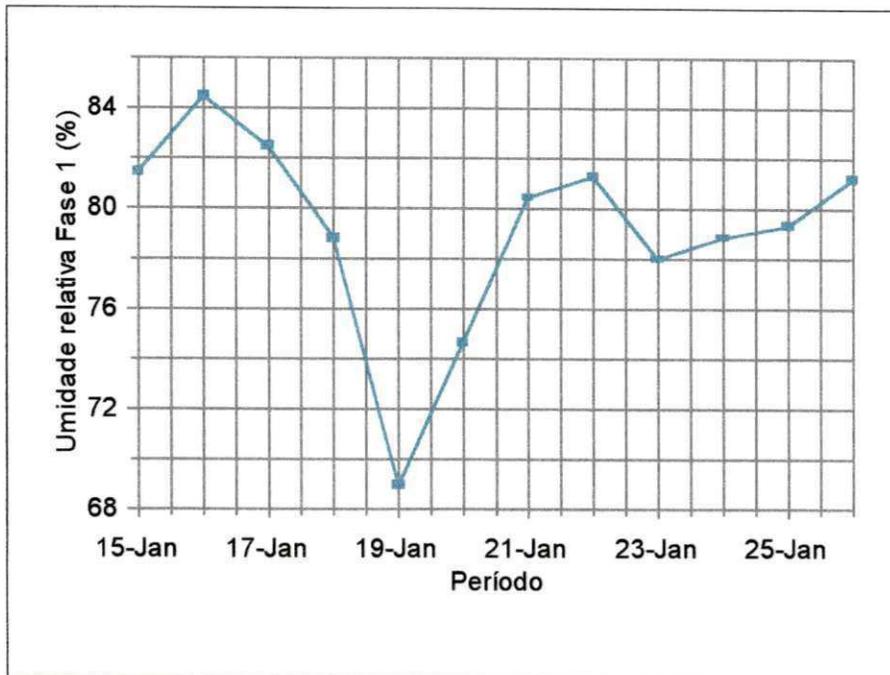


Figura 4.10 – Comportamento da umidade relativa (%) durante a primeira fase experimental

4.2 – SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL

Analisando o comportamento da evaporação durante a segunda fase experimental, mostrado na Figura 4.11, na qual o tanque de cimento amianto A2 foi operado com uma lâmina d'água de 40cm de profundidade, verifica-se que tanto o tanque de cimento amianto A1 como o tanque de cimento amianto A2, continuaram apresentando evaporação superior ao tanque Classe A, neste caso 1,06 mm/dia e 1,22 mm/dia, respectivamente, o que corresponde a percentuais de 14,88% e 17,11%. Durante a segunda fase experimental, devido o efeito de aquecimento já mencionado, o tanque de cimento amianto A2 apresentou um índice médio de evaporação de cerca de 0,16 mm/dia maior que o tanque de cimento amianto A1. Contudo, fazendo-se a correção desse efeito com base na diferença observada

de lâmina de água evaporada por esses dois tanques na primeira fase experimental, quando foram operados com a mesma lâmina d'água, verifica-se que a contribuição relativa da areia para o aumento da evaporação foi de apenas 0,05 mm/dia. A evaporação média dos tanques C1, C2, A1 e A2, para os mesmos horários citados na primeira fase experimental, pode ser vista na Tabela 4.3.

Analisando agora a Figura 4.12 que mostra o comportamento da temperatura média d'água durante a segunda fase experimental, período em que o tanque de cimento amianto A2 foi operado com uma lâmina de 40cm, verifica-se que durante o período mais quente do dia das 11:00 às 18:00h, os tanques de cimento amianto apresentaram em média temperatura inferior à 1,2°C em relação ao tanque Classe A, enquanto que durante o período mais frio do dia das 18:00 às 11:00h, ocorreu o contrário, os tanques de cimento amianto apresentam em média temperatura superior ao Classe A 1,1°C. Percebe-se ainda que durante esta segunda fase experimental, o tanque de cimento amianto A2 em relação a A1 no período das 11:00 às 17:30h, apresentou maior aquecimento que na fase anterior entre 11:00 e 19:30h e menor aquecimento entre 20:00 e 10:00h. Isto já era esperado devido a diminuição da lâmina d'água. Ainda nesta fase experimental analisando o comportamento da temperatura média diária dos dois tanques Classe A mostrado na Figura 4.13, verifica-se que o tanque Classe A2 esteve mais aquecido que o tanque Classe A1, como já mencionado anteriormente, isto é atribuído a localização do mesmo. Na Tabela 4.4 é mostrado a temperatura média do período para os diferentes horários. A temperatura média diária do ar nesta fase foi sempre menor que nos tanques de cimento amianto e em alguns dias maior que a temperatura d'água dos tanques Classe A. Verifica-se que apenas no período de 09:00 às 15:00h, a temperatura do ar foi maior que a temperatura da água nos tanques e que o

tanque de cimento amianto A1, devido ter uma lâmina de água mais profunda, foi o tanque que em média apresentou as maiores temperaturas. Isto mostra que a introdução da areia e a conseqüente redução da lâmina d'água, contribuiu para diminuir um pouco a temperatura no tanque A2. Por outro lado, o tanque Classe A1, por ser instalado numa área gramada, foi o que apresentou em média menor temperatura entre os quatro tanques.

Tabela 4.3- Valores médios das lâminas d'água evaporada (mm/dia) durante a segunda fase experimental

Horário (h)	Evaporação média na segunda fase experimental (mm/dia)			
	Tanque de cimento amianto 01	Tanque Classe A1	Tanque de cimento amianto 02	Tanque Classe A2
09:00 às 09:00	8,22	7,11	8,38	7,21
09:00 às 15:00	2,41	3,07	2,30	3,14
15:00 às 09:00	5,83	4,05	6,11	4,09
15:00 às 15:00	8,29	7,15	8,48	7,24

Tabela 4.4 – Valores médios das temperaturas (°C) durante a segunda fase experimental

Horário (h)	Temperaturas médias (°C) na segunda fase experimental				
	TC1	TA1	TC2	TA2	Tar
09:00 - 09:00	25,8	27,1	26,1	27,0	25,4
09:00 - 15:00	26,9	26,9	27,1	26,9	27,7
15:00 - 09:00	25,6	27,2	25,9	27,1	24,9
15:00 - 15:00	26,3	27,4	26,6	27,3	25,8
Méd. diária	25,8	27,2	26,1	27,1	25,4
09:00-18:00	31,0	29,6	31,3	30,2	29,9
18:00-09:00	24,0	26,6	24,4	26,3	23,7

Quanto ao comportamento do saldo de radiação nesta fase experimental, mostrado na Figura 4.14, observa-se que houve uma menor disponibilidade de energia que na primeira fase e variou de 300 a 550 W/m² entre 09:30 e 16:00h, com o pico máximo ocorrendo próximo ao meio dia, diferente da fase anterior que foi próximo às 14:00 horas. Também a exemplo da fase anterior na Figura 4.15 é mostrado a evolução da energia disponível em termos de mm/dia durante a segunda fase experimental. Na Figura 4.16 é apresentado o comportamento do vento, onde pode se observar que praticamente ocorreu a mesma situação da primeira fase experimental, com os valores mínimos acontecendo entre 05:00 e 06:00h e os máximos entre 16:00 e 19:00h. Contudo, houve um aumento da velocidade média para fase 2,3 m/s. Na Figura 4.17 é mostrado o comportamento da velocidade média diária do vento durante a segunda fase experimental. Em termos da evolução diária da direção do vento, conforme pode ser observado na Figura 4.18, houve uma maior flutuação e uma predominância centrada em torno de 100°. Já a predominância diária da direção do vento durante esta fase é mostrado na Figura 4.19.

Analisando-se o comportamento da umidade relativa do ar média diária durante a segunda fase experimental, apresentada na Figura 4.20, observa-se que em termos médios o ar esteve menos úmido do que na fase anterior, pois, exceto nos dias 29/01/2000 e 09/02/2000 quando os índices atingiram cerca de 85 e 91%, respectivamente, nos demais dias a umidade variou de 73% a cerca de 80%.

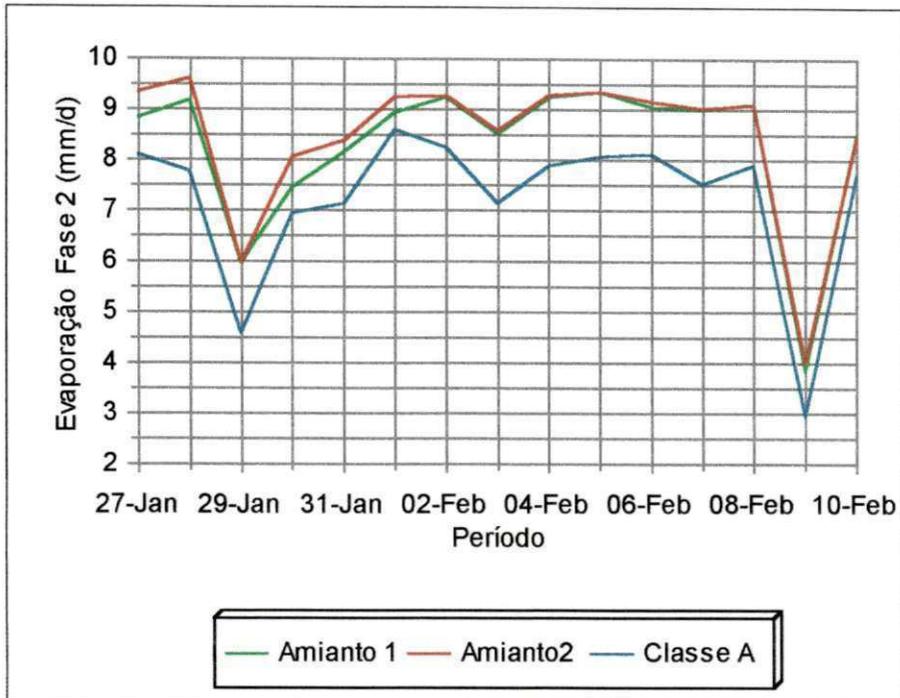


Figura 4.11 - Comportamento da evaporação na segunda fase experimental, tanque de cimento amianto A2 com lâmina d'água de 40cm de profundidade

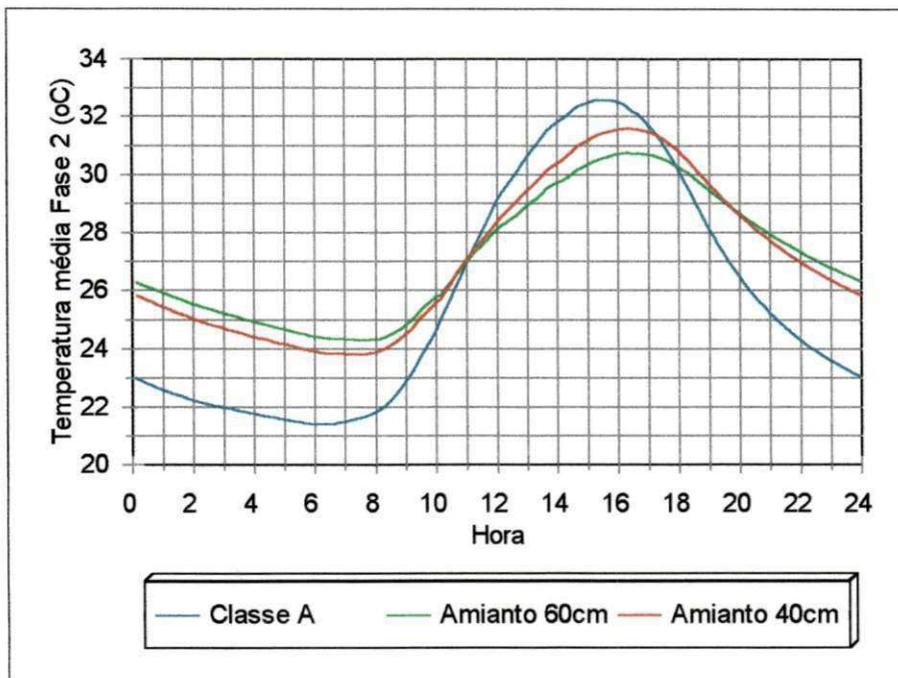


Figura 4.12 – Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a segunda fase experimental

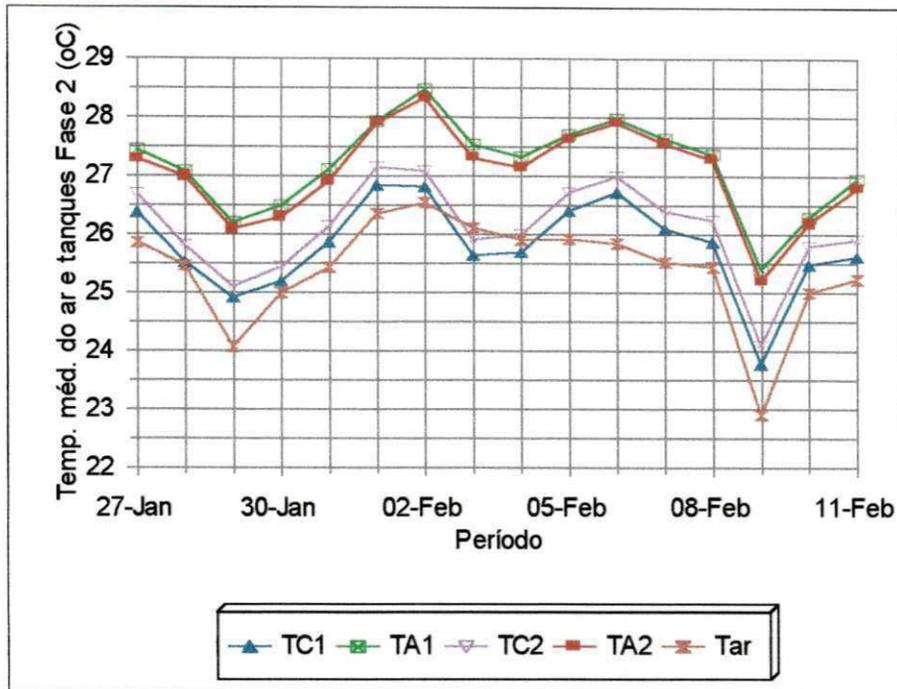


Figura 4.13 - Comportamento da temperatura média diária dos tanques e do ar durante a segunda fase experimental

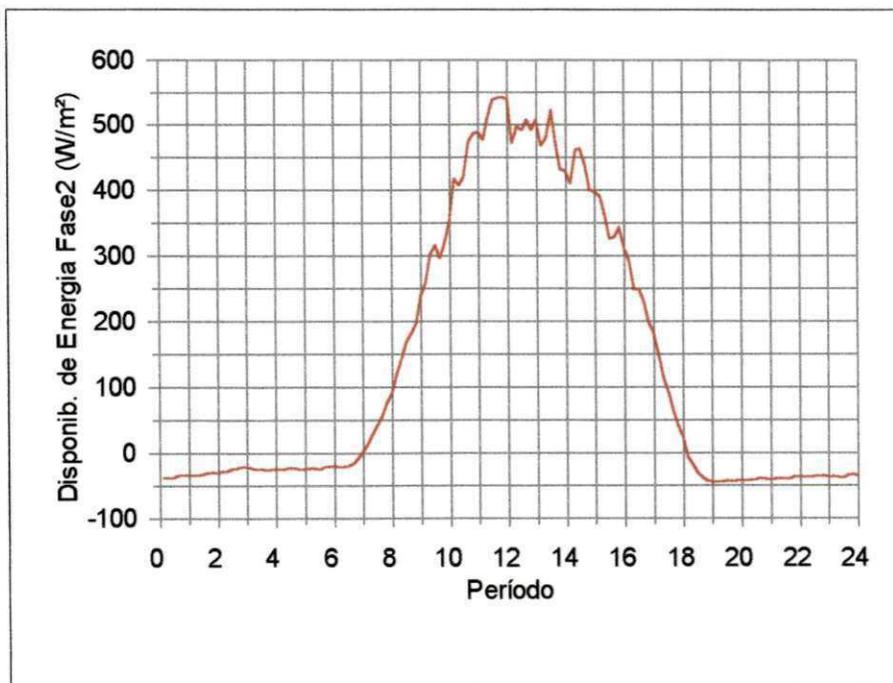


Figura 4.14 - Evolução da disponibilidade de energia (W/m^2) média ao longo do dia durante a segunda fase experimental

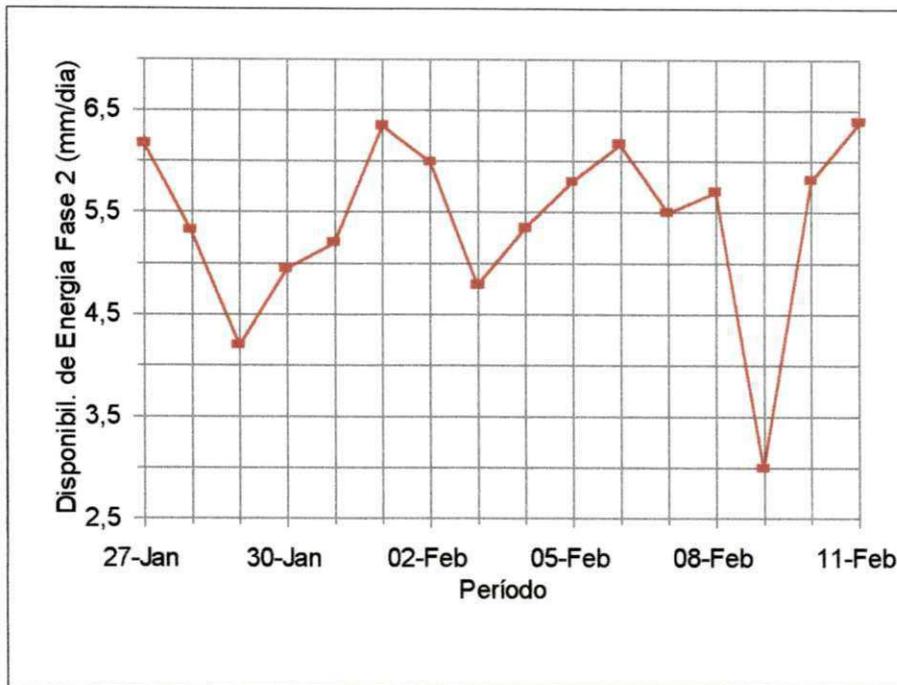


Figura 4.15 - Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a segunda fase experimental

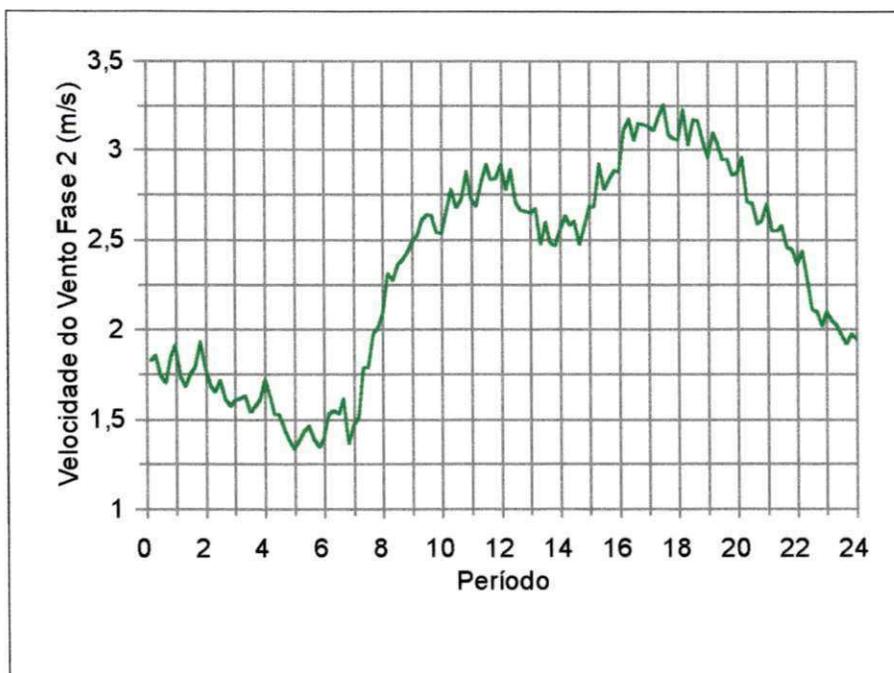


Figura 4.16 – Comportamento da velocidade do vento média (m/s) ao longo do dia durante a segunda fase experimental

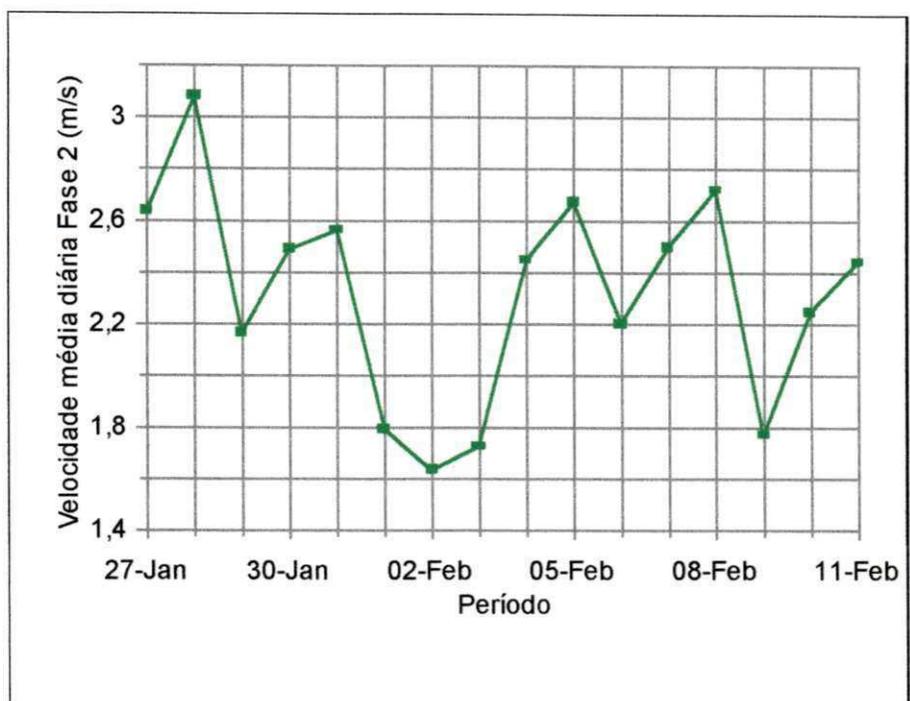


Figura 4.17 - Comportamento da velocidade do vento média diária (m/s) durante a segunda fase experimental

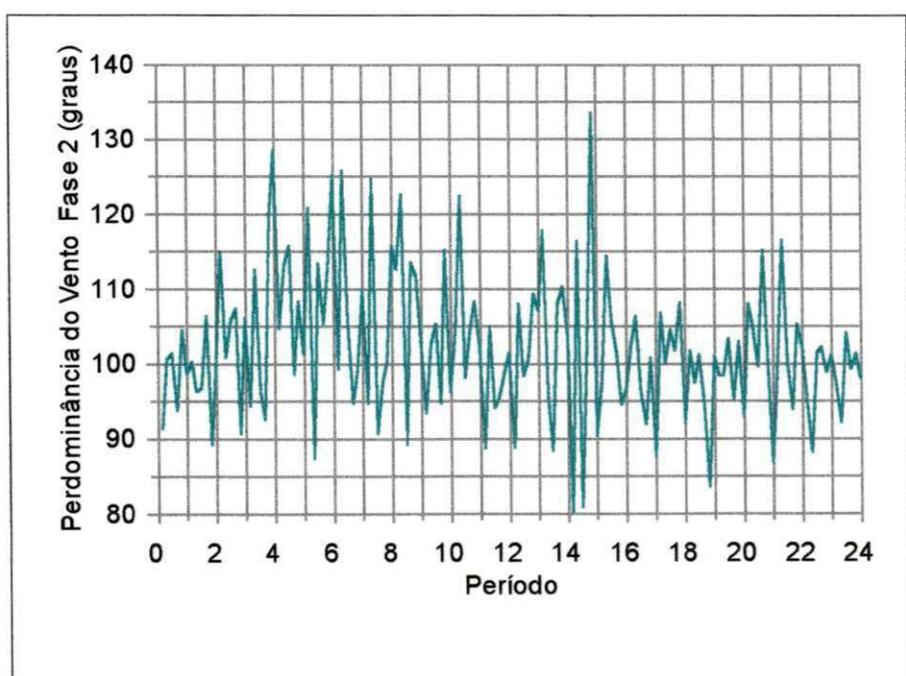


Figura 4.18 – Comportamento da predominância do vento ao longo do dia durante a segunda fase experimental

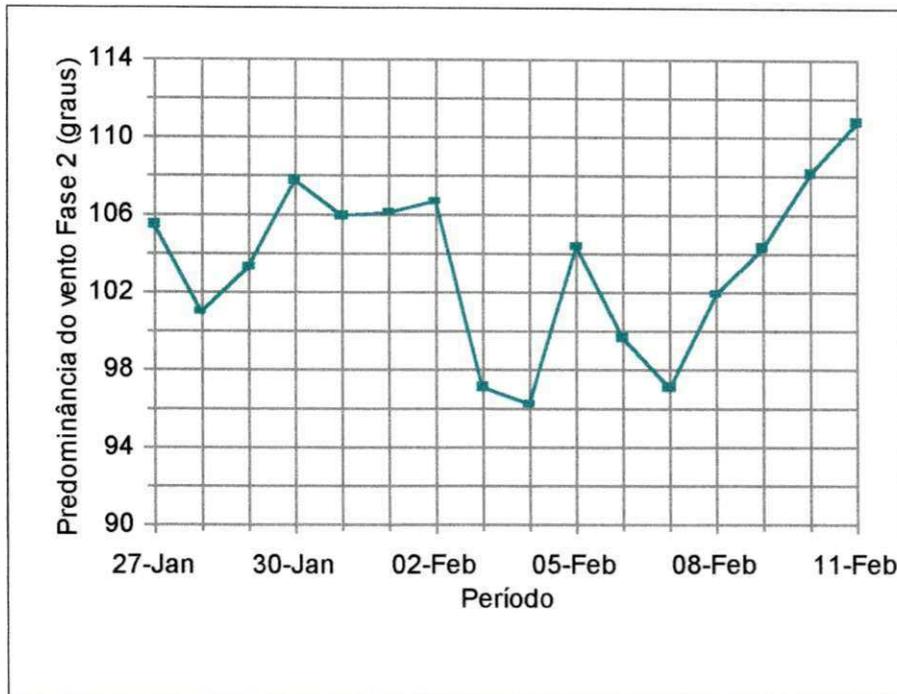


Figura 4.19 – Comportamento da predominância diária do vento durante a segunda fase experimental

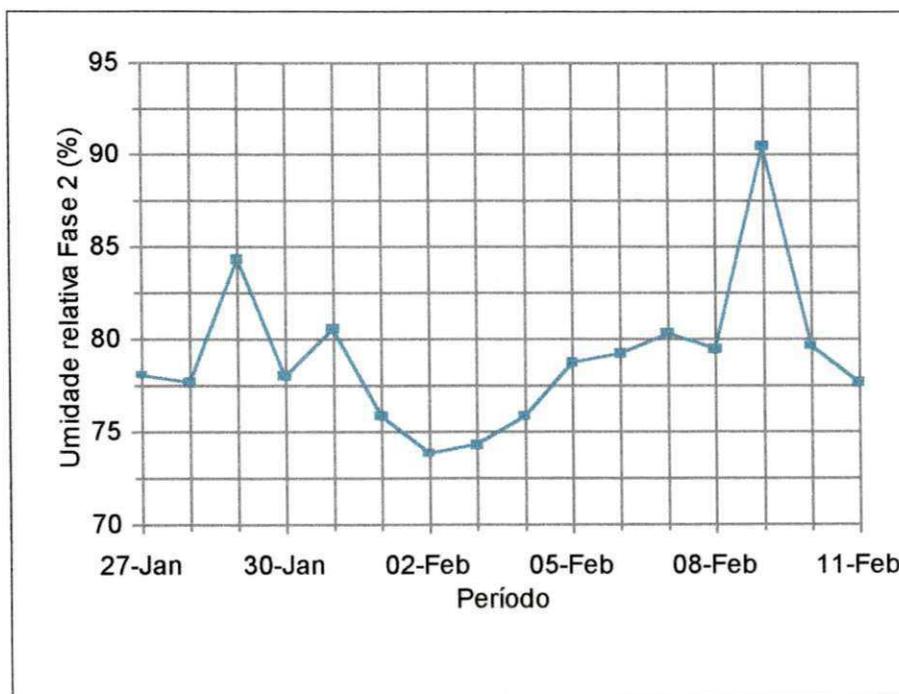


Figura 4.20 – Comportamento da umidade relativa (%) durante a segunda fase experimental

4.3 – TERCEIRA FASE EXPERIMENTAL

Em termos do que ocorreu na terceira fase experimental, fazendo-se uma análise da Figura 4.21, que mostra o comportamento da evaporação durante esta fase experimental, na qual o tanque de cimento amianto A2, passou a ser operado com uma lâmina de 20cm de profundidade, verifica-se que enquanto o tanque de cimento amianto A1 evaporou cerca de 0,29 mm/dia, 5,52% a mais que o tanque Classe A, o tanque de cimento amianto A2 evaporou cerca 0,45 mm/dia. Efetuando-se então a correção desse efeito com base na diferença observada de lâminas d'água evaporada por esses tanques na primeira fase experimental devido o aquecimento em A2, a diferença entre este e o tanque Classe A, diminui para 0,38 mm/dia, ou seja, 7,24%. Esta fase experimental foi caracterizada por acentuada ocorrência de chuvas, ou seja, choveu em 12 dias dos 17 dias desta fase experimental, o que proporcionou um índice de precipitação de 149,0mm no período. Devido a isto, este foi o período de menor índice de evaporação, conforme pode ser observado na Tabela 4.5, comparando-a as Tabelas 4.1 e 4.3. Também esta fase chama a atenção o comportamento dos tanques de cimento amianto em relação aos tanques Classe A, ou seja, devido provavelmente a grande concentração de umidade e redução da temperatura do ar, houve uma aproximação das lâminas de água evaporadas nos tanques Classe A e de cimento amianto, o que não aconteceu na primeira e segunda fase. As lâminas média d'água evaporada dos tanques C1, C2, A1 e A2 para os diferentes horários, são apresentadas na Tabela 4.5.

Analisando o comportamento da temperatura média d'água durante a terceira fase experimental, mostrado na Figura 4.22, verifica-se que durante o período diário mais quente das 11:00 às 18:00h, o tanque de cimento amianto A2 e o tanque Classe A apresentaram a mesma temperatura média 30,7°C, indicando que realmente a temperatura

está diretamente associada a profundidade da lâmina d'água, neste caso ambos com lâminas d' água de 20cm de profundidade. Já no período complementar, o tanque Classe A, resfriou-se mais do que o tanque de cimento amianto A2, em média 0,5°C. Observa-se ainda que o tanque de cimento amianto A2, no período mais frio apresentou um resfriamento em média de 0,4°C em relação ao tanque de cimento amianto A1, o que também já era esperado com o tanque de cimento amianto A2, sendo operando com a mesma lâmina de água do tanque Classe A.

É importante observar que o tanque Classe A apresenta um resfriamento brusco, bastante significativo no período noturno, o que certamente não ocorre na natureza, ou seja, nas superfícies líquidas e até mesmo nas plantas. Diante disto, é preciso analisar estas medidas de forma mais crítica e objetiva, pois os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que este tipo de tanque pode está levando a erros consideráveis na medida de evaporação. Pois, se isto de fato está ocorrendo, o gerenciamento dos recursos hídricos na região pode ter problema em termos de planejamento. Na Figura 4.23 pode-se observar que a temperatura do ar esteve sempre inferior a temperatura dos tanques. Na Tabela 4.6 são apresentados os valores médios da temperatura dos tanques e do ar, durante este período experimental.

Analisando o saldo de radiação durante a terceira fase experimental mostrado na Figura 4.24, observa-se que a maior disponibilidade de energia ocorreu entre 09:00 e 16:00h, superando 250 W/m², com pico máximo próximo ao meio dia e superior a 600 W/m². Em termos de radiação diária é mostrado na Figura 4.25, o comportamento deste parâmetro em termos de energia disponível convertida em lâmina d'água evaporada (mm/dia). Na Figura 4.26 é apresentado o comportamento do vento ao longo do dia nesta

fase, onde verifica-se que os menores valores médios ocorreram entre 05:00 e 07:00h, enquanto os maiores ocorreram entre 15:00 e 15:30h e entre 16:30 e 18:30h. Na Figura 4.27 é mostrado o comportamento médio diário da velocidade do vento. A velocidade média do vento durante esta fase foi menor que na primeira e segunda fase, e seu valor médio foi apenas de 1,6 m/s. Por outro lado, conforme pode ser visto na Figura 4.28, a direção do vento flutuou bastante entre 100 e 150°, ou seja, o vento teve direção variando de leste para sudeste. Na Figura 4.29 é mostrado que a predominância diária da direção do vento, variou um pouco mais além do sudeste nesta fase. Já a umidade relativa do ar média diária nesta terceira fase, mostrada na Figura 4.30, apresentou os índices mais elevados, durante as três fases iniciais, atingindo um valor máximo de 96,1% e mínimo de 82,8%, os quais contribuíram para uma redução significativa da evaporação nesta terceira fase experimental. Este aumento significativo na umidade relativa está diretamente ligado a ocorrência de precipitação, conforme pode ser observado na Figura 4.36.

Tabela 4.5. Valores médios das lâminas d'água evaporada (mm/dia) durante a terceira fase experimental

Horário (h)	Evaporação média na terceira fase experimental (mm/dia)			
	Tanque de cimento amianto 01	Tanque Classe A1	Tanque de cimento amianto 02	Tanque Classe A2
09:00 às 09:00	5,49	5,19	5,58	5,22
09:00 às 15:00	1,55	2,08	1,55	2,10
15:00 às 09:00	3,94	3,11	4,03	3,11
15:00 às 15:00	5,40	5,13	5,46	5,18

Tabela 4.6- Valores médios das temperaturas (°C) durante a terceira fase experimental

Horário (h)	Temperaturas médias (°C) na terceira fase experimental				
	TC1	TA1	TC2	TA2	Tar
09:00 - 09:00	25,7	26,6	25,9	26,3	24,1
09:00 - 15:00	26,6	26,7	26,6	26,9	26,4
15:00 - 09:00	25,5	26,6	25,7	26,3	23,6
15:00 - 15:00	26,1	26,8	26,4	26,7	24,4
Méd. diária	25,7	26,7	25,9	26,4	24,2
09:00 - 18:00	30,7	29,0	30,8	30,7	27,7
18:00 - 09:00	24,0	26,1	24,3	25,0	22,0

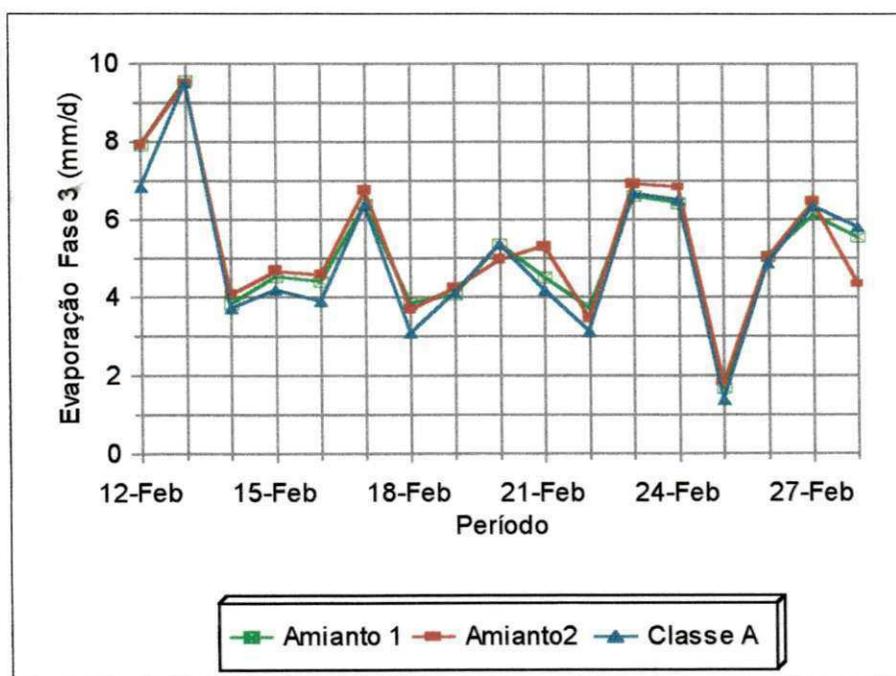


Figura 4.21 - Comportamento da evaporação na terceira fase experimental, em que o tanque de cimento amianto A2 está com lâmina d'água de 20cm de profundidade

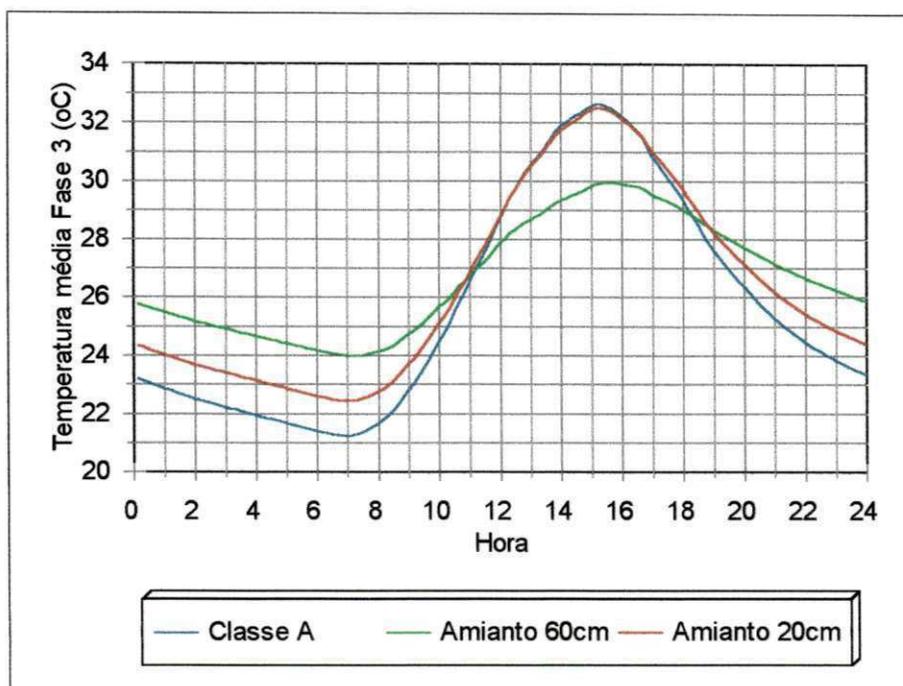


Figura 4.22 – Evolução diária da temperatura dos tanques Classe A C1 e C2 e amiantos A1 e A2, durante a terceira fase experimental

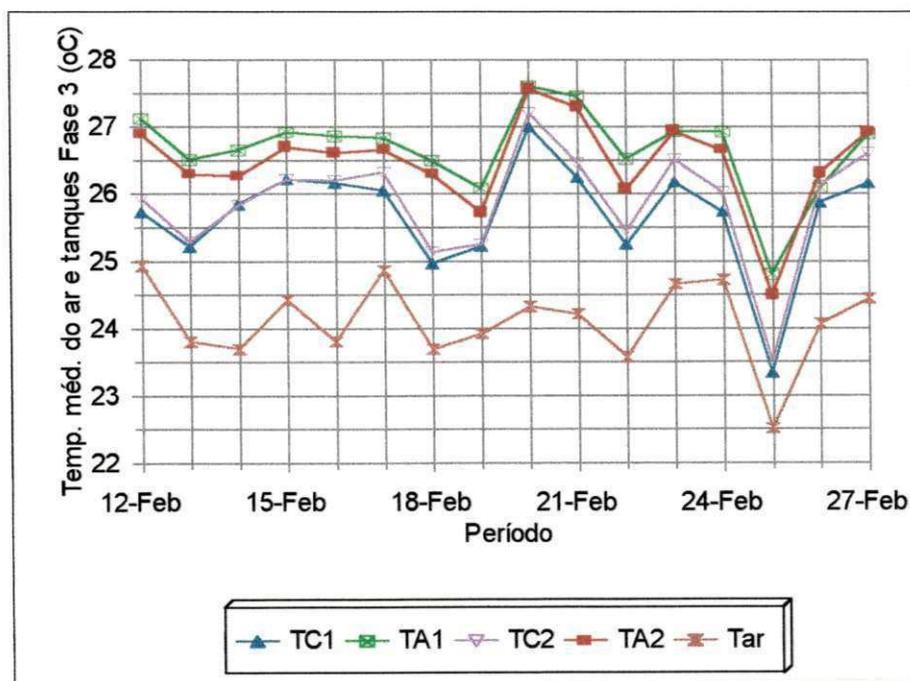


Figura 4.23 - Comportamento da temperatura média diária dos tanques e do ar durante a terceira fase experimental

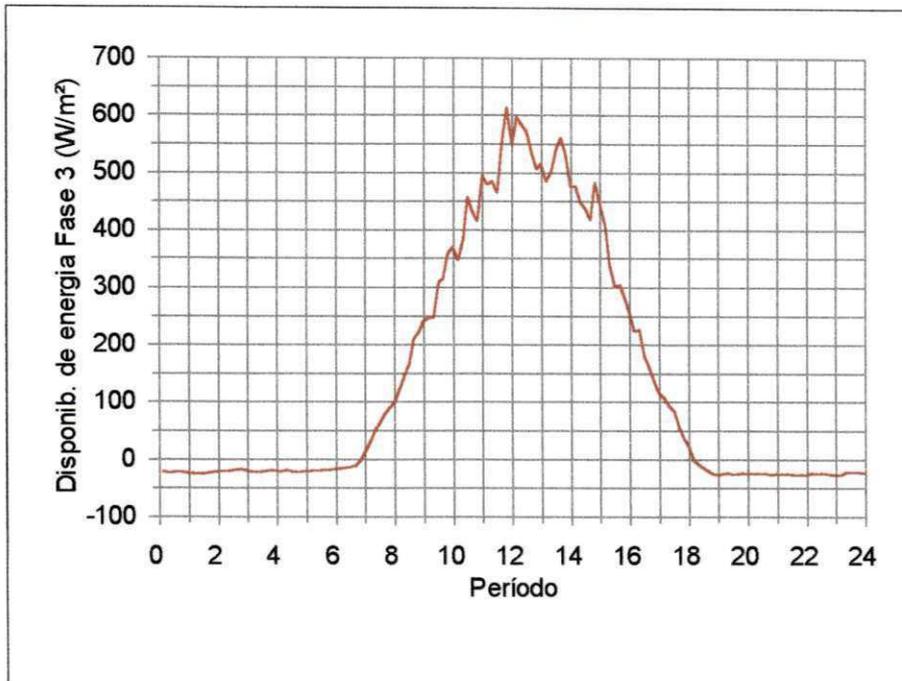


Figura 4.24 - Evolução da disponibilidade de energia (W/m^2) média ao longo do dia durante a terceira fase experimental

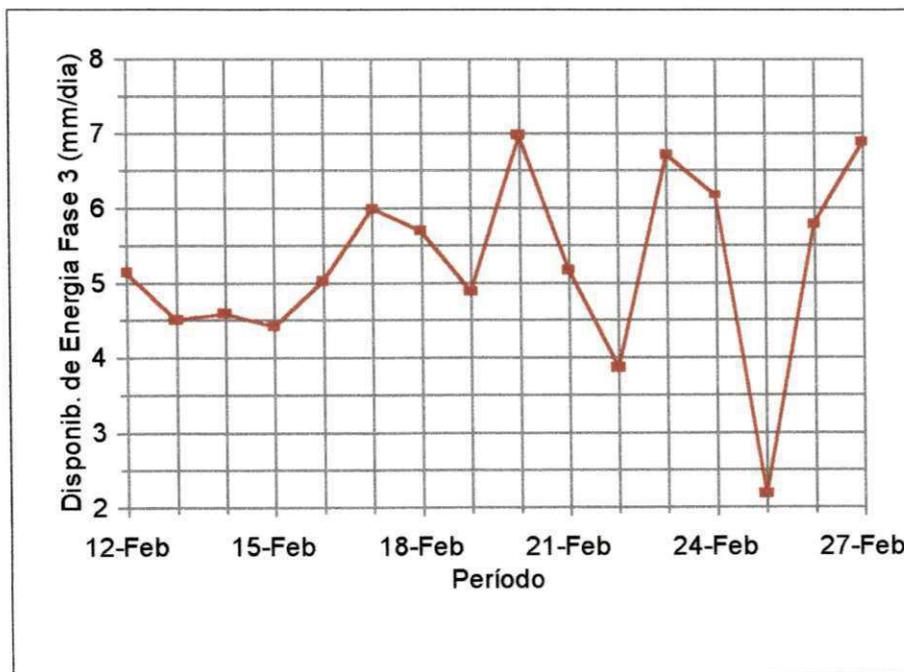


Figura 4.25- Comportamento da disponibilidade de energia diária durante a terceira fase experimental

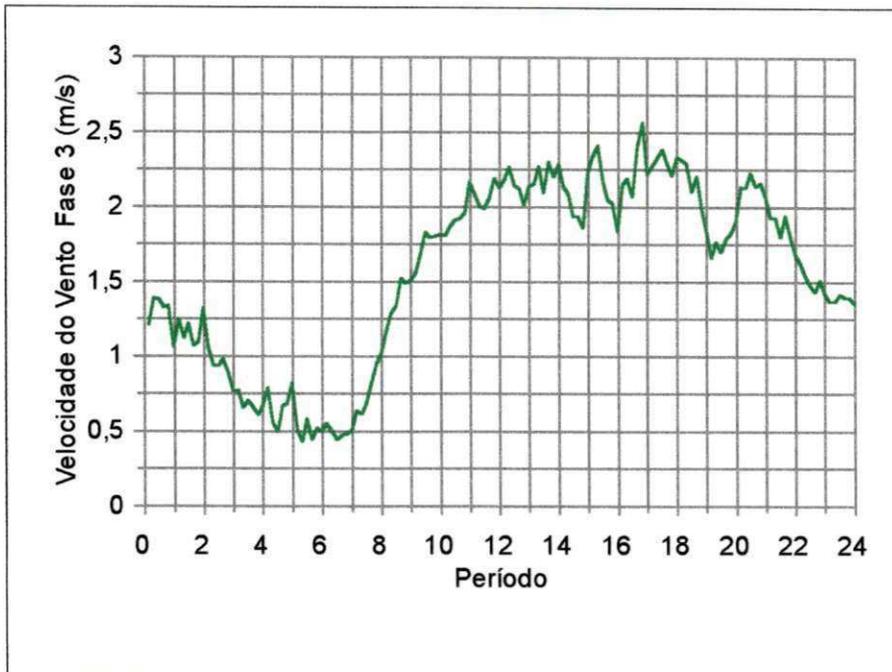


Figura 4.26 - Comportamento da velocidade do vento (m/s) ao longo do dia durante a terceira fase experimental

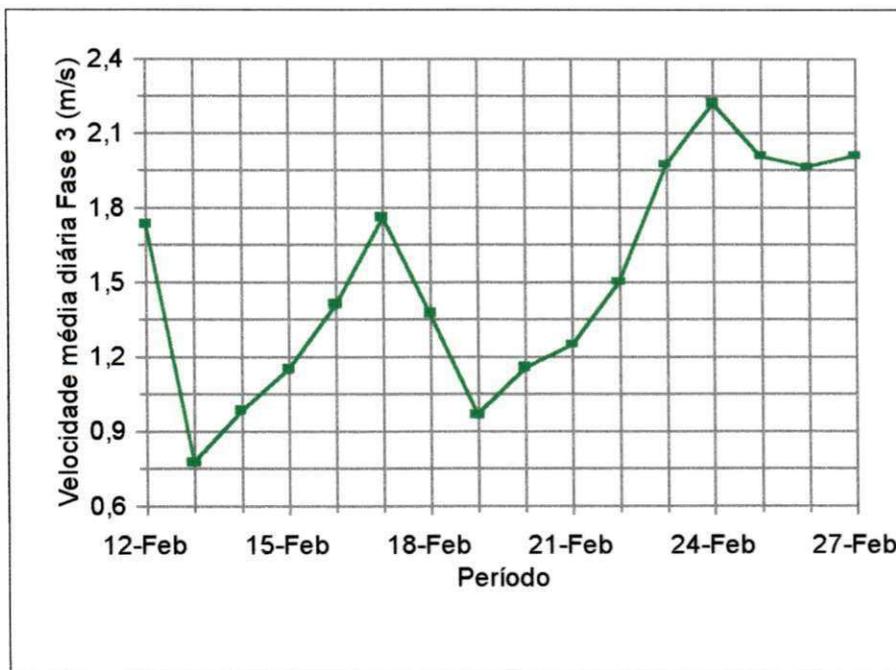


Figura 4.27 - Comportamento da velocidade média do vento diária (m/s) durante a terceira fase experimental

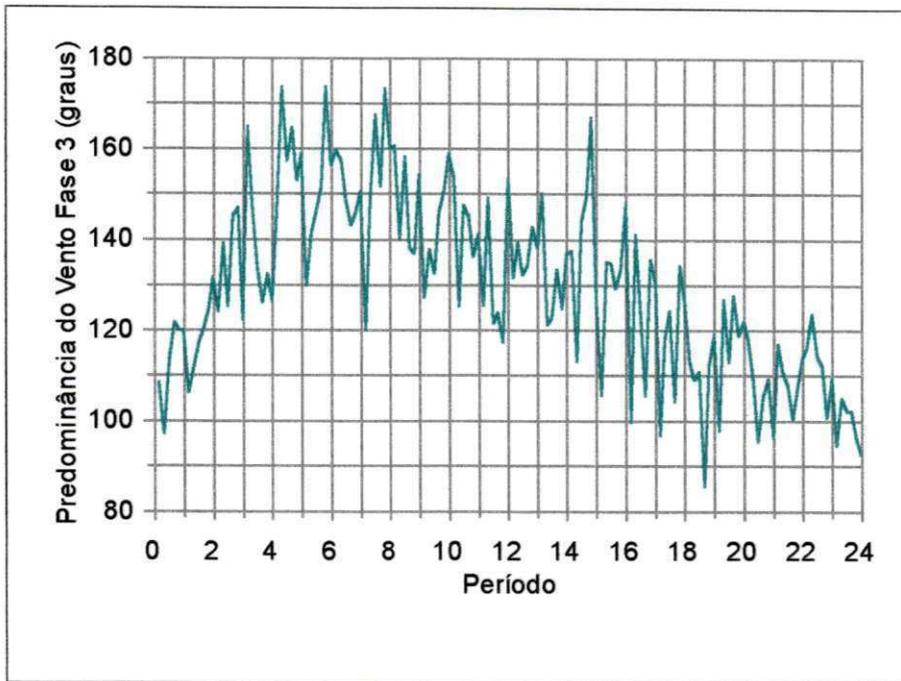


Figura 4.28– Comportamento da predominância do vento ao longo do dia durante a terceira fase experimental

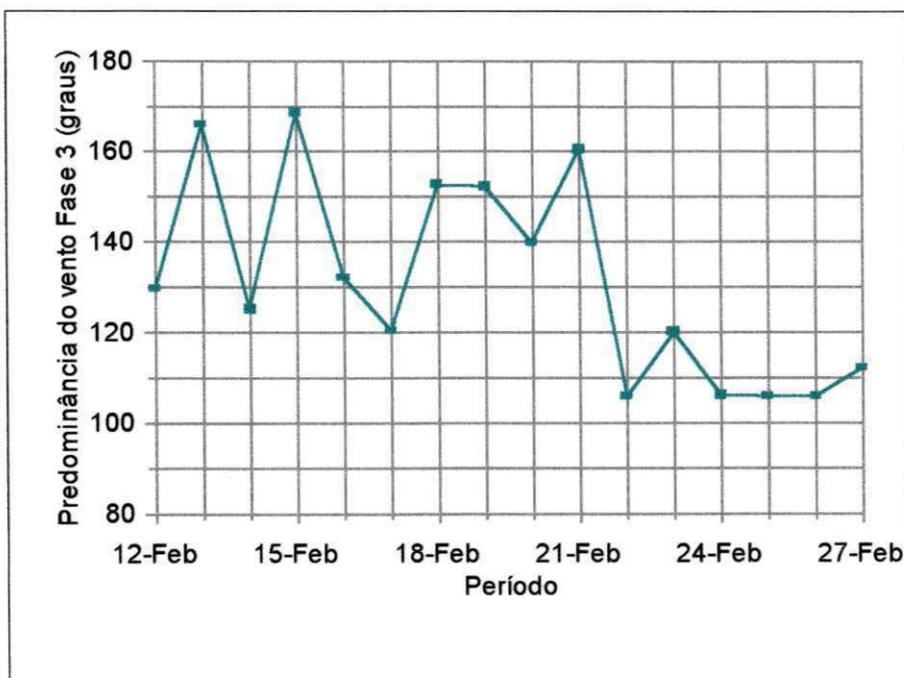


Figura 4.29 - Comportamento da predominância diária do vento durante a terceira fase experimental

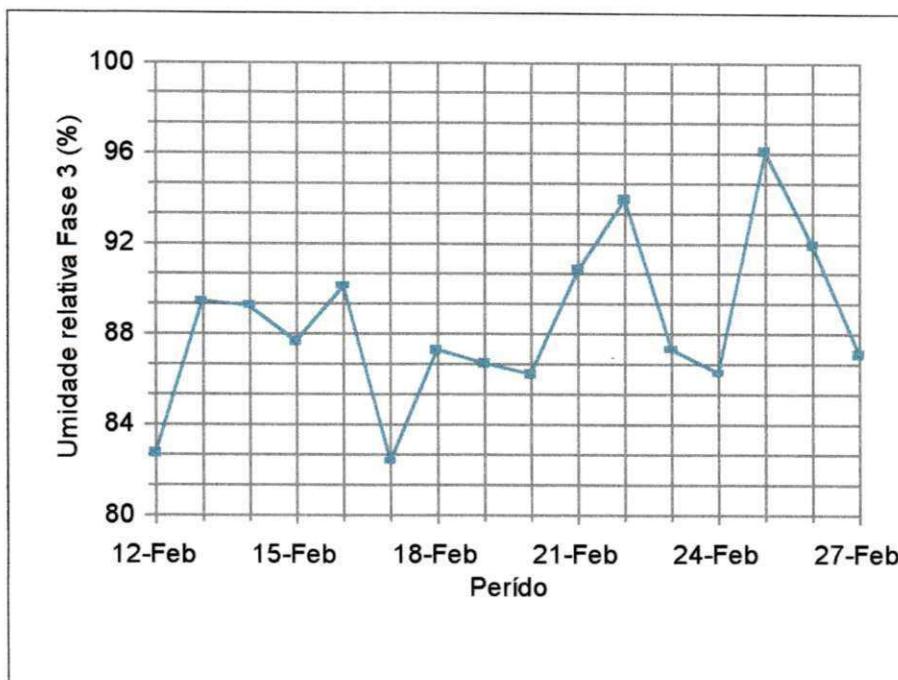


Figura 4.30 – Comportamento da umidade relativa (%) durante a terceira fase experimental

4.4 – QUARTA FASE EXPERIMENTAL

Analisando o comportamento da evaporação na quarta fase experimental, Figura 4.31, na qual o tanque de cimento amianto A2, foi transferido para área interna da estação, enterrado 45cm e operado com uma lâmina d'água de 60cm de profundidade, verifica-se que os tanques de cimento amianto A1 e A2, passaram a ter uma evaporação menor que o tanque Classe A, respectivamente de 0,04 e 0,05 mm/dia. Embora isto represente índices relativamente pequenos e não representativos do ponto de vista estatístico, ou seja, percentuais de 0,69% e 0,79%, esta situação indica um comportamento oposto aos das fases experimentais anteriores, e vem confirmar o que já foi observado na terceira fase experimental, com o aumento da umidade e a redução da temperatura do ar e superfície, os tanques Classe A, apresentaram maior evaporação do que os tanques de cimento amianto. Embora não tenha sido medida a umidade relativa do ar nesta fase, o aumento desta pode

ser comprovado pela ocorrência de precipitação (Fig. 4.36) e o umedecimento do solo desde a terceira fase experimental. Na Tabela 4.7 são apresentados os valores das lâminas d'água evaporadas nesta fase para os horários descritos anteriormente.

Tabela 4.7 - Valores médios das lâminas d'água evaporada (mm/dia) durante a quarta fase experimental

Horário (h)	Evaporação média na quarta fase experimental (mm/dia)			
	Tanque de cimento amianto 01	Tanque Classe A1	Tanque de cimento amianto 02	Tanque Classe A2
09:00 às 09:00	6,07	6,05	6,08	6,18
09:00 às 15:00	1,79	2,79	1,75	2,79
15:00 às 09:00	4,28	3,26	4,32	3,39
15:00 às 15:00	6,09	6,11	6,08	6,17

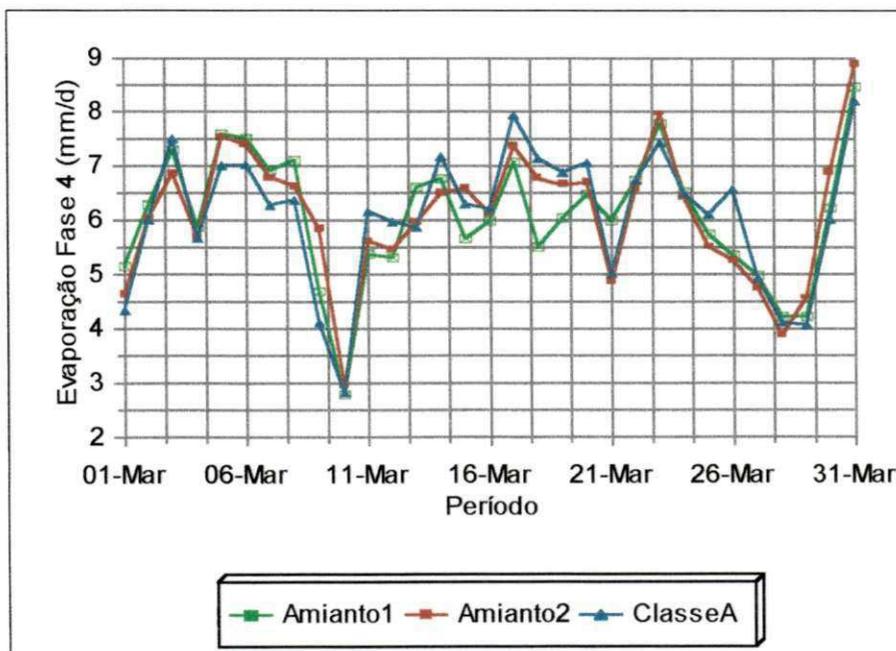


Figura 4.31 - Comportamento da evaporação na quarta fase experimental, tanque de cimento amianto A2 com lâmina de 60cm e enterrado 45cm

4.5 – ANÁLISE PARA TODO PERÍODO EXPERIMENTAL

Em termos de evolução da evaporação média diária durante todo o período experimental mostrado na Figura 4.32, verifica-se que nos tanques Classe A a evaporação não ultrapassou 11 mm/dia e que a maior frequência desses valores é 8 mm/dia. Já os tanques de cimento amianto evaporaram mais que o tanque Classe A nas três fases experimentais iniciais, porém as lâminas evaporadas não ultrapassaram 12,5 mm/dia. A quarta fase experimental, foi a única em que o tanque Classe A apresentou evaporação maior que os tanques de cimento amianto, independente deste estar acima da superfície ou enterrado.

Em resumo, fazendo-se uma análise do que ocorreu ao longo do período experimental em termos de aquecimento d'água nos dois tipos de tanques, verifica-se através da Figura 4.33, que a temperatura média da água no período mais quente das 11:00 às 18:00h, nos tanques de cimento amianto foi menor 1,7°C em relação ao tanque Classe A. Na segunda fase experimental essa diferença foi de 1,2°C e na terceira fase experimental de apenas 0,1°C. Na Figura 4.34, período mais frio das 18:00 às 11:00h, ocorreu exatamente o oposto, os tanques de cimento amianto apresentaram-se mais aquecidos que os tanques Classe A, na primeira fase experimental este aquecimento foi em média 1,4°C, na segunda fase experimental de 1,1°C e na terceira fase experimental de 0,5°C. Estes resultados mostram claramente a influência da diminuição da lâmina d'água no aumento da temperatura da massa de água no tanque de cimento amianto A1, principalmente durante o dia, ou seja, na medida em que foi sendo colocado areia no tanque de cimento amianto A1, a diferença entre as temperaturas d'água neste tanque e no tanque Classe A foi diminuindo, chegando apenas a 0,1°C quando a lâmina d'água em ambos os tanques foi de 20cm.

Na Figura 4.35 verifica-se claramente uma tendência do aumento da umidade relativa do ar no transcorrer dos períodos experimentais um, dois e três, o que vem a confirmar tudo que foi comentado anteriormente.

Finalmente, para se ter uma idéia da ocorrência de precipitação durante todo período experimental, analisando a Figura 4.36, verifica-se que enquanto no mês de novembro não houve precipitação, o mês de fevereiro foi o mais chuvoso, com índice pluviométrico diário de até 66,4mm, o que confirma a alta umidade já comentada.

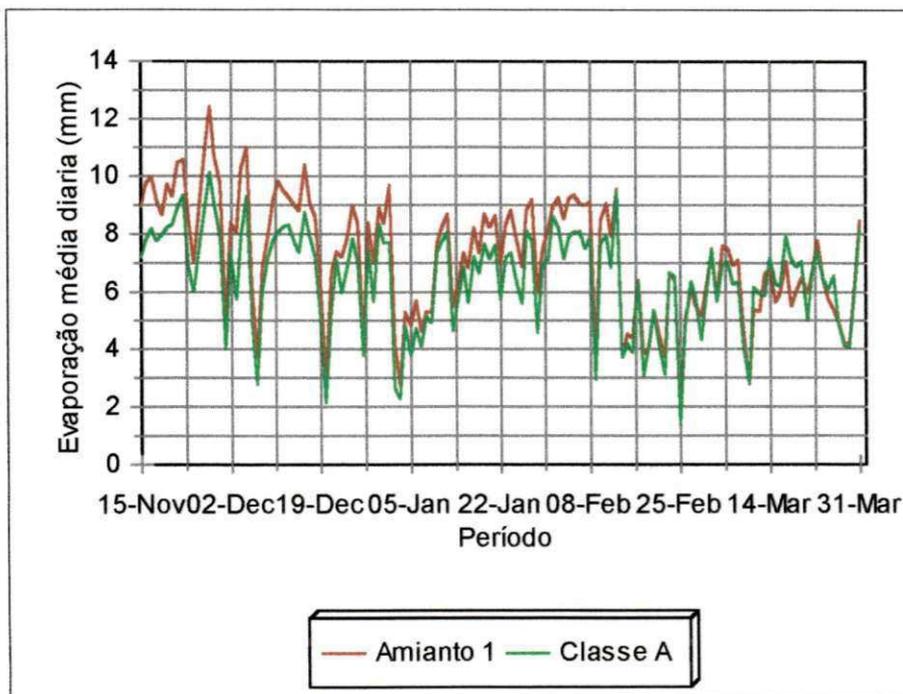


Figura 4.32 - Comportamento da evaporação diária durante todo o experimento dos tanques C1 e A1

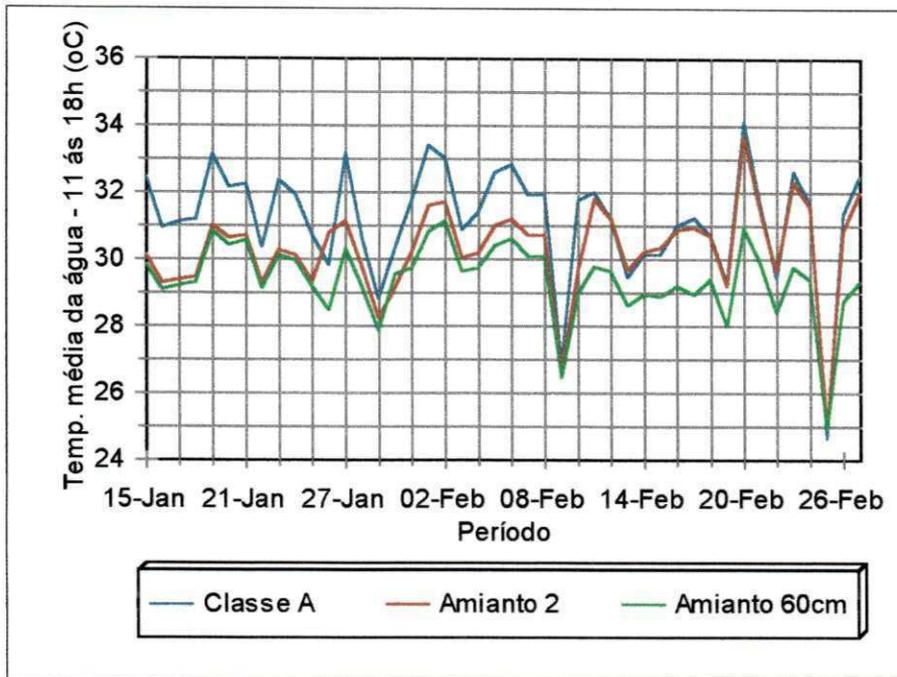


Figura 4.33 - Comportamento da temperatura média da água dos tanques no período mais quente durante as três fases iniciais do experimento

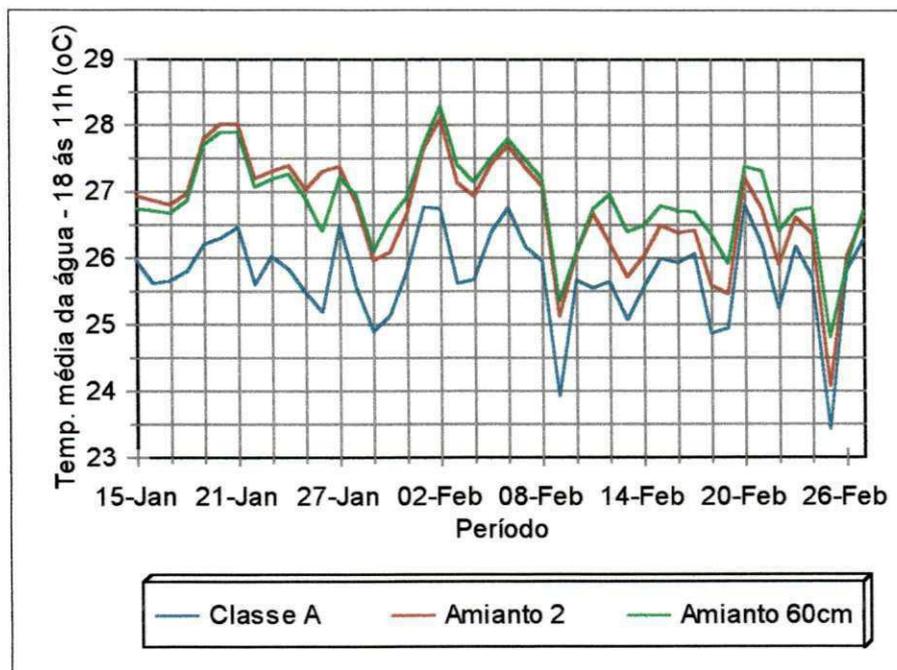


Figura 4.34 - Comportamento da temperatura média da água dos tanques no período mais frio durante as três fases iniciais do experimento

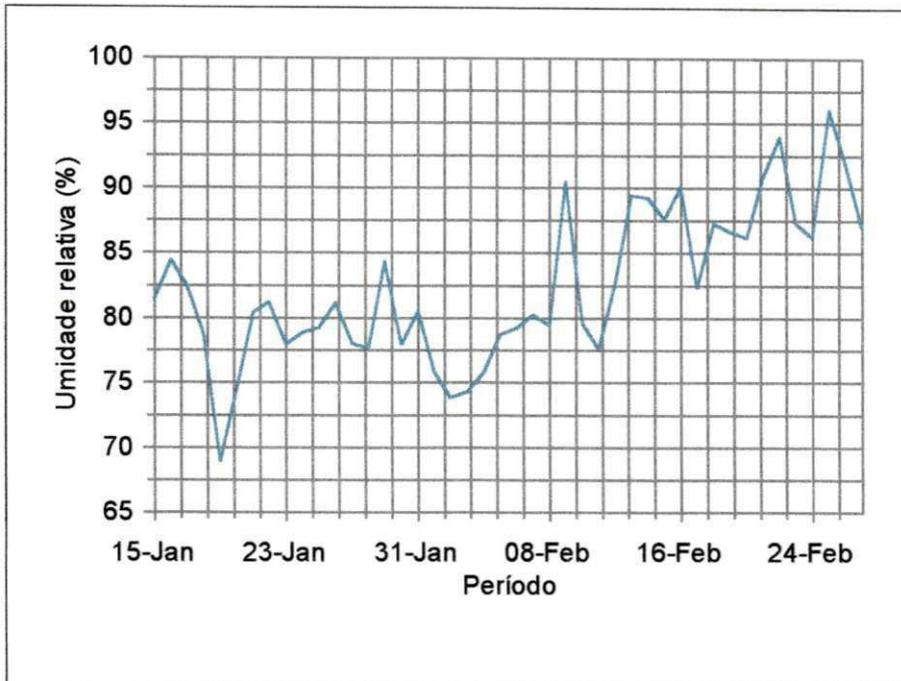


Figura 4.35 - Evolução da umidade relativa do ar no período de 15/01 à 27/02/2000

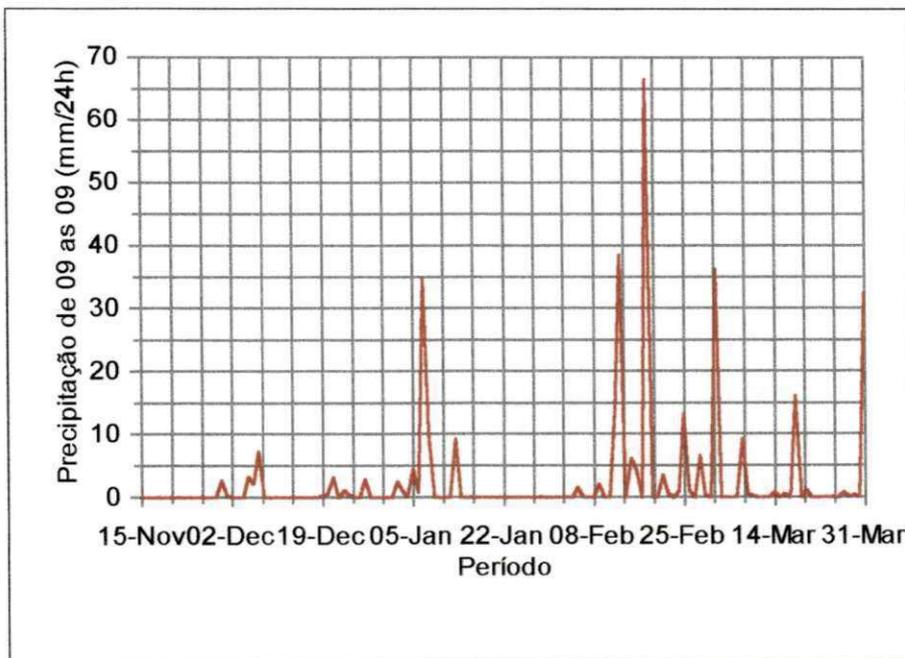


Figura 4.36 - Comportamento da precipitação durante todo o experimento

4.6 – COMPARAÇÃO ENTRE MEDIDAS E ESTIMATIVAS

Embora não seja objetivo deste trabalho proceder comparação entre medidas e estimativas, como durante as três primeiras fases experimentais desta pesquisa, foram efetuadas medidas do saldo de radiação, umidade relativa do ar e velocidade do vento a dois metros da superfície, procurou-se avaliar o comportamento do Método Original de Penman, comparando-o com as medidas efetuadas. Deste modo, nas Fig. 4.37, 4.38 e 4.39 é mostrado o comportamento da evaporação medida e estimada pelo método de Penman para as três fases experimentais.

Analisando-se as curvas destas figuras, verifica-se que houve em todas as fases uma sobrestimação das medidas pelas estimativas. Na primeira fase experimental, a sobrestimação em relação as medidas dos tanques de cimento amianto (operados com lâmina d'água de 60cm de profundidade), foi de 1,6 mm/dia, enquanto que em relação aos tanques Classe A, foi de 2,7 mm/dia. Em termos percentuais, isto indica diferenças de 18,9% e 38,9%, respectivamente, o que representa uma defasagem das estimativas em relação as medidas dos tanques Classe A, maior que o dobro daquela observada em relação as medidas dos tanques de cimento amianto.

Na segunda fase experimental, a sobrestimação em relação aos tanques de cimento amianto A1 e A2 foi de 1,3 e 1,2 mm/dia, respectivamente, enquanto que em relação aos tanques Classe A C1 e C2 foi de 2,4 e 2,0 mm/dia. Isto mostra que a diferença entre as medidas dos tanques Classe A e as estimativas pelo método de Penman, é aproximadamente o dobro daquelas dos tanques de cimento amianto. Em termos percentuais nesta fase em média as medidas dos tanques Classe A, foram sobrestimadas em 32,2%; enquanto as medidas do tanque de cimento amianto A1, com uma lâmina d'água de

60cm de profundidade, foram sobrestimadas em 16,2% e as medidas do tanque de cimento amianto A2, com lâmina de d'água de 40cm de profundidade em 14%.

Na terceira fase experimental, foram observadas diferenças de sobrestimação pelo método de Penman em relação as medidas dos tanques Classe A, amianto A1 e amianto A2 de 1,7; 2,0 e 1,6 mm/dia respectivamente, o que representa em termos percentuais 29,4%; 37,4% e 25,9%. Estes índices mostram que nesta fase, a defasagem entre estimativas e medidas foi em média a maior entre as três fases experimentais. Na Tabela 4.8 são mostrados valores diários da evaporação medida e estimada pelo método de Penman durante as três primeiras fases experimentais.

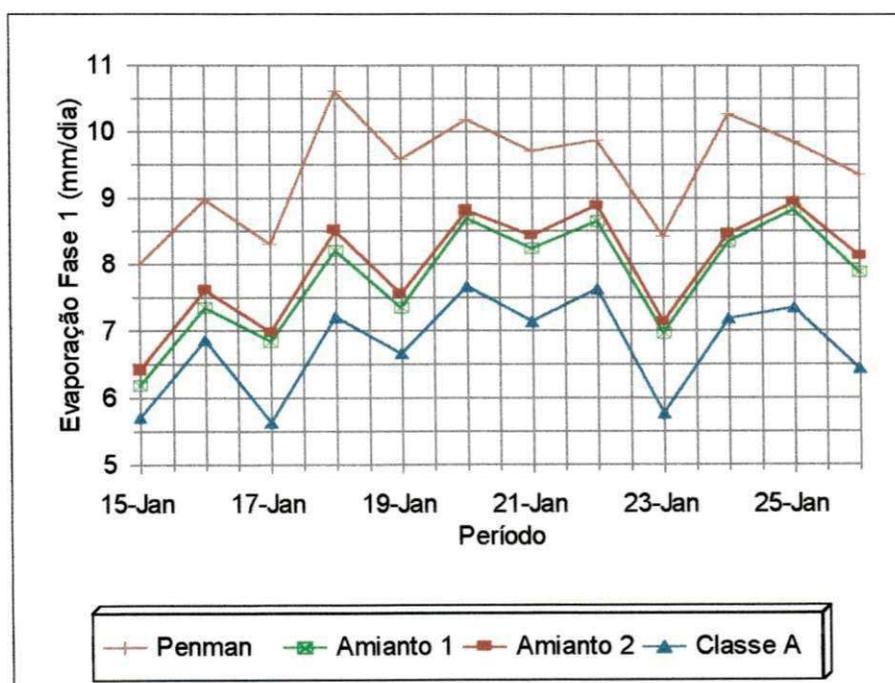


Figura 4.37 – Comparação da evaporação medida e estimada por Penman durante a primeira fase experimental

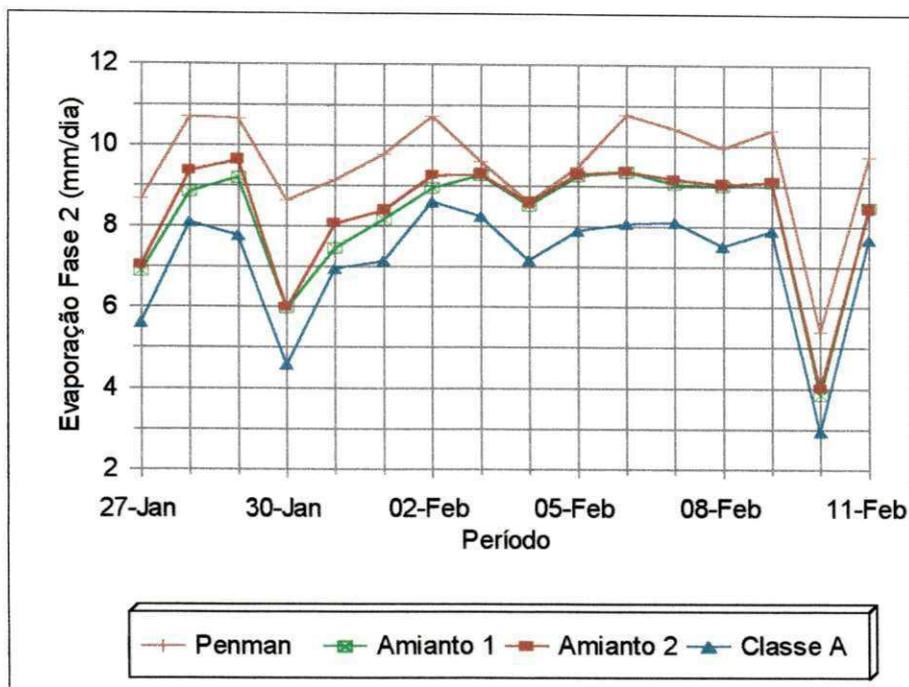


Figura 4.38 - Comparação da evaporação medida e estimada por Penman na segunda fase experimental

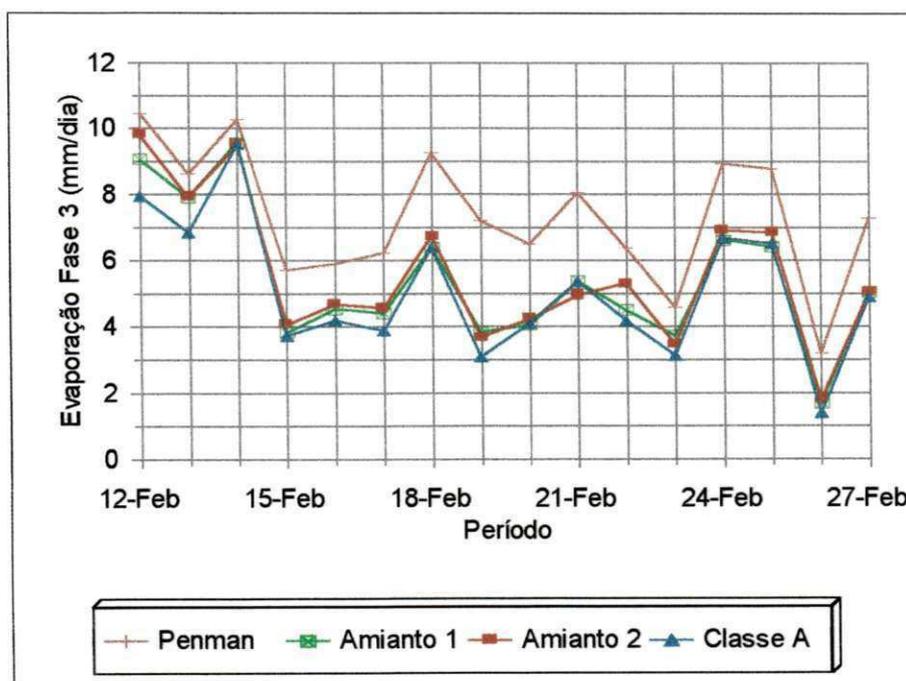


Figura 4.39- Comparação da evaporação medida e estimada por Penman na terceira fase experimental

Tabela 4.8 – Valores diários da evaporação medida e estimada durante as três primeiras fases experimentais

Dia	Evaporação média (mm/dia)				
	Penman	Classe A1	Amianto 1	Classe A2	Amianto 2
16/01	8,98	6,80	7,36	6,95	7,62
17/01	8,31	5,48	6,85	5,80	6,99
18/01	10,62	7,14	8,22	7,30	8,52
19/01	9,59	6,58	7,36	6,76	7,56
20/01	10,18	7,55	8,70	7,80	8,81
21/01	9,71	7,05	8,25	7,26	8,44
22/01	9,88	7,57	8,66	7,70	8,90
23/01	8,43	5,72	6,98	5,84	7,15
24/01	10,28	7,15	8,35	7,24	8,47
25/01	9,86	7,34	8,83	7,38	8,94
26/01	9,36	6,36	7,89	6,54	8,14
Média	9,56	6,79	7,95	6,96	8,14
27/01	8,68	5,58	6,89	5,67	7,04
28/01	10,71	8,02	8,86	8,22	9,36
29/01	10,68	7,79	9,20	7,78	9,64
30/01	8,63	4,56	5,99	4,62	5,98
31/01	9,14	6,88	7,46	7,04	8,06
01/02	9,78	7,07	8,17	7,22	8,40
02/02	10,73	8,55	8,96	8,68	9,26
03/02	9,60	8,24	9,27	8,29	9,29
04/02	8,60	7,08	8,54	7,25	8,60
05/02	9,47	7,83	9,26	7,98	9,30
06/02	8,89	7,24	8,36	8,18	9,36
07/02	10,43	8,08	9,07	8,18	9,18
08/02	9,96	7,46	9,02	7,60	9,04
09/02	10,41	8,02	9,12	7,80	9,11
10/02	5,41	2,91	3,86	3,00	4,01
11/02	9,75	7,62	8,50	7,79	8,45
Média	9,55	7,11	8,22	7,21	8,38
12/02	10,47	8,10	9,08	7,84	9,81
13/02	8,63	6,75	7,93	6,98	7,94
14/02	5,56	9,49	9,57	9,57	9,51
15/02	5,72	3,68	3,83	3,78	4,07
16/02	5,91	4,26	4,54	4,15	4,68
17/02	6,24	4,00	4,42	3,80	4,57
18/02	9,26	6,36	6,41	6,43	6,75
19/02	7,23	3,03	3,85	3,18	3,69
20/02	6,50	3,98	4,07	4,26	4,24
21/02	8,07	5,49	5,38	5,27	4,96
22/02	6,39	4,20	4,52	4,19	5,32
23/02	4,59	3,12	3,74	3,17	3,48
24/02	8,94	6,70	6,63	6,68	6,93
25/02	8,79	6,42	6,44	6,63	6,85
26/02	3,19	1,38	1,70	1,44	1,83
27/02	7,30	4,86	5,06	4,94	5,04
Média	7,05	5,11	5,45	5,14	5,60

4.7 – UMA ANÁLISE COM MEDIDAS DE OUTROS LOCAIS

Finalmente, para ilustrar os resultados deste trabalho e ter-se uma idéia do comportamento, bem como avaliar a tendência da evaporação, procurou-se comparar as medidas obtidas nesta pesquisa à medidas efetuadas em outras duas cidades não muito distantes: Picuí, localizada na região do Curimatau, com altitude de 439m e distante em linha reta cerca de 40Km, a noroeste de Campina Grande; a outra cidade, é Boqueirão, com altitude de 355m e distante em linha reta a sudoeste de Campina Grande cerca de 94Km. Esta última cidade está localizada numa das regiões mais secas do Brasil, o Cariri Paraibano e nela está situado o Açude de Boqueirão que abastece Campina Grande e outras cidades do compartimento da Borborema. Deste modo, na Figura 4.40 é mostrado o comportamento da evaporação medida em tanques Classe A no período de 15/11/99 a 31/03/00, nas Estações Meteorológicas do CCT e em Picuí. Verifica-se que em Picuí a evaporação foi um pouco maior que em Campina Grande, em média 0,44 mm/dia. Esta diferença na evaporação de Picuí e Campina Grande está relacionada as condições de umidade do ar, velocidade do vento e energia disponível. Como a umidade do ar esteve ao longo do período experimental um pouco mais elevada em Campina Grande, deve ter sido o elemento climático mais diretamente responsável por essa diferença, pois enquanto choveu em Campina Grande neste período 347,6mm, em Picuí choveu apenas 192,8mm. Finalmente, verifica-se que houve uma tendência de comportamento semelhante entre as duas curvas, a partir do mês de janeiro.

Na Figura 4.41 que mostra a evaporação diária em mm/dia para o período de 29/12/99 a 31/03/00, verifica-se que a evaporação foi predominantemente maior no Açude de Boqueirão do que em Campina Grande, em média 1,72 mm/dia. Da mesma forma que em Picuí, esta maior evaporação em Boqueirão deve está associada aos efeitos causados por uma menor umidade do ar, maior ação do vento, além de uma maior disponibilidade de energia radiante na região, em comparação com o que ocorreu em Campina Grande durante este período. Como já mencionado, Boqueirão além de estar situada numa região bastante seca, durante este período choveu apenas 123,4mm, ou seja, 199,4mm a menos que em Campina Grande.

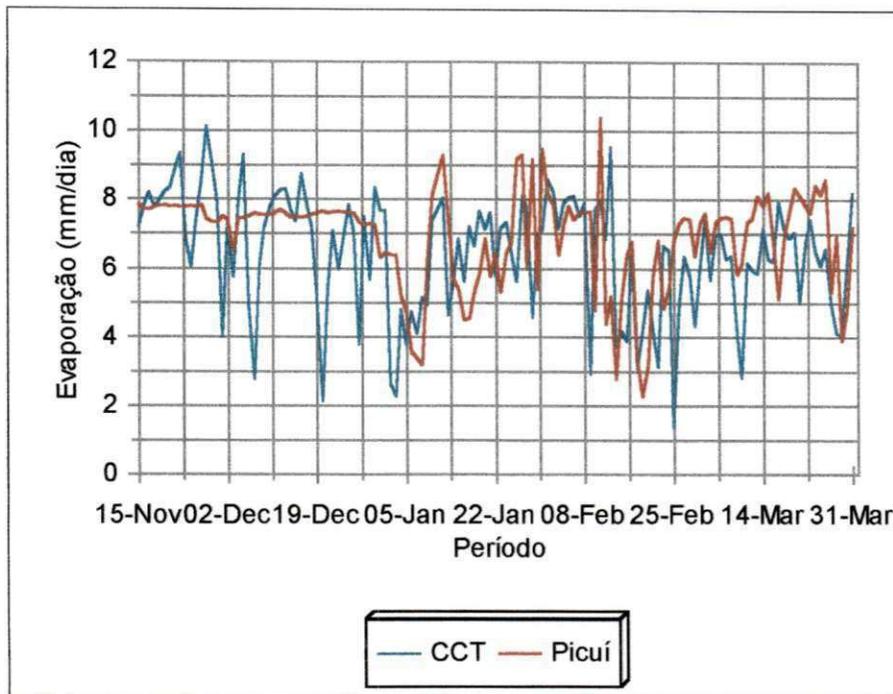


Figura 4.40 – Comparação da evaporação no tanque Classe A em duas estações distintas durante todo o período experimental

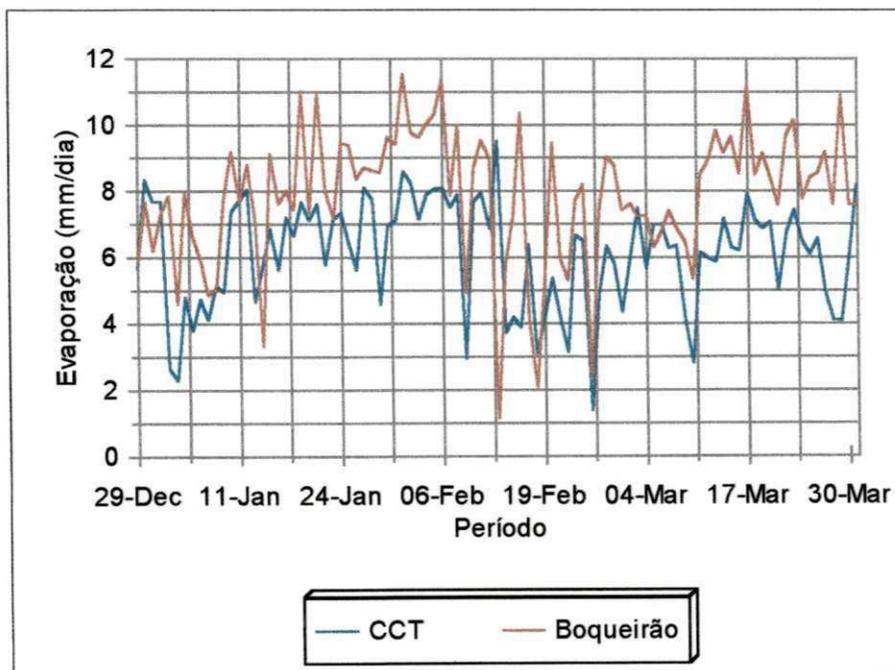


Figura 4.41 – Comparação da evaporação no tanque Classe A em duas estações distintas no período de 29/12/99 a 31/03/00.

5. CONCLUSÕES

Ao avaliar-se os resultados encontrados durante todas as fases experimentais chegou-se as seguintes conclusões:

- Os dados obtidos ao longo do experimento mostraram que apenas durante o período úmido, o tanque Classe A apresentou índices de evaporação próximos aos do tanque de cimento amianto. Durante o período mais seco a diferença entre esses índices foi cerca de 16%. Também observou-se que a diferença diminuiu na medida que a umidade do ar foi aumentando. Diante disto, considerando que a região semi-árida se caracteriza por baixos índices de umidade e elevadas temperaturas, o uso do tanque Classe A, pode estar levando a erros significativos as estimativas de evaporação na região.
- Os dados de temperatura obtidos durante esta pesquisa, mostram que o aquecimento da massa d'água está diretamente relacionada com a profundidade de sua lâmina, e para lâminas mais profunda, mais lento é o equilíbrio térmico com a atmosfera durante a noite. Portanto, maior será a disponibilidade de energia para evaporação ao longo de 24 horas.

- As estimativas de evaporação baseadas no método de Penman, embora tenham apresentado sobrestimação em relação as medidas, indicaram tendência de comportamento similar e praticamente constante tanto em relação aos tanques de cimento amianto, como aos tanques Classe A, embora a diferença média em relação a estes últimos, tenha sido praticamente o dobro, comparada a diferença dos tanques de cimento amianto, nas fases mais secas.
- Considerando que a maioria das superfícies naturais de água livre tem profundidade maior do que a lâmina de água do tanque Classe A, é razoável supor que estas condições são muito mais semelhantes àquelas dos tanques de cimento amianto, logo este tipo de tanque seria muito mais realístico e apropriado para medir evaporação que o tanque Classe A. Por outro lado, o tanque de cimento amianto tem a vantagem de custar apenas cerca de 20% do preço do tanque Classe A.
- Considerando o exposto e que a evaporação de açudes é estimada com base nas medidas do tanque Classe A, bem como o açude de Boqueirão por está localizado no Cariri paraibano uma das regiões do Brasil que apresenta baixos índices de umidade, elevadas temperatura, chama-se a atenção para a situação de que este manancial, assim como os demais mananciais da região, podem está tendo evaporação subestimada.
- Os resultados obtidos nesta pesquisa, representam uma modesta contribuição para o problema da medida da evaporação e lança as bases para estudos posteriores, alertando sobre uma possível subestimação da evaporação real, bem como mostra a viabilidade do uso do tanque de cimento amianto como uma alternativa mais barata e mais eficiente para medir evaporação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J.V.; ANGELOCCI, L.R.; POLEGATTI, M.V. Relação entre a evaporação e a umidade de um solo bruno não cálcico sem vegetação, em condições semi-áridas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.2, p.229-233, 1998.
- AHMED, N. (Discussion) Prediction of Class A evaporation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol. 117, n. 1, p. 146-148, 1991.
- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, v. 43, n.2, p.35-63, 1994.
- ALOISE, E.D.; MARQUES, J.; FERREIRA, A.V.; CAVALCANTE, D.R.; DOURADO, M. Algumas considerações sobre erros de medida em meteorologia II evaporímetro tipo classe A. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6, Salvador-BA. Anais 01: 03-05, 1990.
- ALVES, F.S.M.; VENDRAME, I.; FISCH, G. Análise comparativa entre os valores estimados e os valores medidos pelo hydra. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 12. 403-409, 1997.

- AMORIM NETO, M.S. Análise preliminar do desempenho de um sistema de medidas de evaporação para o tanque Classe A. Piracicaba, ESALQ/USP, 1981 (**Dissertação de Mestrado**).
- AMORIM, M.C.; SEDIYAMA, G.S.; SOBRINHO, J.E.; RODRIGUES, L.N. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque Classe A. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Piracicaba-SP. Anais 01:683-685, 1997.
- ANGUS, D. E.; WATTS, P. J. Evapotranspiration – How good is the Bowen ratio method? **Agricultural Water Management. Amsterdam**. Vol. 8, p.133-150, 1984.
- ASSIS, F.N. Validação da equação de Penman-Monteith para estimar a evapotranspiração de referência em condições brasileiras. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 9, Campina Grande-PB. Anais 01:63-65, 1995.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soil Fertilizers**. Oxford, n.34, p.1-15, 1971.
- BERGAMASHI, H.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Balanço de radiação de soja em região subtropical do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 5, Belém-Pará. Anais 01: 320-321, 1987.
- BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. Evaporação e evapotranspiração. IPAGRO. **Boletim Técnico** N.7, p.95, 1981.
- BEZERRA, F.M.L.; OLIVEIRA, C.H.C. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura nos estádios fenológicos da melancia irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.173-177, 1999.

BLACK, T.A.; SPITTLEHOUSE, D.L. Evaluation of the Bowen ratio/Energy balance method for determining forest evapotranspiration. **Atmophere-ocean**, 18: 98-116, 1980.

Boletim Técnico, Porto Alegre, 7: 3-95, 1981.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. **Physical Review**. New York, v.27, p.779-787, 1926.

BRUN, L.J.; ENZ, J.W.; LARSEN, J.B.M. Evolution of energy balance and water use by spring wheat during a normal and dry season. **Agricultural Forest Meteorology**, v.35, p.103-111, 1985.

CALDER, I.R.; WRIGHT, I.R.; MURDIYARSO, D. A study of evaporation from tropical rain forest- West Java. **Journal of Hydrology**, 89: 13-31, 1986.

CASEIRO, F.T.; JÚNIOR, J.H.C. Evapotranspiração máxima (Zea mays L.) em condições de seca no serrado. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 9, Campina Grande – PB. Anais 01:91-92, 1995.

CHANG, JEN-HU. Climate and agriculture. **An Ecological Survey**. Chicago, Aldine, p.304, 1968.

CHIEW, F.H.S.; KAMALADASA, N.N.; MALANO, H.M.; McMAHO, N. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and Class-A pan data in Australia. **Agricultural Water Management**, v.28, p.09-21, 1995.

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

- COSTA, J.P.R.; ELOI, C.M.A.; MORAES, J.C. Avaliação do comportamento da evapotranspiração em área de floresta tropical úmida da Amazônia. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília – DF. CD Mi98009, 1998.
- CUENCA, R.H.; NICHOLSON, M.T. (Closure) Application of Penman wind function, by Richard H. Cuenca and Martin T. Nicholson (Mar, 1982). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.109, n.2, p. 283-2287, 1983.
- CURY, D.M.; VILLA NOVA, N.A. Utilização do tanque Classe A e do evaporímetro de Piche na otimização dos métodos de Penman e Thornthwaite. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 9, Campina Grande-PB. Anais 01: 256-264, 1995.
- DENMEAD, O.T; McILROY, I.C. Measurements of non potencial evaporation from wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.7, n.4, p.285-302, 1970.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for prediction of crop water requeriments. **FAO Irrigation and Drainage Paper 24**, 2nd ed., Rome, 179p. 1977.
- DYLLA, A.S.; TOMMONS, D.R.; SAULL, H. Estimanting water used by irrigated corn in west central. *Soil Sci. Soc. Am. Journal Minesota*, 44:823-827, 1980.
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. Estudo da demanda de água do feijoeiro. Piracicaba, ESALQ/USP, 1980. 82p. (**Dissertação de mestrado**).
- ESCOLA VIVA: Programa de pesquisa e apoio escolar: O tesouro do estudante. 1^a edição – São Paulo: Meca, 1998.
- FEITOSA, J.R.P.; LEITÃO, M.M.V.B.R. Análise comparativa da evapotranspiração potencial entre as áreas de pastagem e floresta na Amazônia central. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília-DF. CD98001, 1998.

- FENNESSEY, N.M.; KIRSHEN, P.H. Evaporation and evapotranspiration under climate in New England. **Journal Resources Planning and Management**, vol. 120, n.1, p. 48-69, 1994.
- FREVERT, D.K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.109, n.2, p. 265-270, 1983.
- GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G.E.; NORDENSON, T.J.; OMAR, M.H.; URYVAEV, V.A. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. **World Meteorological Organization**, Geneva, 1966. 121p. (Tech. Note No. 83, WMO-No.201, TP 105).
- GASH, J.H.C.; STEWART, J.B. The evaporation from Thetford Forest during 1975. **Journal of Hydrology**, 35: 385-396, 1977.
- GAY, L.W. Bowen-Ratio measurements at sites C and L. **Evapotranspiration Measurements of Native Vegetation**, Owens Valley, California. p.05-18, 1986.
- GRANGER, R.J. A complementary relationship approach for evaporation from nonsaturated surfaces. **Journal of Hydrology**, 111: 31-38, 1989.
- GRANGER, R. J.; GRAY, D. M. Evaporation from natural nonsaturated surfaces. **Journal of Hydrology**, 111: 21-29, 1989.
- GRANT, D.R. Comparison of evaporation measurements using different methods. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v.101, n.427, p.543-550, 1975.
- GREENWOOD, E.A.N.; BERESFORD, J.D. Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated-chamber technique,I. Comparative

- transpiration from juvenile Eucalyptus above saline groundwater seeps. **Journal of Hydrology**, 42: 369-382, 1979.
- GREENWOOD, E.A.N.; KLEIN, L.; BERESFORD, J.D.; WATSON, G.D. Differences in annual evaporation between grazed pasture and eucalyptus species in plantations on a saline farm catchment. **Journal of Hydrology**, 78: 261-278, 1985.
- GREENWOOD, E.A.N.; KLEIN, L.; BERESFORD, J.D.; WATSON, G.D.; WRIGHT, K. D. Evaporation from the understorey in the jarrah (*Eucalyptus marginata* Don ex Sm.) forest, southwestern Australia. **Journal of Hydrology**, 80: 337-349, 1985.
- HANSON, C.L.; RAUZI, F. Class A pan evaporation as affected by shelter, and a daily prediction equation. **Agricultural Meteorology**, v.18, p.27-35, 1977.
- HARGREAVES, G.H. Estimation of potencial and crop evapotranspiration. Translation **ASAE** 17:701-704, 1974.
- HARGREAVES, G.H. (Discussion) Estimation of FAO evapotranspiration coeficiente. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.110, n.2, p. 257-259, 1984.
- HELLWIG, D.H.R. Evaporation of water from sand, 6. The influence of the depth of the water table on diurnal variations. **Journal of Hydrology**, 39: 129-138, 1978.
- HUNTINGFORD, C.; BLYTH, M.; WOOD, N.; HEWER, F.E.; GRANT, A. The effect of orography on evaporation. **Boundary-Layer Meteorology** 86: 487-504, 1998.
- IDSO, S.B. Relative rates of evaporative water losses from open and vegetation covered water bodies. **Water Resources Bulletin**, American Water Resources Association, vol. 17, n.1, p.46-48, 1981.

IDSO, S.B., REGINATO, R.J. and JACKSON, R.D. Calculation of evaporation during the three stages of soil drying. **Water Resources Research**, vol. 15, n.2, p.487-488, 1979.

IKEBUCHI, S.; SEKI, M.; OHTOH, A. Evaporation from Lake Biwa. In: R. L. Bras, M. Hino, P.K. Kitanidis and K. Takeuchi (Editors), **Hydrologic Research: The U.S. – Japan Experience**. **Journal of Hydrology**, 102: 427-449, 1988.

ILLICH, I.; KAVISKI, E.; KRÜGER, C.M.; MÜLLER, M. Cálculo da evaporação e evapotranspiração em diversas regiões do Brasil. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 10, Gramado-RS. Anais 02:395-404, 1993.

INMET, Normais Climatológicas, Brasília – DF, 1992

JACKSON, R.D. Canopy temperature and crop water stress. In: D. Hillel (ed.) **Advances in Irrigation**, v.1. Academic Press, New York. P.43-85, 1982.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. Evapotranspiration and irrigation water requirements, **American Society of Civil Engineers**, n.70, p.331, 1990.

KLAR, M.A.; ISSAC, V.C. Evaporation reduction in stock tanks for increasing water supplies. **Journal of Hydrology**, 119: 21-29, 1990.

KIM, C.P.; ENTEKHABI, D. Examination of two methods for estimating regional evaporation using a coupled mixed layer and surface model. **Water Resources Research**, vol. 33, n.9, p. 2109-2116, 1997.

KLAR, A.E. A água no sistema solo-planta atmosfera. São Paulo: **Editora Nobel**, 2ª ed., 408p, 1988.

KNAPP, H.V. Evaporation and transpiration. P.537-554. In: D. D. Houghton (ed.). **Handbook of applied meteorology**. New York. John Weley & Sons., 1985.

- KNAPP, H.V.; YU, Y.S.; POGGE, E.C. Monthly evaporation for milford lake in Kansas. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol. 110, n.2, p.138-148, 1984.
- LECLERC, M.Y.; THURTELL, G.W.; GILLESPIE, T.J. Laboratory simulation of evaporation of water droplets on artificial soybean leaves. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.36, p.105-111, 1985.
- LEITÃO, M.M.V.B.R. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada. DCA/CCT/UFPB, Campina Grande-PB., p.66-70, 1989. (Dissertação de mestrado).
- LEITÃO, M.M.V.B.R.; AZEVEDO, P.V. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada, nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6, Salvador, BA. Anais 01: 27-32, 1990.
- LEMON, E.R.; GLASSER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. **Soil SC. Society American Proc.**, 21: 464-468, 1957.
- LEWIS, J.M. The story behind the Bowen ratio. **Bulletin of the American Meteorological Society**, vol.76, n.12, p.2433-2443, 1995.
- LIMA, M.G.; SILVA, A.A.G. Evapotranspiração de referência vs. Evaporação do tanque Classe A para o município de Teresina, Pi. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 10, Piracicaba-SP. Anais 01:701-703, 1997.
- LMRS-PB. Dados climatológicos anual, dezembro, 1999.
- MACHADO, G.; SARAIVA, J.M.B. Estudo das taxas de evaporação nas cidades de Rio Grande e Pelotas-RS. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília-DF. CD HL98013, 1998.

- MAHRT, L.; EK, M. The influence of atmospheric stability on potential evaporation. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, vol. 23, p. 222-234, 1983.
- MARCELINO, B.C.; LEOPODO, P.R. Estimativas operacionais de evapotranspiração regional. In: **Congresso Brasileiro de Meteorology**, 10, Brasília-DF. CD AG98008, 1998.
- MARQUES FILHO, A.O. M.; RIBEIRO, M.N.G.; FATTORI, A.P.; FISCH, G.F.; JANUÁRIO, M. Evaporação potencial. In: **Simpósio Brasileiro De Hidrologia e Recursos Hídricos**, 6, São Paulo-SP, Anais 03:294-305, 1985.
- MATEUS, A S. DUARTE, E.F. Estudo comparativo da evaporação potencial estimada por evaporímetros do tipo classe A e OMM de 20m², na bacia representativa da Amazônia. In: **Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, 7, Salvador-BA. Anais 02: 249-280, 1987.
- MATTOS, A. e VILLELA, S.M. Evapotranspiração real média espacial em uma bacia hidrográfica. In: **Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, 7, Salvador-BA. Anais 02: 504-221, 1987.
- McNAUGHTON, K. G.; BLACK, T. A. A study of evapotranspiration from a Douglas Fir Forest using the energy balance approach. **Water resources research, American Geophysical Union**, v.9, n.6, p.1579-1590, 1973.
- MEDEIROS, J.F.; PEREIRA, F.A.C.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. Comparação entre a evaporação em tanque Classe A padrão e em minitanque em estufa e estação meteorológica. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 10, Piracicaba-SP. Anais 01: 228-230, 1997.
- MICHALANY, D.; RAMOS, C.M.; NETO, J.N.; FILHO, C.P. Novo curso de estudos sociais. 3^a ed. Unificada. São Paulo: Michalany, 1986.

- MOLLE, F. Evapotranspiração – evaporação do tanque Classe A – evaporação nos pequenos açudes: variações e correlações. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 8, Foz do Iguaçu –PR. Anais 01:282-293, 1989.
- MORTON, F.I. Estimating evapotranspiration from potential evaporation: practicality of the iconoclastic approach. **Journal of Hydrology**, 38: 1-32, 1978.
- MORTON, F.I. Climatological estimates of lake evaporation. **Water Resources Research**, vol. 15, n.1, p. 64-76, 1979.
- MORTON, F.I. What are the limits on forest evaporation? **Journal of Hydrology**, 74: 374-398, 1984.
- MOTA, F.S.; AGENDES, M.O.; SOUZA L.K. Estimativa da evapotranspiração de referência nos principais climas do Brasil com instrumentos de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.6, n.1, p.479-486, 1991.
- MOURA, G.A.; SILANS, A.M.B.P. Contribuição do modelo numérico de evaporação de açudes baseado no conceito de advecção localizada. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 10, Gramado-RS. Anais 02: 405-414, 1993.
- NASH, J.E. Potential evaporation and “The complementary relationship”. **Journal of Hydrology**, 111: 1-7, 1989.
- OLIVEIRA FILHO, J.H.; MARCELINO, B.C. Comparação dos modelos de Thornthwaite e Morton para estimativas de evapotranspiração. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília-DF. CD98009, 1998.
- OLIVEIRA, G.M.; LEITÃO, M.M.V.B.R. Medidas e estimativas de evapotranspiração numa cultura de amendoim. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília-DF. CD98010, 1998.

- OLIVER, H.R.; SENE, K.J. Energy water balances of developing vines. **Agricultural and Forest Meteorology**, Wallingford, Amsterdam. V.61, p.167-185, 1992.
- PALLAND, C.L. The “evaporation brush”, na evaporimeter for measuring the potential evaporation of meadow grass. **Journal of Hydrology**, 41: 363-369, 1979.
- PARLANGE, M.B.; KATUL, G.G. Estimation of the diurnal variation of potential evaporation from a wet bare soil surface. **Journal of Hydrology**, 132: 71-89, 1992.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proc. R. Soc. London**, A193:120-146, 1948.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. Journal Agricultural Science**, 4:9-29, 1956.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: Fealq, 1997.
- PRUEGER, J.H., HATFIELD, J.L., KRISTIAN, AESE, J., PIKUL, Jr.J.L. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal**, v.89,p.730-736, 1997.
- QUINN, F.H. Na improved aerodynamic evaporation technique for large lakes with application to the International Field Year for the Great lakes. **Water Resources Research**, vol. 15, n.4, p. 935-948, 1979.
- REICOSKY, D.C.; DEATON, D.E.; PARSONS, J.E. Canopy air temperatures and evapotranspiration from irrigated and stressed soybeans. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.21, p.21-35, 1980.

- RODRIGUES, L.N.; SEDIYAMA, G.C.; SOCCOL, O.J.; MANTOVANE, C.E. Modelo de Ritchie para determinações da transpiração do feijoeiro (*phaseolus vulgaris* L.) e da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 179-185, 1998.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. Microclimate: The biological environment. 2ª ed **John Wiley & Sons**, cap.7. p.209-287, 1983.
- ROUSE, W.R.; WILSON, R.G. Test of potencial accuracy of the water budget approach to estimating evapotranspiration. **Agricultural Meteorology**, v.9, p.421-446, 1972.
- SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, A. P. Estimativa da evapotranspiração potencial para o estado de São Paulo baseada no método de Hargreaves modificado. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 9, Campina Grande-PB. **Anais** 01:278-279, 1995.
- SENTELHAS, P.C.; CAMARGO, A.P. Equação para estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves-1974. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.
- SHAW, E.W. Hidrology in practice. Van Nostrand Reinhold (UK). Co. Ltda. 569p, 1983.
- SILVA, M.A.V.; BRAGA, C.C.; AGUIAR, M.J.N.; SILVA, B.B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba, 2ª ed, NMA/CCT/UFPB, Campina Grande-PB, 1987.
- SIMON, E.; MERO, F. A simplified procedure for the evaluation of the Lake Kinnret evaporation. **Journal of Hydrology**, 78: 291-304, 1985.
- SIQUEIRA, A.A. Avaliação do microclima em área de caatinga e área reflorestada com algaroba no semi-árido. **Dissertação de mestrado** (UFPB), Campina Grande, PB. p.87, 1997.

- SIQUEIRA, A.A.; LEITÃO, M.M.V.B.R. Estimativa da evapotranspiração em áreas de caatinga e reflorestada com algaroba no semi-árido do Nordeste do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília- DF. CD98003, 1998.
- SLEIGHT, R.B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Journal of Agricultural Research.**, 10:209-262, 1917.
- SNYDER, R.L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol. 118, n. 6, p. 977-980, 1992.
- SORIANO, B.M.A.; PEREIRA, A.R. Estimativa da evapotranspiração de referência para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal Mato Grossense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.123-129, 1993.
- SOUZA, J.L.; CALHEIROS, C.B.M.; SANTOS, E.A. Evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith representativa da região do Tabuleiro costeiro de Alagoas. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 10, Brasília – DF. CD AG98004, 1998.
- STANNARD, D.I.; ROSENBERRY, D.O. A comparas of short-term measurements of lake evaporation using eddy correlation and energy budget methods. **Journal of Hydrology**, 122: 15-22, 1991.
- STEWART, R. B.; ROUSE, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. **Water Resources Research**, v.12, n.4, p.623-628, 1976.
- STIGTER, C.J. (Discussion) Application of Penman wind function, by Richard H. Cuenca and Martin T. Nicholson (Mar, 1982). **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, vol.109, n.2, p. 278-281, 1983.
- SUMAYAO, C.R.; KANEMASU, E.T.; BRAKKE, T.W. Using leaf temperature to assess evapotranspiration and advection. **Agricultural Meteorology**, v.22, p.153-166, 1980.

- TAJCHAMAN, S.T. Evapotranspiration and energy balances of forest and field. **Water Resources Research**, 7: 511-523, 1971.
- TANNER, C.B.; LEMON, E. R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 54: 207-212, 1962.
- TEXEIRA, A.H.C.; AZEVEDO, P.A.; SILVA, B.B.; MONTEIRO, S.S. Balanço de energia na cultura da videira, c.v. Itália. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.137-141, 1997.
- THOM, A.S.; OLIVER, H.R. On Penman's equation for estimating regional evaporation. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, 103: 345-357, 1977.
- THOM, A.S.; THONY, J.L.; VAUCLIN, M. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. **Quarterly Journal Royal Meteorological Society**, v. 107, n. 453, p. 711-736, 1981.
- VILLA NOVA, N.A. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba, ESALQ/USP 78p (Tese de doutorado) 1967.
- VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.R.; BARBIERI, V. Evapotranspiração como uma função do índice de área foliar e da evaporação de tanque classe A. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.2, p.35-37, 1996.
- VILLA NOVA, N.A.; SENTELHAS, P.C. Evapopluviômetro novo sistema de medida da evaporação do tanque Classe A. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Florianópolis-SC, 1999.
- WHITHERS, B.; VIPOND, S. – Irrigação: projeto e prática, 3ª edição, Editora Nobel, São Paulo, 1995.