

MAX HENRIQUE VIEIRA DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO PLUVIAL E REDUÇÃO NA EVAPORAÇÃO
PARA INCREMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

RECIFE

2012

MAX HENRIQUE VIEIRA DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO PLUVIAL E REDUÇÃO NA EVAPORAÇÃO
PARA INCREMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UFRPE, como parte das exigências para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração Engenharia de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

RECIFE

2012

Ficha Catalográfica

S237a Santos, Max Henrique Vieira dos
Alternativas de captação pluvial e redução na evaporação
para incremento de disponibilidade hídrica no semiárido
pernambucano / Max Henrique Vieira dos Santos. -- Recife,
2012.
78 f. : il.

Orientador (a): Ênio Farias de França e Silva.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Tecnologia Rural, Recife, 2012.

Referências.

1. Evaporímetros 2. Telas de sombreamento 3. Garrafas PET
4. Água de chuva 5. Eficiência de captação I. Silva, Ênio Farias
de França e, Orientador II. Título

CDD 630

**ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO PLUVIAL E REDUÇÃO NA EVAPORAÇÃO
PARA INCREMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

MAX HENRIQUE VIEIRA DOS SANTOS

Dissertação defendida e aprovada em 02 de Março de 2012 pela Banca
Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr.
UFRPE

Examinadores:

Tales Miler Soares, Prof. Dr.
UFRB

Geber Barbosa de Albuquerque Moura, Prof. Dr.
UFRPE

Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. Dr.
UFRPE

A DEUS;

Aos meus pais José Nunes Vieira e Rosinalva
Vieira dos Santos, pelo amor, amizade,
carinho e apoio em toda a minha vida.

Dedico

O que faz um sonho impossível é não acreditar nele.

Dulce Maria

*Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar
seria menor se lhe faltasse uma gota.*

Madre Teresa de Calcutá

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por estar sempre comigo me guiando e fortalecendo nessa caminhada;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso de mestrado;

Ao CT-HIDRO/CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado (Proc. Nº 556649/2009-5) e ao CNPq pelo auxílio financeiro para realização da pesquisa (Proc. Nº 574169/2008-3);

Ao Prof. Dr. Ênio Farias França e Silva, pela orientação e ensinamentos;

Aos componentes da banca examinadora: Prof. Dr. Tales Miler Soares, Prof. Dr. Geber Barbosa de Albuquerque Moura e Prof. Dr. Pedro Robinson Fernandes de Medeiros pela valiosa contribuição.

Aos meus pais José Nunes Vieira e Rosinalva Vieira dos Santos, pelo amor incondicional;

Aos meus irmãos Ewerton Vieira e Myrlla Crystina pelo amor, amizade e companheirismo;

Aos amigos Nadielan, Celestino, Igor e Lucas, pelo companheirismo e amizade, tornando o nosso convívio um ambiente familiar;

Aos amigos e colegas de curso, Mara, Toni, Wellington, Zezito, Jessyca, Rochele, Andréa, Gledson, Matheus, Sinval, Alexandre, Daniel, Raquele, Aluísio, Ricardo, Nícolas e Francimar, pelos bons momentos compartilhados durante essa etapa de nossas vidas;

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola que contribuíram para essa etapa da minha formação;

A Edilson, Leila, Jussara, Aparecida, Edna, Edson e Analice, uma família muito especial que me acolheu em Ibimirim durante o desenvolvimento da pesquisa;

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia Rural - DTR, pela colaboração durante o curso;

E a todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

	Pag.
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. A Região Semiárida do Brasil.....	13
2.2. Açudagem no Brasil.....	14
2.3. Processo de evaporação: importância, definições e fatores determinantes.....	15
2.4. Uso de evaporímetros na determinação da evaporação de superfícies de água livremente exposta à atmosfera.....	17
2.5. Estimativa da evaporação de superfície de água livremente exposta à atmosfera por métodos meteorológicos.....	19
2.6. Mecanismos utilizados para reduzir a evaporação.....	22
2.7. Captação da água de chuva.....	23
2.8. Qualidade da água de chuva.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Avaliação de redução da evaporação.....	29
3.1.1 Localização.....	29
3.1.2 Estruturas utilizadas.....	29
3.1.3 Material avaliado.....	31
3.1.4 Ensaio I: Telas coloridas.....	31
3.1.5 Ensaio II: Telas pretas.....	32
3.1.6 Caracterização das telas.....	32
3.1.7 Ensaio III: Garrafas PET.....	36
3.1.8 Determinação da evaporação.....	38
3.1.9 Estimativa da evaporação.....	39
3.1.10 Análise estatística.....	39
3.2. Avaliação de captação pluvial.....	40
3.2.1 Localização.....	40
3.2.2 Estrutura utilizada.....	40
3.2.3 Avaliação da qualidade de água captada.....	41

3.2.4 Eficiência de captação de água de chuva.....	41
3.2.5 Análise estatística.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Experimento I: Redução da evaporação.....	43
4.1.1. Caracterização microclimática.....	43
4.1.2. Evaporação nos tanques.....	45
4.1.3. Relação entre evaporação dos tratamentos e o tanque Classe A.....	48
4.1.4. Temperatura da água na superfície dos tanques.....	54
4.1.5. Estimativa da evaporação.....	62
4.2. Experimento II: Alternativa de captação pluvial.....	63
4.2.1. Avaliação da qualidade da água de chuva captada.....	63
4.2.2. Eficiência de captação.....	68
5. CONCLUSÕES.....	69
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	70

RESUMO

ALTERNATIVAS DE CAPTAÇÃO PLUVIAL E REDUÇÃO NA EVAPORAÇÃO PARA INCREMENTO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Objetivando-se avaliar materiais que possam reduzir a evaporação e aparatos para captação de água de chuva visando aumentar a disponibilidade hídrica de regiões áridas e semiáridas, foram conduzidos dois experimentos: um localizado na Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim/UFRPE, com a utilização de uma estrutura composta por 20 tanques, dispostos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo avaliadas telas com diferentes cores (preta, branca, vermelha, azul e prata), telas com variadas porcentagens de sombreamento (sem cobertura, cobertura com filme plástico e telas de 50, 70 e 80% de sombreamento) e porcentagens de cobertura da superfície da água com garrafas PET (0, 20, 40, 60 e 80%); outro localizado na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura/UFRPE, com a utilização de doze estruturas de captação de água de chuva em um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (0,0; 0,5 e 1,0 m de altura) e quatro repetições, compostas por lona plástica, em que foram analisados parâmetros de qualidade de água (CE, OD, pH, Na, K, SST e Turbidez) e a eficiência de captação. Os resultados obtidos pelo primeiro experimento mostraram que os materiais que mais reduziram a evaporação foram: tela branca com 64,6% de redução, as telas com 70 e 80% de sombreamento com uma média 66% de redução e 80% de cobertura da área superficial dos tanques com garrafas PET, apresentando 78% de redução da evaporação. As estruturas utilizadas pelo segundo experimento não mostraram diferenças significativas quanto à altura de captação para o volume e qualidade da água captada. As estruturas apresentaram uma eficiência média de captação de 83,8%.

Palavras chave: evaporímetros, telas de sombreamento, garrafas PET, água de chuva, eficiência de captação

ABSTRACT

ALTERNATIVE OF THE CAPTURE RAINWATER AND REDUCTION OF THE EVAPORATION OF WATER AVAILABILITY TO INCREASE IN THE SEMIARID PERNAMBUCANO

Aiming to evaluate materials that can reduce evaporation and apparatus for collecting rain water to increase water availability in arid and semiarid regions, two experiments were conducted: one located in the Station of Irrigated Agriculture Ibimirim / UFRPE with the use of a structure consisting of 20 tanks, arranged in a completely randomized design with five treatments and four replications, were evaluated screens with different colors (black, white, red, blue and silver) screens with different percentages of shading (no cover, cover with plastic wrap and screens 50, 70 and 80% shading) and percentage of surface coverage of PET bottles with water (0, 20, 40, 60 and 80%) and another located at the Experimental Station of Irrigated Agriculture Prof. Ronaldo Freire de Moura / UFRPE, using twelve structures to capture rain water in a completely randomized design with three treatments (0.0, 0.5 and 1.0 m high) and four replications, consisting of plastic, which examined water quality parameters (CE, OD, pH, Na, K, SST and Turbidez) and capture efficiency. The results obtained by the first experiment showed that the materials which most reduced evaporation were white screen with 64.6% reduction, the screens 70 and 80% shading with an average reduction of 66% and 80% area coverage surface of the tanks with PET bottles, with a 78% reduction of evaporation. The structures used by the second experiment showed no significant differences in the time of capture for the volume and quality of water abstracted. The structures showed an average efficiency of 83.8% capture.

Keywords: evaporimeters, shading screens, PET bottles, rain water, collection efficiency

1. INTRODUÇÃO

A estimativa precisa da evaporação é fundamental para um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, pois esta é um dos principais componentes do ciclo hidrológico. Portanto, o conhecimento das perdas de água por evaporação de superfícies de água livremente exposta à atmosfera representa uma valiosa contribuição para diferentes campos do conhecimento científico, além de uma grande importância nas aplicações meteorológicas e hidrológicas, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

Em alguns casos, a medida da evaporação é praticamente impossível de ser obtida pelo balanço de água, como é o caso dos corpos de águas naturais, pois não apresenta um controle adequado das entradas e saídas de água do corpo, como aquelas devidas ao deflúvio superficial, ou por alimentação de lagos por corpos de água, ou por infiltração no solo para camadas profundas, que são difíceis de serem medidas.

Portanto, é comum a aplicação do uso de medidas de tanques de evaporação (evaporímetros) ou métodos de aplicações meteorológicos para determinação da evaporação de superfícies de água. A utilização de tanques de pequeno porte em estudos climatológicos e hidrológicos é bem comum, na determinação da evapotranspiração, na demanda hídrica da atmosfera e no manejo da água na agricultura. Existem vários tipos de tanques evaporímetros, porém, o tanque Classe A e o GGI-300 são os mais utilizados para este fim, no Ocidente e no Oriente, respectivamente.

Considerando os diversos tipos de evaporímetros utilizados, vários estudos foram desenvolvidos com a finalidade de se encontrar as relações de evaporação entre eles. Essas relações, logicamente, são específicas para os tipos de tanques e para as condições climáticas de cada região.

Vários métodos de estimativa da evaporação têm sido propostos, com equações originárias de modelos meteorológicos. O método combinado (termo energético e aerodinâmico) proposto por Penman é um dos mais utilizados para estimativa da evaporação potencial em uma superfície de água livremente exposta às condições atmosféricas, sendo este considerado como método de referência em muitos trabalhos.

Considerando que a perda de água por evaporação é elevada a hipótese de que é possível estimar a evaporação de uma superfície de água exposta à atmosfera tanto por uso de evaporímetros, quanto por métodos meteorológicos, fica evidenciada a necessidade de um meio para evitar ou ao menos reduzir a perda de água para a atmosfera, colaborando assim

para uma maior disponibilidade hídrica e conservação dos corpos hídricos em regiões onde a taxa evaporativa é maior do que a sua recarga.

Nesse contexto, diversos trabalhos foram desenvolvidos com a utilização de materiais com o intuito de reduzir a taxa de evaporação em reservatórios de água com superfície exposta a atmosfera. Entre eles, pode ser citados filmes de óleos voláteis, materiais sintéticos flutuantes e corantes para alterar o albedo da água. No entanto, estes materiais não tiveram um desempenho eficiente para o controle da evaporação por não suportarem um longo prazo, ou simplesmente porque eram tecnologicamente e economicamente inviáveis.

No entanto, possíveis soluções mais eficientes que estas supracitadas são: a utilização de filme de polietileno poroso (tela), o qual é conhecido por reduzir substancialmente o impacto da radiação solar e a velocidade do vento incidente sobre uma superfície; materiais flutuantes que sejam economicamente viáveis.

Com o intuito de aumentar a disponibilidade hídrica em regiões áridas e semiáridas, faz-se necessário, além de técnicas que reduzam a evaporação, um método eficiente de captação para uma maior conservação e disponibilidade desse bem, já que nestas regiões sua escassez é devido ao regime das chuvas que tem uma distribuição espacial e temporal irregular.

A captação e o armazenamento de água de chuva como água potável ou para uso na agricultura não é uma idéia nova, mas está sendo largamente ignorada pelos planejadores e a iniciativa privada por não serem considerados tão atraentes como os grandes projetos de abastecimento de água. Mesmo assim a captação de água de chuva, se introduzida em larga escala, pode aumentar o abastecimento a um custo relativamente baixo, e passar para as comunidades a responsabilidade de gerenciamento.

No semiárido brasileiro, existem várias experiências de tecnologias de sucesso de captação e manejo de água de chuva para uso humano, para criação de animais e produção de alimentos, na sua maioria desenvolvida por agricultores familiares, as quais podem ser propagadas e algumas são citadas como, cisterna, cacimba, barragem subterrânea, barreiro, pequeno açude, caldeirão (tanque de pedra), etc. Entretanto, estas formas de captação agregam alguns problemas, principalmente quanto à qualidade da água captada. Isto, devido às estruturas de captação, como telhados, concretos, calçadas ou asfaltos, que em sua maioria agregam contaminantes.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar materiais que possam contribuir para a redução da evaporação de superfícies de água livre em regiões áridas e semiáridas, como também um método de captação de água de chuva.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A Região Semiárida do Brasil

A Região Semiárida do Brasil é caracterizada por apresentar um clima quente e seco com precipitações médias anuais entre 250 e 500 mm e vegetação composta principalmente por arbustos ou por pastagens. A vegetação característica dessa região são as estepes, como as encontradas no Cazaquistão, e a Caatinga, que é encontrada apenas no Nordeste do Brasil (CIRILO, 2008).

Campello Netto (2007) descreve que a Região Nordeste do Brasil está situada entre a posição norte-oriental do país, entre 1° e 18°30' de latitude Sul e 34°30' e 40°20' de longitude Oeste de Greenwich. Com uma área de 1.219.000 km², equivale a aproximadamente um quinto da superfície total do país, abrangendo nove Estados (Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia), com mais de 53 milhões de pessoas, das quais 14,3 milhões estão na zona rural (IBGE, 2010).

Tendo em vista a necessidade de reavaliação dos limites da Região Semiárida do Brasil, trabalho desenvolvido pelo Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2007) acrescentou, aos 1.031 municípios incorporados nos limites até então vigentes, outros 102 novos municípios enquadrados em critérios estabelecidos (precipitação, índice de aridez e risco de secas). Daí, a área classificada oficialmente como Semiárido aumentou de 892.309,4 km² para 969.589,4 km², com uma população de 22 milhões de habitantes e um Índice de Desenvolvimento Humano – IDH de 0,634, considerado abaixo da média pelas Nações Unidas (LEMOS, 2008).

A região Nordeste do Brasil é pobre em volumes de escoamento de água dos rios e esta situação ocorre em razão da variabilidade das precipitações e das características geológicas, onde solos rasos baseados sobre rochas cristalinas são predominantes e possuem baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente. O resultado é a existência de densa rede de rios temporários. Em exceção a essa característica, tem-se o Rio São Francisco que nasce na Serra da Canastra, em Minas Gerais, e só após centenas de quilômetros de percurso entra na região Nordeste (CIRILO, 2008).

Cirilo (2008) relata a existência de outros rios permanentes que são encontrados nos estados do Maranhão, no Piauí e na Bahia, com destaque para o Rio Parnaíba. Os rios de regime temporário são encontrados na porção nordestina que se estende desde o Ceará até a região setentrional da Bahia. Entre esses, destaca-se o Jaguaribe, no Ceará, pela sua extensão

e potencial de aproveitamento: em sua bacia hidrográfica se encontram alguns dos maiores reservatórios do Nordeste, como Castanhão e Orós.

2.2. Açudagem no Brasil

Os barramentos de água surgiram no início da colonização brasileira pelos portugueses e no Nordeste o aparecimento desta técnica esteve intrinsecamente relacionado ao fenômeno das secas (MOLLE, 1994). Andrade (1986) afirma que a colonização do Sertão brasileiro iniciou no século XVII, e que a atividade agrícola e a criação do gado devem ser contemporâneas do desbravamento do interior.

Desde os primeiros tempos da colonização a construção de açude sempre foi um meio pelo qual os sertanejos utilizam para controlar os efeitos da seca (MOLLE, 1994). Convém ressaltar que os açudes eram particulares, existindo para o suprimento d'água, no início da fixação dos proprietários de terra. A intervenção governamental para construção de açudes no Sertão só veio a acontecer no século XVIII quando o governo criou leis de gratificação para o proprietário que construísse seu próprio açude.

Segundo Bezerra (2003), ao longo do século XX inúmeros organismos estatais foram sendo criados para combater a seca. Foram eles: Inspetoria de Obras Contrás as Secas (IOCS) criada em 1909. O IOCS passou a ser chamado Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS), e foram construídas as grandes represas, mas com pequeno potencial de irrigação. Em 1945, o IFOCS passa se chamar Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) devido à seca de 1932 com programa do governo chamado “Solução hídrica”; Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) é criada em 1945, com a função de gerar e distribuir energia para o Norte / Nordeste; Companhia de Desenvolvimento do Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) foi fundada em 1948; Banco do Nordeste Brasileiro (BNB) é criado em 1952, como banco de fomento, e a Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) criada em 1959.

O primeiro Estado pioneiro no Nordeste do Brasil na instalação da política de açudagem segundo Meireles (2007) foi o Ceará. Os reservatórios de fundamental importância sócio-econômica para a região tinham inicialmente como principal função o armazenamento das águas para o consumo humano e animal. Nas últimas décadas, reservatórios de médio e grande porte instalados no Estado do Ceará são utilizados para os mais diferentes objetivos e finalidades, tais como o desenvolvimento da piscicultura, para o aumento da produção de proteína na região e, principalmente, a regularização da vazão de importantes cursos d'água

que possibilitam o desenvolvimento de grandes empreendimentos nos pólos agrícolas distribuídos por todo o Estado (TEIXEIRA, 2004; MELO, 2005).

A acumulação de água em açudes de pequena, média e grande capacidade constitui-se no primeiro passo para diminuir os efeitos das secas, com decorrente fixação do homem a terra, dando melhores condições de vida.

Muitas são as finalidades dos açudes: a) abastecimento público (município e adjacências); b) irrigação de terras de montante e jusante; c) recreação (pesca esportiva, lazer e turismo); d) agricultura de vazante; e) navegação; f) piscicultura; e g) aproveitamento hidroelétrico.

O principal objetivo dos pequenos açudes no Semiárido é o de armazenar água durante os períodos chuvosos para mantê-la disponível durante os severos períodos de seca (SANTOS *et al.*, 2009). De acordo com Albinati (2006), a Região Nordeste dispõe de mais de 70.000 pequenos açudes, com áreas superiores a 1 hectare, espalhados pelos diversos estados, isto sem contar com os grandes açudes públicos, considerados estratégicos pelas Agências de Gestão.

Os micros e pequenos açudes representam, portanto, um potencial significativo de armazenamento de água na bacia hidrográfica. Este armazenamento é distribuído no espaço e as suas águas são utilizadas para o abastecimento humano rural, o abastecimento animal e a pequena irrigação de subsistência. A sua taxa de evaporação, muito elevada, não permite assegurar continuidade nestes usos, já que eles secam muito rapidamente. Algumas abordagens sobre os pequenos açudes ressaltam suas vantagens econômicas, visto que ainda consistem na melhor opção para o abastecimento e para a manutenção da vida rural no clima semiárido do Nordeste Brasileiro (VIANA, 2011).

2.3. Processo de evaporação: importância, definições e fatores determinantes

O processo pelo qual a água líquida de uma superfície evaporante é convertida em vapor é denominado evaporação. As principais fontes de evaporação da água são os lagos, rios, oceanos, solo e a vegetação molhada (FAO, 2006).

A água absorve calor durante a alteração do seu estado físico, armazenando energia solar na molécula de vapor. Devido à energia solar no processo de evaporação, a água evapora, particularmente, durante os períodos mais quentes do dia e nas zonas mais quentes da Terra, principalmente nas regiões áridas e semiáridas. No entanto, a taxa de evaporação depende de diversos fatores que vão além da energia radiante, como é o caso da área da

superfície evaporante, temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e vento (OLIVEIRA, 2009).

Com exceção da Europa e América do Norte, é na agricultura irrigada que se emprega a maior quantidade de água, responsável no mundo por aproximadamente 69% de todo o uso. A utilização para fins domésticos conta com 10% e a indústria consome 21% de toda a água retirada (FAO, 2006).

É importante fazer uma distinção entre a água que é retirada e a água que é realmente utilizada, pois dos 3600 km³ de água retirados anualmente, para uso humano, aproximadamente, metade é perdida através da evaporação e transpiração das plantas. O restante, ao contrário, retorna para os rios ou se infiltra no solo e fica depositada nos aquíferos. Contudo, essa água, é geralmente, de qualidade inferior àquela que foi inicialmente retirada. A irrigação consome bastante, metade ou mais, desta da água que é perdida em forma de evaporação, incorporação nas lavouras e transpiração das plantações (ANA, 2006).

O Brasil possui a maior reserva hidrológica do planeta, com 13,8% da água doce disponível, perfazendo 59,9% dos recursos hídricos da América do Sul, o que se configura como um grande desafio para gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente, porque a concentração de água no país encontra-se fisicamente má distribuída (ANA, 2006).

Observa-se que as áreas com potencial de crescimento agrícola são aquelas com deficiência hídrica elevada, o que implica na construção de corpos artificiais, como represas, açudes e tanques, um aliado indispensável para sustentar projetos de irrigação. Assim, a previsão de perdas de água por evaporação, tanto na época do projeto quanto ao longo do período de operação de um reservatório, representa um fator primordial de economia para o setor.

Dalton publicou em 1802 uma teoria para o desenvolvimento sobre a evaporação. Ele resumiu o consenso de alguns cientistas do século XVIII, explicando que alguns fluidos evaporam mais rapidamente que outros; que a quantidade evaporada é diretamente proporcional à superfície exposta; que o acréscimo de temperatura no líquido é visto como acréscimo da evaporação; a evaporação é maior quando existe grande corrente de ar; e ainda, a evaporação da água é maior quanto menor for a umidade relativa do ar existente previamente na atmosfera (OLIVEIRA, 2009).

Em 1948, Howard Penman, desenvolveu no Reino Unido, uma equação clássica que é considerada padrão nos dias atuais, que descreve a evaporação de uma superfície de água livremente exposta à atmosfera. Para tanto são necessários dados médios diários de temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar, para prever a

evaporação, integrando conjuntamente o efeito energético e aerodinâmico sobre esse fenômeno (PENMAN,1948).

É muito variável o efeito individual de cada fator, complicando o estudo teórico da perda de água de grandes corpos d'água. Muitas vezes desconsidera-se o efeito do armazenamento de calor, para corpos d'água poucos extensos e “rasos” (por exemplo, até 4 m de profundidade). Abdulai *et al.* (1990), indicam a possibilidade de se desprezar o termo de armazenamento. A falta de pureza da água é um fator extremamente variável, embora Sartori (2000) sugira que no caso de salinidade em concentrações até aquela máxima encontrada nos mares, o efeito não é significativo. Entretanto, a presença de impurezas na superfície líquida pode afetar o balanço de energia radiante.

As dificuldades que isso impõe no tratamento teórico da evaporação e o grau de empirismo que acaba sendo utilizado têm levado os autores muitas vezes a usar diretamente coeficientes de ajustes de evaporação de tanques, tomando o de 20 m² como referência, ou a usar diretamente modelos determinísticos, que embora também sejam aproximados, tornam-se ferramentas úteis no estudo da evaporação (BRUTSAERT; YEH, 1970; LEITÃO; OLIVEIRA; LEITÃO, 2007).

2.4. Uso de evaporímetros na determinação da evaporação de superfícies de água livremente exposta à atmosfera

Para a medição direta da evaporação é necessário a utilização de um reservatório, onde se tenha precisão na medida do nível da água. A estimativa da evaporação de lagos e de culturas tem sido muito utilizada através desses reservatórios, devido à facilidade de se medir o nível da água nesses tanques. Admite-se, desse modo, que existe correlação positiva entre a evaporação d'água do tanque e aquela do lago ou da superfície vegetada (VOLPE & OLIVEIRA, 2003).

Instrumentos meteorológicos e os tanques têm produzidos bastante quantidade de dados para determinação da evaporação de lagos (WMO, 1971) e na determinação da evapotranspiração de culturas (DOORENBOS & PRUITT, 1977; ALLEN *et al.*, 2006).

A evaporação de tanques evaporímetros, comparados com a evaporação de lagos tem sido muito realizada em pesquisas na procura da relação entre eles. Esta relação se dá através do uso de um coeficiente de tanque, que é definido como a razão entre a evaporação do lago, ou de um tanque com diâmetro igual ou superior a 3,60 m, e a evaporação do tanque. Esse coeficiente, logicamente, deve ser apropriado para cada tanque e para determinada condição

de clima, uma vez que a capacidade de armazenar energia dos tanques é menor que a dos lagos, assim como a exposição, a dimensão e o material de confecção conferem a cada tanque evaporação diferenciada (VOLPE & OLIVEIRA, 2003).

Podem-se encontrar diversos tipos de tanques de evaporação; alguns instalados à superfície do solo, outros enterrados, variando também em suas dimensões e no material de construção. Os três tipos mais difundidos no mundo são: o Classe A (USWB) com diâmetro de 1,21 m e profundidade de 0,254 m, de paredes expostas e bastante utilizado no Ocidente; o GGI-3000 com área evaporante de 3000 cm² e profundidade entre 0,60 m e 0,68 m, e o tanque de 20 m² de superfície evaporante e profundidade de 2,0 m, ambos com as paredes enterradas, são mais utilizados no leste da Europa (GANGOPADHYAYA *et al.*, 1966). Mas, outros tanques de pequenas dimensões têm sido utilizados, como o enterrado tipo “Colorado” e o tipo Young, ambos com paredes enterradas. Uma alternativa que se usa é colocar uma tela nos evaporímetros, o que modifica suas características, afetando a evaporação (HOUNAM, 1973).

Segundo Villa Nova, Sentelhas e Pereira (2005), a determinação exata da lâmina evaporada é um dos problemas pertinentes na utilização dos tanques, devido à utilização de um parafuso micrométrico associado a um poço tranqüilizador: este sistema de medida tem inconvenientes, tais como a capacidade do observador de utilizar um nônio e também de visualizar com perfeição o ponto de contato do micrômetro com a água. Na prática, na falta destes requisitos pessoais, frequentemente se cometem erros de considerável expressão na leitura dos dados de evaporação de água em evaporímetros empregados em estações agrometeorológicas convencionais (EMC).

Diversos sistemas automáticos de medidas de evaporação de tanques foram desenvolvidos nas últimas décadas para superar tal problema. Sensores automáticos das medidas são usados, como o que emprega um transdutor diferencial variável linear – LVTD, ligado a uma bóia (PHENE & CAMPBELL, 1975), que sofreu adaptações posteriores para aumentar o tempo de operação e a resolução das medidas (BLOEMEN, 1978, HANEREN, 1982). Ambrus *et al.* (1981) desenvolveram um sensor com mecanismo eletro-magnético, que controla a operação de válvulas que repõem a água evaporada. Chow (1994) desenvolveu sistema eletrônico mais complexo, que permitia a medida automática simultânea tanto da evaporação quanto da chuva.

Um novo sistema de medidas diárias foi desenvolvido por Villa Nova, Sentelhas e Pereira (2005), que, acoplado a um tanque Classe A padrão, tem vantagem de não necessitar válvula de bóia para reabastecimento do tanque de evaporação propriamente dito, além do que, sendo o tanque medidor também um pluviômetro, permite a leitura em condições de dias

com chuvas de intensidade da ordem de grandeza da evapotranspiração e a composição de um balanço hídrico simples, sem leituras pluviométricas e com exatidão idênticas a de um evapotranspirômetro de nível de lençol freático constante, ainda muito empregado para avaliação de consumo de água das culturas.

Comparações preliminares feitas por Schwingel *et al.* (2001) no município de Piracicaba, SP, em tanques Classe A, indicaram boa correlação entre as medidas com um sensor automático e as com parafuso micrométrico, percebendo-se uma tendência de pequena superestimativa por parte do primeiro. Entretanto, o número de dias de medidas perdidos por problemas no mecanismo automático foi maior do que com o uso de medidas de observação com o parafuso micrométrico e o desempenho do medidor automático do tipo utilizado necessita cuidados frequentes para que as medidas sejam confiáveis.

2.5. Estimativa da evaporação de superfície de água livremente exposta à atmosfera por métodos meteorológicos

Dados de evaporímetros são bastante empíricos na determinação da evaporação de superfícies de água livremente exposta à atmosfera, com variação espacial e temporal dos coeficientes de ajuste, sendo mais aplicáveis a corpos d'água pequenos ou médios, do que para corpos grandes e para valores que não os diários.

Uma opção é a estimativa por modelos baseados em balanço de energia, balanço de água, aerodinâmicos e combinados (BURMAN & POCHOP, 1994; PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Os métodos baseados somente em balanço de água têm problemas metodológicos, de modo que os mais utilizados são baseados em balanço de energia, os aerodinâmicos e os combinados, existindo uma série de métodos desses tipos que empregam variáveis meteorológicas, muitos deles derivados de um método ou de uma equação que servem de raiz a eles, como acontece com as equações de Dalton e de Penman.

Um aspecto importante a ser considerado é que nesses métodos usam-se dados meteorológicos-climatológicos observados em ambientes terrestres ou no próprio ambiente do corpo de água. Morton (1983) relata que em dados observados em ambientes terrestres para estimativa da evaporação de lagos se encontram vários problemas operacionais. O primeiro é que nas mudanças sazonais o calor armazenado na subsuperfície não é refletido diretamente em tanques de evaporação ou em dados climatológicos, e que tais mudanças são significativas na determinação de variações sazonais da evaporação de lagos profundos. No entanto, o mesmo autor relata que este problema não é tão importante, porque estimativas anuais são

adequadas para o planejamento e gerenciamento da água ou estudos de impactos ambientais. Alerta, também, que o mais sério problema é que tanques e dados climatológicos são influenciados significativamente por mudanças na disponibilidade de água para evaporação da superfície de solo adjacente e não são representativos de ambiente sobre lagos.

A estimativa da evaporação é importante no manejo dos recursos hídricos, mas o desenvolvimento de métodos confiáveis para estimativa da evaporação em lagos, baseados em informações climatológicas de fácil obtenção, ainda é um desafio. A maioria dos métodos atualmente disponíveis estima a evaporação a partir de observações de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar (ROQUE & SANSIGOLO, 2001).

Em 1802, foi proposta por Dalton a primeira equação para estimativa da evaporação de água de uma superfície líquida (GANGOPADHYAYA *et al.*, 1966), que é em função da diferença de pressão parcial de vapor na temperatura da superfície líquida (e_o) e a medida no ar (e_a) e de um coeficiente de ajuste K , que é também função da velocidade do vento, ou seja:

$$E = K(e_o - e_a) \quad (\text{Eq. 1})$$

Várias outras equações baseadas na equação de Dalton, com ajuste do coeficiente K , foram propostas. Gangopadhyaya *et al.* (1966) e Hounam (1973) apresentam modelos de transferência de massa com base na equação de Dalton, no qual os elementos climáticos, inclusive a velocidade do vento, são obtidos a 2 m da superfície da água do reservatório.

Na determinação dos diferentes coeficientes para os modelos teóricos e para obtenção indireta de determinados termos (parametrização) dos modelos evaporimétricos para lagos são comuns a utilização de formulações empíricas ou semi-empíricas (OLIVEIRA, 2003).

Um modelo que considera a combinação da evaporação da água livre devido à radiação solar como fonte de energia e de um componente aerodinâmico foi apresentado por Penman (1948). Para se utilizar a equação de Penman, é necessário dados de temperatura, radiação, umidade e vento, que não raro, não estão disponíveis (BURMAN & POCHOP, 1994).

O modelo de estimativa da evaporação pelo método de Penman está apresentado pela equação 2.

$$E_L = \frac{0,408 \left(\frac{S}{\gamma} \right) R_n + E_a}{\left(\frac{S}{\gamma} \right) + 1} \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

E_L – evaporação da superfície de água livremente exposta à atmosfera (mm dia⁻¹);

R_n – saldo diário de radiação medido sobre a superfície da água livre (MJ m⁻² dia⁻¹);

S – coeficiente angular da curva de saturação de vapor (kPa °C⁻¹);

γ – coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

E_a – poder evaporante da superfície (mm dia⁻¹).

O valor de S é calculado pela equação 4.

$$S = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{ar} + 237,3)^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

e_s – pressão saturante de vapor na temperatura média do bulbo úmido e do bulbo seco (kPa);

T_{ar} – temperatura média do ar (°C).

O termo aerodinâmico (E_a) é calculado pela equação 5.

$$E_a = f(U) \cdot (e_s - e_a) \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

U – velocidade do vento à 2,0 m de altura (km dia⁻¹);

e_s – pressão de saturação do ar (mm Hg);

e_a – pressão atual de vapor do ar (mm Hg);

$f(U)$ – função do vento, dada por (DOORENBOS & PRUITT, 1977).

$$f(U) = 0,35 \cdot \left(0,5 + \frac{U}{160} \right) \quad (\text{Eq. 5})$$

Normalmente, a dificuldade de informações climáticas para o modelo de Penman tem se constituído em limitação à sua utilização. Daí, a motivação de muitos autores para estudarem a simplificação do modelo ou para introduzirem correções nas aproximações.

São exemplos de equações simplificadas: Kohler, Nordenson e Fox (1955), Kohler e Parmele (1967), Linacre (1967, 1993), Priestley e Taylor (1972), Stewart e Rouse (1976) e Bruin (1978).

2.6. Mecanismos utilizados para reduzir a evaporação

Esforços orientados para evitar a evaporação dos reservatórios de água não são novas, já que provavelmente começaram na década de 1960 com óleos voláteis e filmes de baixa camada molecular (FRENKIEL, 1965).

Desde então, os recursos contra a evaporação da água tem promovido o uso de técnicas que permitam um melhor controle das perdas por evaporação (CONDIE & WEBSTER, 1997; HIPSEY & SIVAPALAN, 2003; MONTASERI & ADELOYE, 2004).

Segundo Brown (1988), os métodos químicos que utilizam materiais sintéticos flutuantes na superfície da água têm provado sua principal limitação devido à sua baixa eficiência. Outros métodos como sistemas de mistura reduzindo a estratificação térmica da água (KOBBERG & FORD, 1965), corpos flutuantes diminuindo a massa e trocas de energia na fase entre água-atmosfera (COOLEY, 1983; LAING, 1991; DAIGO & PHAOVATTANA, 1999), aplicação de corantes que alteram o albedo da água (COOLEY, 1983) e com amparo do vento (HIPSEY *et al.*, 2004) não foram eficientes em uma escala a longo prazo, ou simplesmente eram tecnologicamente ou economicamente inviáveis.

Entre as soluções mais eficientes, estão a utilização de filmes plásticos não porosos apoiados sobre estruturas metálicas, que são conhecidos substancialmente por reduzir o impacto da radiação solar e a velocidade do vento sobre a taxa de evaporação (CLUFF, 1975). No entanto, estes materiais possuem altos custos de investimentos e são sensíveis ao vento.

Sabe-se que estas desvantagens podem ser superadas cobrindo a superfície da água com malhas porosas de sombreamento (FINN & BARNES, 2002; DNRM, 2003), mas poucos estudos têm sido dedicados a determinar a eficiência da viabilidade destes materiais para aplicação em superfície de água livremente exposta à atmosfera. As características do material de sombreamento (propriedade ópticas, porosidade e rugosidade) afetam os processos de transferência de energia e massa na superfície da água em um nível bastante complexo. Intercâmbios radiativos e aerodinâmicos da superfície da água para o ar exterior são

substancialmente modificados pela presença das telas de sombreamento, como eles induzem um microclima específico dentro do volume de ar fechado entre a água e a superfície da tela.

Estudos realizados na Espanha por Alvarez *et al.* (2006) avaliaram diferentes materiais porosos de sombreamento sobre a taxa de evaporação a partir de um tanque Classe A. Verificou-se que de um ponto de vista prático, a cor dos materiais testadas apresentaram relativamente alto fator de redução. Os tipos de telas nas cores preta, verde e azul apresentaram desempenhos muito semelhantes, com porcentagem média de redução para estas telas de 76% que pode ser atribuído a uma significativa redução do efeito aerodinâmico e do sombreamento. Por outro lado, a tela branca e prata tiveram menor desempenho, com uma média 53% de redução devida sua maior porosidade.

2.7. Captação da água de chuva

O maior problema de abastecimento de água do nordeste não se deve somente a falta de água, mas, sim ao quadro de pobreza endêmica que atinge a maior parte da sua população, a qual não pode se quer custear a construção de um reservatório para captar a água da chuva (REBOUÇAS, 2004).

Sistemas de captação de água de chuva que escorre dos telhados e que são armazenadas em cisternas são sistemas adotados há mais de 20 anos por milhares de famílias de agricultores, apoiadas por organizações da sociedade civil e setores governamentais, especialmente ligados à pesquisa, como solução à demanda de água para o consumo humano por ser de baixo custo, de grande eficácia e generalizável a todo o semiárido brasileiro (JALFIM, 2005).

Em decorrência deste fato a Articulação do Semi-Árido Brasileiro (ASA), em uma ampla mobilização social, lutou pela elaboração de um programa de implantação de um milhão de cisternas para famílias do Semiárido brasileiro (ASA, 2001).

No entanto, Jalfim (2005) afirma que apesar dos benefícios visíveis e concretos na qualidade de vida das famílias que vêm adotando essa tecnologia, a verdade é que o papel e a importância da captação de água de chuva em cisterna para abastecimento humano ainda são pouco compreendidos pela maioria de nossos técnicos, governantes, nos seus diferentes níveis (federal, estadual e municipal) e, também, por boa parte das famílias do meio rural do Semiárido.

Parte da descrença nessa tecnologia se origina na própria formação de seus conhecimentos sobre o Semiárido, a qual se deu no bojo da política do “combate à seca”,

baseada na centralização dos recursos hídricos, principalmente através da construção de grandes obras hídricas e um leque clássico reduzido de obras de médio porte disseminadas como as únicas formas viáveis para o abastecimento de água (JALFIM, 2005).

As propostas alternativas à solução da escassez de água foram dificultadas pela influência externa negativa que impediu a disseminação e credibilidade dessa técnica. Segundo Bernat *et al.* (1993), a cisterna foi ainda mais prejudicada pelo fato de que alguns tipos difundidos por projetos governamentais, como aqueles feitos de lona plástica e de alvenaria com um refinamento técnico inacessível aos pedreiros rurais, falharam com o passar do tempo, devido a diversos fatores, e provocaram uma dupla frustração nas famílias: a perda da água e dos investimentos na construção da obra.

Demonstrar a viabilidade da captação de água de chuva e o armazenamento em cisternas somente com efeito visual e dos relatos de experiências bem-sucedidas vivenciadas por famílias residentes em comunidades rurais do Semiárido não bastam para mudar o contexto e dar a visibilidade que essa técnica merece (GOULD & NIESSEN, 1999).

Um grande esforço no campo da formação e informação se faz necessário, afim de propiciar um entendimento sobre o potencial e o papel da cisterna na solução do abastecimento de água para o consumo humano no meio rural do Semiárido (PACEY & CULLIS, 1999).

É importante saber que na Região Semiárida a variável chuva não é tão desfavorável quanto se propaga. Apenas uma pequena parcela da região tem uma média pluviométrica anual inferior a 400 mm. Estudos revelam que no Semiárido como um todo, essa média sobe para 750 mm por ano. O problema está na má distribuição temporal e espacial dessa chuva. Mas, segundo Jalfim (2005), não existe ano sem chuva. Somente em algumas localidades isoladas que em anos mais secos dificilmente as chuvas são inferiores a 200 mm. O déficit hídrico está além de ser o pior fenômeno natural. Elevado potencial de perda de água por evapotranspiração que chega a 2.500 mm por ano é que ocasiona tanto problema nessa região.

Ainda segundo Jalfim (2005), o tamanho e a qualidade dos telhados das casas do meio rural no Semiárido são apropriados para a captação de água de chuva. Um estudo sobre a área dos telhados das casas, realizado pela Diaconia em 22 comunidades rurais dos sertões do Pajeú-PE e Médio Oeste do Rio Grande do Norte, revela dados que podem ser considerados representativos para essa questão no Semiárido. Nesse estudo, nota-se que a área média dos telhados é de 84 m² e que mais da metade das residências têm 75 m² de telhado. No outro extremo, um número reduzido de residências (4%) tem telhados muito pequenos, abaixo de 40 m².

Outro estudo de campo da Diaconia revelou que no meio rural do semiárido o consumo humano de água é de 6 litros per capita/dia (média de 3,5 litros per capita para beber e 2,5 litros para cozinhar) (ASA, 2001).

Por meio dessas informações básicas, Jalfim (2005) demonstrou em números o potencial para captar e armazenar a água da chuva em cisterna que se tem no Semiárido. Como exemplo de cálculo, ele tomou como referência um ano com uma precipitação pluvial de 200 mm, o qual é considerado como extremamente crítico para as condições comuns de precipitação num ano de seca. Em relação à área de telhado para captação foi tomado como base 70 m², área de telhado de grande parte das residências no Semiárido.

Deste modo, ao se multiplicar a precipitação pluvial (200 mm) pela área do telhado (70 m²) e subtrair as perdas normais da captação que são em torno de 25%, devido à evaporação, absorção da água pela telha, vento, etc., observa-se que um sistema comum numa situação crítica de seca pode captar 10.500 litros de água de chuva (JALFIM, 2005).

A demanda de água para o consumo mínimo de uma residência que é beber e cozinhar de uma família de tamanho médio de 5 pessoas, é calculada multiplicando o consumo per capita por dia (6 L) pelo número de pessoas da família (5) e pelo número de dias do ano, onde se encontrará o resultado de 10.950 litros. Representando assim o consumo médio anual de água para essa família (JALFIM, 2005). Esse resultado por si só demonstra o potencial hídrico que é desperdiçado.

Apesar das informações animadoras, a cisterna não deve ser propagada como a redentora do Sertão, afirma Jalfim (2005). Como foi visto, ela cumpre um papel estratégico na segurança de água para o consumo humano. Seu sucesso não depende somente de sua eficiência como estrutura hídrica, pois está fortemente relacionada a uma estrutura mínima para atender as outras demandas de água, especialmente a doméstica e dos rebanhos.

2.8. Qualidade da água de chuva

De acordo com Sperling (1996), os graus de poluição e de contaminação da água podem ser medidos por intermédio das características físicas, químicas e biológicas, sendo possível identificá-las por parâmetros de qualidade das águas.

As características físicas são avaliadas por meios da presença de sólidos (suspensos, coloidais e dissolvidos na água); as químicas, por meio de aspectos (orgânicos e inorgânicos) e as biológicas, mediante análise bacteriológica. Vieira *et al.* (2004) diz que os principais parâmetros que revelam o grau de poluição das águas quando associados às atividades

antrópicas são a temperatura, o potencial hidrogeniônico (pH), o oxigênio dissolvido (OD), o nitrogênio, os sólidos totais dissolvidos (STD), a condutividade elétrica (CE), coliformes fecais (CF) e totais (CT).

A água da chuva é naturalmente ácida segundo Figueiredo (2011), devido ao gás carbônico, presente na atmosfera, que se solubiliza nas nuvens e na chuva, produzindo o ácido carbônico. O H_2CO_3 , ácido fraco confere à chuva um pH de 5,60, indicando que a chuva já é levemente ácida. Fato este encontrado por Milano *et al.* (1989), que observaram valores de pH inferiores a 4 para água de chuva da cidade de Porto Alegre; Lisboa *et al.* (1992) em Florianópolis, encontraram valores de pH menores que 5,6, classificando as chuvas como ácidas e inclusive pH menores que 5,0 classificadas como muito ácidas.

Jaques (2005) relata em sua pesquisa que as águas das chuvas são encaradas pela legislação brasileira hoje como esgoto, pois ela usualmente vai dos telhados, e dos pisos, carreando todo tipo de impurezas, dissolvidas, suspensas, ou simplesmente arrastadas mecanicamente, para um córrego que vai acabar num rio que por sua vez vai acabar suprimindo uma captação para tratamento de água potável. Claro que essa água sofreu um processo natural de diluição e autodepuração, ao longo de seu percurso hídrico, nem sempre suficiente para realmente depurá-la.

Uma pesquisa da Universidade da Malásia deixou claro que após o início da chuva, somente as primeiras águas carregam ácidos, microorganismos, e outros poluentes atmosféricos, sendo que, normalmente, pouco tempo após já adquire características de água destilada, que pode ser coletada em reservatórios fechados (IWANAMI, 1985).

Para utilização da água de chuva como potável a mesma deve passar pelos processos de filtração e cloração, que segundo Perdomo & Fiqueredo (2003), pode ser feito com um equipamento de baixo custo e simples, tipo clorador EMBRAPA ou do tipo Venturi. A utilização é especialmente indicada para o ambiente rural, chácaras, condomínios e indústrias.

O baixo custo da água nas cidades, pelo menos para residências, desestimula qualquer aproveitamento econômico da água de chuva para uso potável. Já para indústrias, onde se utiliza grande volume de água, a água de chuva torna-se viável (JAQUES, 2005).

A importância de fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva para verificar a quantidade da água que poderá ser coletada e armazenada e para verificar a necessidade de seu tratamento para que esta seja devidamente armazenada, filtrada, tratada e que garanta uma qualidade compatível com os usos previstos é destacada por Iwanami (1985).

Segundo Mello & Motta (1987), de modo geral, as principais espécies químicas encontradas na chuva, em suas formas iônicas, são: sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), sendo que os seis primeiros têm como principal origem a água do mar. O CO_2 (dióxido de carbono), SO_2 (dióxido de enxofre – fonte original do ácido sulfúrico), HNO_3 (ácido nítrico) e NH_3 (amônia) estão presentes na atmosfera sob a forma de gás, são os principais controladores do pH da chuva. Se os ácidos nítrico e sulfúrico acarretam o aumento da acidez na chuva ao liberarem íons hidrogênio, a amônia contribui de forma contrária. Isto porque, para cada molécula de amônia que se hidrolisa na formação dos íons amônio (NH_4) um íon hidrogênio é consumido (MELLO & MOTTA, 1987).

Segundo o químico e climatologista inglês Robert Angus Smith (HAAG, 1985), a química da precipitação pluvial sofre influência da: distância ao oceano; velocidade e direção dos ventos; quantidade e frequência de chuva e neve; combustão e emissão de origem industrial e decomposição da matéria orgânica. Contudo, valores de pH inferiores a 5,60 indicam, frequentemente, que a chuva encontra-se poluída com ácidos fortes, como o gás sulfídrico (H_2SO_4) e o ácido nítrico (HNO_3) e eventualmente com outros tipos de ácidos como o (HCl) e os ácidos orgânicos.

A precipitação remove gases e partículas da atmosfera, através de dois processos (HAAG, 1985): Rainout – incorporação de material em gotas de nuvem que suficientemente de tamanho para se precipitar e alcançar o solo; Washout – acontece quando o material debaixo da nuvem é levado ao solo ou fontes fluviais através da chuva ou neve. Juntos esses dois processos são os mais importantes meios de precipitação de material ácido na superfície da Terra.

Os requisitos de qualidade, bem como a segurança sanitária, estão diretamente relacionados com o uso que será dado à água. A água das chuvas é geralmente excelente para vários usos, inclusive para beber, exceto em locais com forte poluição atmosférica, adensamento populacional ou industrializado (JAQUES, 2005).

Andrade Neto (2004) alerta que os metais pesados, especialmente chumbo, são potencialmente perigosos em áreas de densidade de tráfego alta ou nas redondezas de indústrias. Substâncias químicas orgânicas, como organoclorados e organofosfatados, usadas em venenos, praguicidas e herbicidas, quando em altas concentrações na atmosfera, também podem contaminar a água da chuva. Contudo, a contaminação atmosférica da água das chuvas normalmente é limitada a zonas urbanas e industriais fortemente poluídas e, mesmo nestes

locais, a água de chuva quase sempre tem uma boa qualidade química (dureza, salinidade, alcalinidade, etc.) para vários usos, inclusive para diluir águas duras ou salobras.

Para avaliação da qualidade da água os valores de referência indicam a concentração máxima desejável de um componente de forma que não ocasione risco à saúde do consumidor. Segundo Brito *et al.* (2007), esses valores são regidos no Brasil pela Portaria N°. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). Os padrões de qualidade foram definidos para água de consumo humano, quer seja distribuída por sistemas convencionais, como no meio urbano, quer seja por soluções alternativas, como, por exemplo, as cisternas. No entanto, a portaria diferencia as tolerâncias quanto ao monitoramento espacial.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Avaliação de redução da evaporação

3.1.1 Localização

A pesquisa foi desenvolvida na Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAI – Ibimirim) da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, localizada no município de Ibimirim/PE, região do vale do Rio Moxotó, à 8° 50' de latitude sul, 37° 71' de longitude oeste e altitude de 448 m. A região é tipicamente semiárida com clima BSWH, segundo a classificação de Köppen.

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a região apresentou no ano de 2011, temperatura média de 24,7 °C; pluviosidade média de 551 mm; umidade relativa do ar média de 61,1%; temperatura média do ponto de orvalho de 14,6 °C; pressão atmosférica média de 964 hPa; velocidade média do vento de 2,8 m s⁻¹; direção média do vento de 152° e radiação média de 944 kJ m⁻². Segundo Possas (2011), a região apresenta evapotranspiração potencial média de 1324,8 mm ano⁻¹ e evapotranspiração real média de 581,0 mm ano⁻¹.

3.1.2 Estruturas utilizadas

Foram utilizadas 20 parcelas em delineamento inteiramente casualizado, perfazendo cinco tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi representada por um tanque circular em polietileno com diâmetro de 2,50 m, área superficial de 4,91 m², altura de 0,49 m e volume de 2 m³. As parcelas foram espaçadas entre si por 2 m (Figura 1) e alocadas em terreno plano e limpo.

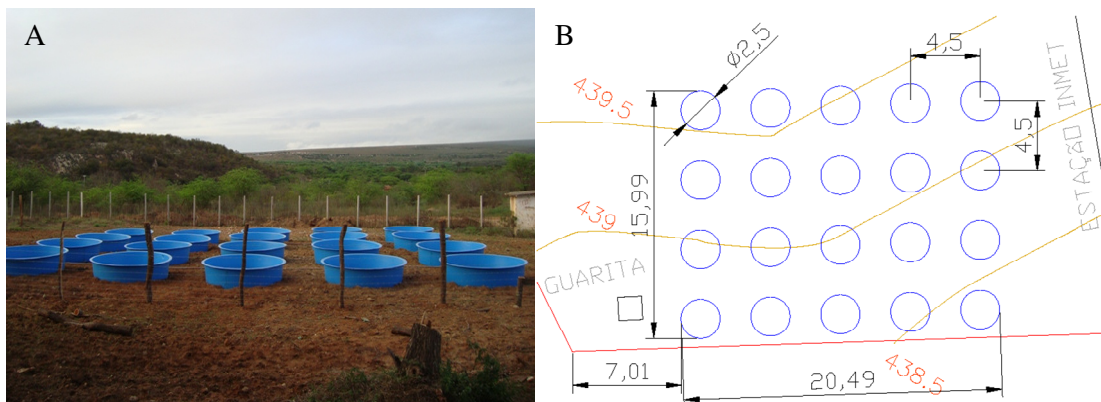


Figura 1. Vista geral da área experimental (A) e croqui da área experimental (B)

A Figura 2 apresenta os termopares (tipo T) utilizados para aferição da temperatura da água à 2,0 cm de profundidade, com o objetivo de monitorar a variação da temperatura da água e o seu efeito na evaporação, bem como a utilização de um psicrômetro para monitoramento da umidade relativa do ar ao nível do espelho d'água.



Figura 2. Termopar (A), posicionamento do termopar nos tanques (B), psicrômetro (C) e termopar abaixo da tela (D)

3.1.3 Material avaliado

Para redução da evaporação foram utilizadas: telas de sombreamento com diferentes cores e diferentes percentagens de sombreamento; e garrafas PET (politereftalato de etileno). As telas foram acondicionadas sobre os tanques de evaporação a uma altura de 0,15 m do nível do espelho d'água, esticadas e fixadas nos reservatórios. As garrafas PET ficaram sobrenadando nos reservatórios.

3.1.4 Ensaio I: Telas coloridas

No período de 03 de julho a 02 de agosto de 2011 foram avaliados os seguintes tratamentos com telas de polietileno de 50% de sombreamento, com cores vermelha, azul, branca, preta e prata, conforme a Figura 3.

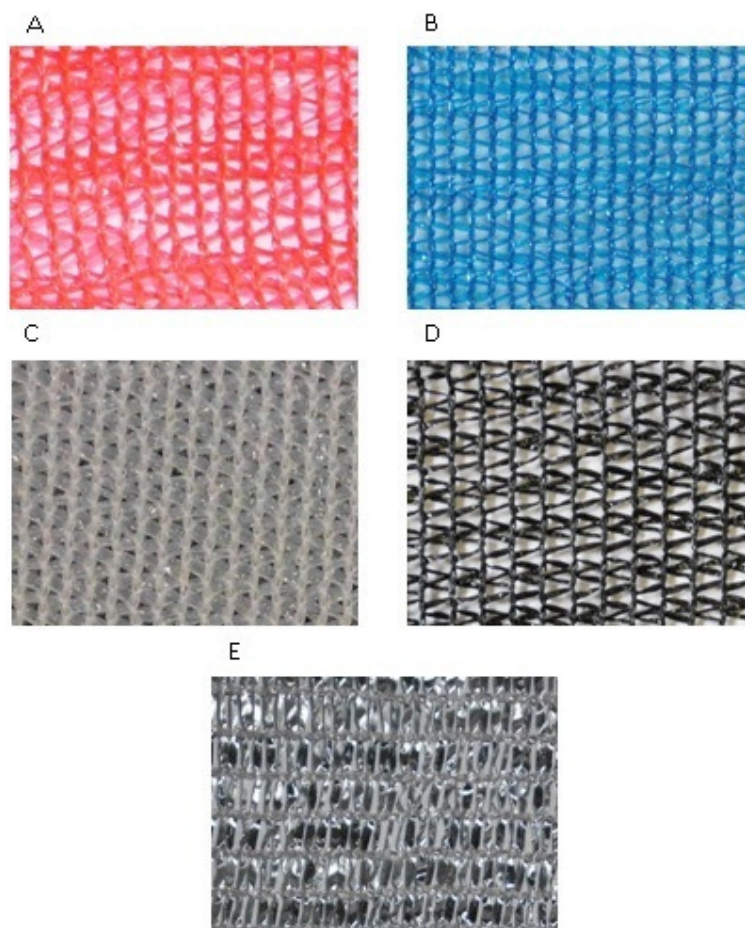


Figura 3. Aspecto visual das telas coloridas Vermelha (A), Azul (B), Branca (C), Preta (D) e Prata (E)

3.1.5 Ensaio II: Telas pretas

No período de 04 de agosto a 02 de setembro de 2011 foram avaliadas telas na cor preta com as seguintes porcentagens comerciais de sombreamento 50, 70 e 80% (Figura 4). Foi utilizado também filme plástico transparente impermeável (FP) e uma parcela sem cobertura (SC).

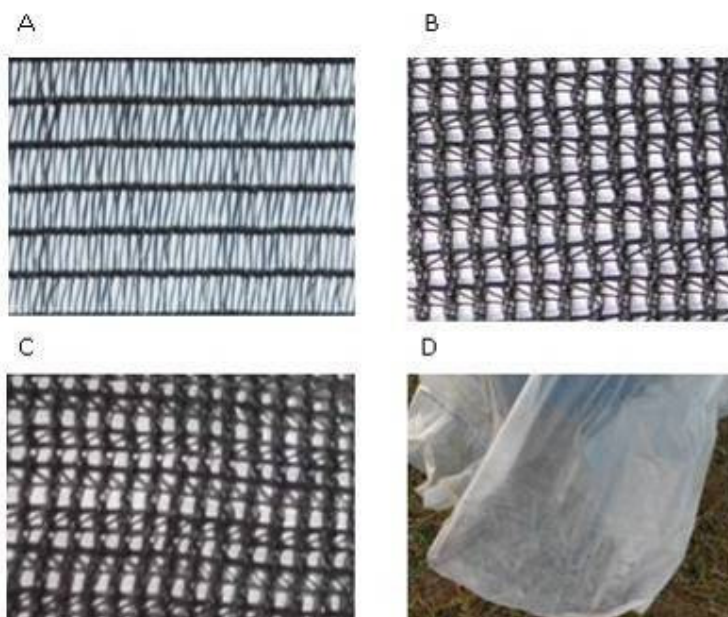


Figura 4. Aspectos da porosidade das telas de 50% (A), 70% (B), 80% (C) de sombreamento e filme plástico (D)

3.1.6 Caracterização das telas

Para caracterizar as telas, foram realizados ensaios de transmissividade (T) em relação à radiação solar global, no Departamento de Tecnologia Rural – UFRPE, utilizando dois piranômetros modelo CS 300. Na execução dos ensaios, a radiação solar global foi monitorada a céu aberto à 2 m de altura e sob as telas utilizadas à 0,15 m abaixo das telas dentro de um tanque com características semelhantes aqueles que foram utilizados como tanques de evaporação (Figura 5).

A transmissividade (T) do polietileno à radiação solar global foi determinada utilizando a equação 6.

$$T = \frac{K_i}{K_0} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

K_i e K_0 é a densidade do fluxo da radiação solar global incidente sob a tela de polietileno e a céu aberto respectivamente (BURIOL *et al.*, 1995). A porcentagem de sombreamento (S) foi calculada a partir da equação 7.

$$S = 100 - T \quad \text{Eq. 7}$$

Os dados foram coletados por meio de sistema automático de aquisição de dados, programado para leitura a cada dois minuto. A análise da transmissividade da radiação solar foi feita com base nos dados registrados entre 9 e 17h, horário de intensa radiação solar.



Figura 5. Realização do teste de determinação da porcentagem de sombreamento real das telas

Antes dos ensaios de transmissividade, foi realizada uma comparação dos piranômetros expondo ambos a céu aberto durante 8h de radiação solar com duas repetições. O resultado da comparação dos sensores encontra-se na Figura 6. Com excelente linearidade entre a radiação global medida em ambos os sensores e elevado coeficiente de determinação (R^2) de 0,9998.

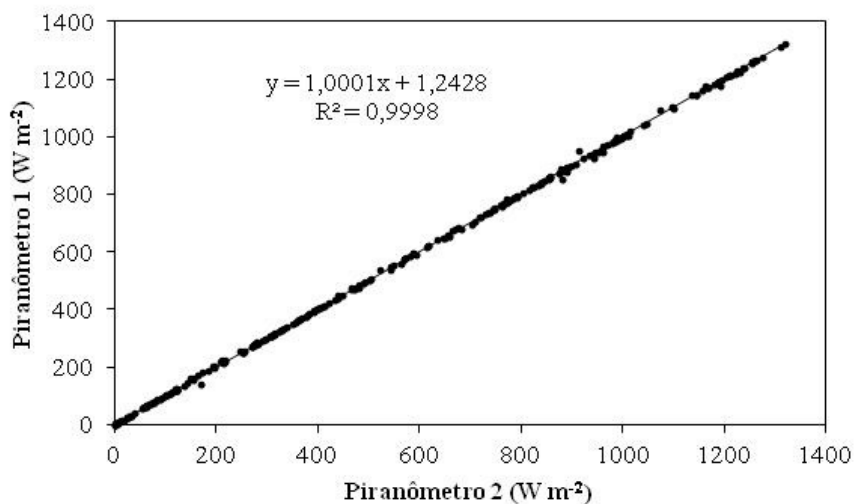


Figura 6. Comparação dos valores de radiação global ($W m^{-2}$) obtidos pelos piranômetros 1 e 2 das 9 às 17h do dia 16/12/11

O resultado da transmissividade das telas utilizadas está apresentado na Figura 7, onde se observa que as telas utilizadas reduziram a transmissividade da radiação solar global, que é menor nas primeiras e últimas horas do dia. A causa da diminuição da transmissividade no primeiro e último período do dia se deve à maior inclinação dos raios solares incidentes (BURIOL *et al.*, 1995) sobre as telas utilizadas.

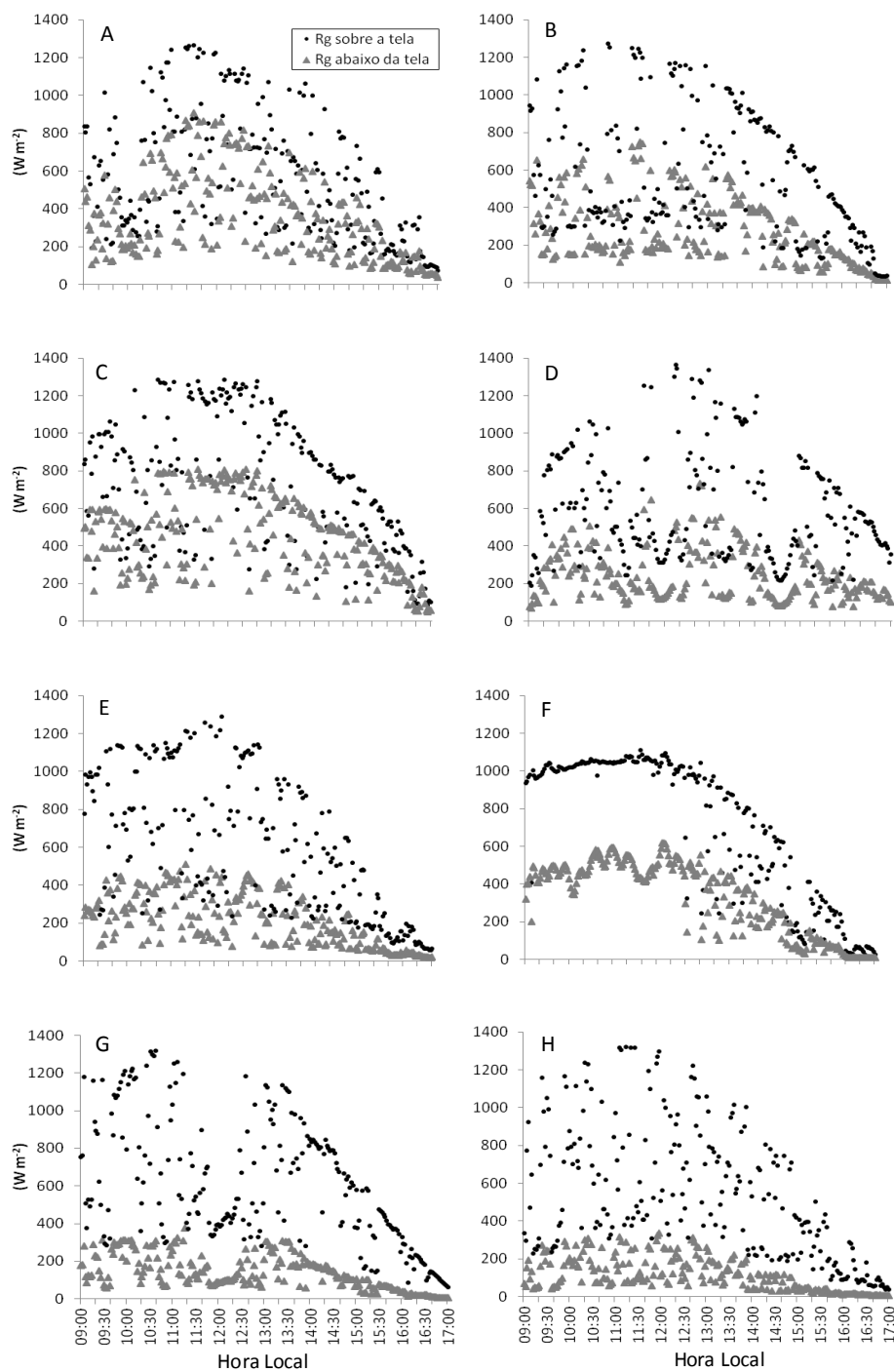


Figura 7. Gráficos de radiação solar global sobre e abaixo das telas vermelha (A), azul (B), branca (C), preta (D), prata (E), 50% (F), 70% (G) e 80% (H) de tela preta

Na Tabela 1 são apresentados os valores de sombreamento médio obtido pelo teste com os piranômetros. Verifica-se que na maioria dos materiais avaliados os valores da porcentagem de sombreamento foram superestimados em relação a sua porcentagem de

comercialização, com exceção das telas Branca e Vermelha, apresentando 40,5% e 40,8% de sombreamento, respectivamente.

Tabela 1. Percentagens de sombreamento comercial e sombreamento médio real nos diferentes materiais utilizados

Materiais	Sombreamento		S
	Comercial (%)	Médio Real (%)	
Preta	50	63,5	±8,1
Branca	50	40,5	±3,3
Vermelha	50	40,8	±5,5
Azul	50	53,7	±7,1
Prata	50	66,4	±3,9
Preta 50%	50	57,1	±8,4
Preta 70%	70	79,2	±5,2
Preta 80%	80	81,8	±4,9

S – Desvio padrão

3.1.7 Ensaio III: Garrafas PET

No período de 05 de setembro a 06 de outubro de 2011, avaliou-se a redução da evaporação em função da porcentagem de área coberta do espelho d'água utilizando garrafas PET, nas porcentagens de 0; 20; 40; 60 e 80% de cobertura (Figura 8). Foram utilizadas garrafas PET transparentes de um mesmo modelo com capacidade para 2 litros, as quais foram pintadas por fora na cor branca para inibir a transmissividade dos raios solares, e seu volume médio preenchido com água para não ocorrer carreamento pelo vento para fora dos tanques, como também para mantê-las flutuando exposta com sua maior área superficial.



Figura 8. Coberturas de 0% (A), 20% (B), 40% (C), 60% (D) e 80% (E) da área superficial do espelho d'água coberta com garrafas PET

A determinação da área específica da secção meridiana da garrafa PET se procedeu com o auxílio de um planímetro, modelo Digiplan (Figura 9B). Foi feito um corte longitudinal na garrafa e seu contorno projetado em um papel milimetrado (Figura 9A), medindo uma área específica de $0,0283 \text{ m}^2$. Conseguiu-se assim, determinar a quantidade de garrafas utilizadas para a obtenção das áreas cobertas.

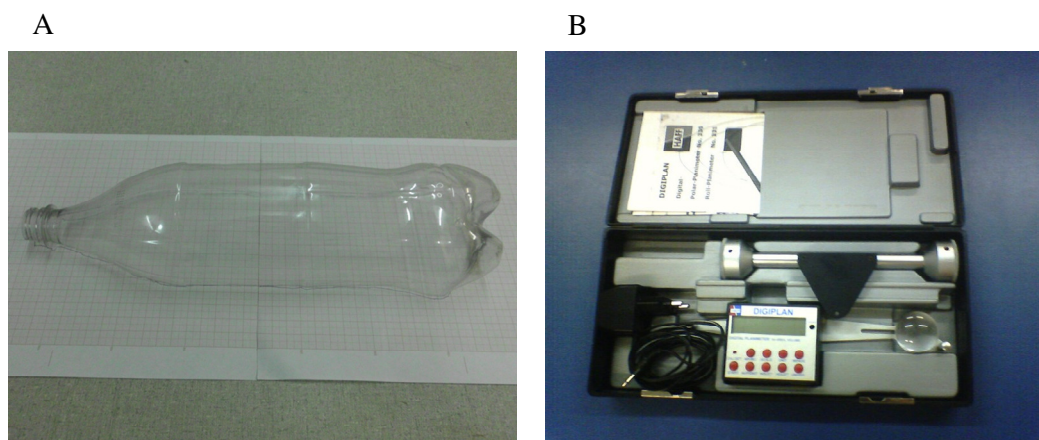


Figura 9. Corte longitudinal da garrafa (A) e Planímetro (B)

3.1.8 Determinação da evaporação

Foram realizadas diariamente leituras manuais em todas as repetições dos tratamentos mediante régua com precisão de 1 mm, instalada junto a um microtubo transparente que registrava o nível dos tanques, na parede externa de cada reservatório, utilizando-se o princípio dos vasos comunicantes (Figura 9A). O cálculo da lâmina evaporada ocorreu conforme a equação 8.

$$LE = (L_{an} - L_{at}) + P \quad (\text{Eq. 8})$$

em que:

LE – Lâmina Evaporada (mm);

L_{an} – Leitura Anterior (mm);

L_{at} – Leitura Atual (mm);

P – Precipitação (mm).

Antes das medições, os reservatórios foram testados para detecção e correção de eventuais vazamentos. Para preservação dos tratamentos, a área experimental foi aplainada e protegida por cerca. Em seu entorno, foi feita a sistematização e limpeza do terreno, visando contribuir para homogeneidade dos elementos de evaporação sobre todas as parcelas.

Foram utilizados dados agrometeorológico ao longo de todo o tempo do experimento da Estação Climatológica Automática (com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar, chuva e radiação líquida) localizada na área de

pesquisa e da Estação Meteorológica Automática do INMET, (Figura 10B), assim como leituras de evaporação do tanque Classe A (ECA) para comparação com os dados obtidos pelos tratamentos.

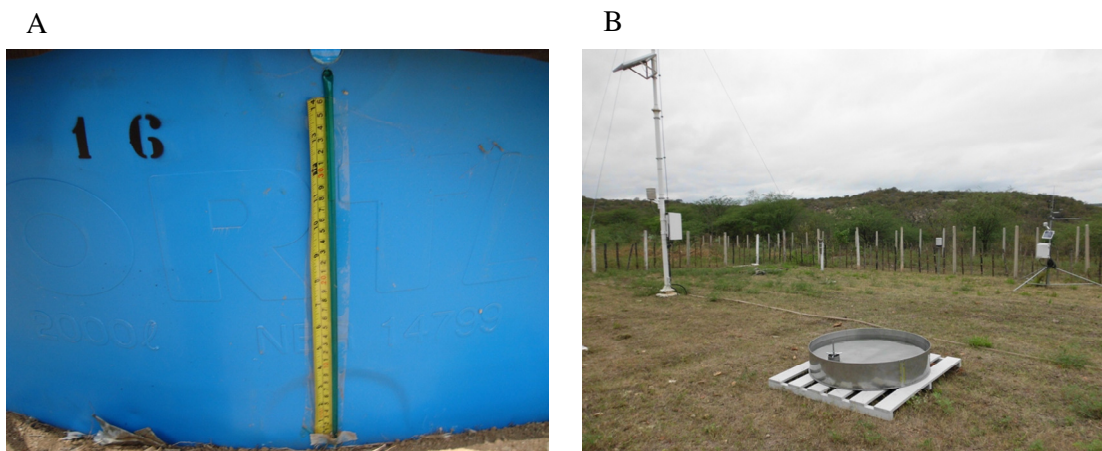


Figura 10. Sistema de leitura manual do reservatório (A) e estações climatológicas (B)

3.1.9 Estimativa da evaporação

Foi realizada estimativa da evaporação diária pelo método de Penman (1948), para comparação com os dados obtidos com as telas utilizadas para reduzir a evaporação, através da equação 2.

3.1.10 Análise estatística

Foi analisada a significância dos dados obtidos pelos tratamentos através de análise de variância com significância do teste F e teste de média ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. A relação entre as leituras manuais dos tratamentos de cada material avaliado foi comparada com as leituras do tanque Classe A por meio de regressão. Procurou-se também, avaliar a correlação existente da evaporação com a temperatura da água, umidade relativa na altura dos tanques, incidência de radiação solar, velocidade do vento e temperatura do ar.

As relações entre as medidas do tanque Classe A (ECA) e dos tanques cobertos (TC) foram obtidas pelo uso de análise regressão entre as duas variáveis, pelas relações médias TC/ECA.

No caso do teste do modelo meteorológico de estimativa da evaporação, os valores estimados foram comparados com evaporação do tanque Classe A (ECA), sendo a ECA

tomado como referência, por duas formas: a) uso de regressão linear, verificando-se os valores e a significância dos coeficientes de determinação (R^2) e b) pelo índice de exatidão, proposto por Willmott *et al.* (1985) equação 13.

$$d = 1 - \frac{\sum(P_i - O_i)^2}{\sum[(P_i - O) + (O_i - O)]^2} \quad (\text{Eq. 13})$$

em que:

P_i – valor estimado;

O_i – valor observado;

O - média dos valores observados

O índice de exatidão varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo da unidade, maior a exatidão do modelo em prever a variável dependente. Robinson & Hubbard (1990), consideraram valores de d acima de 0,75 como satisfatórios.

3.2. Avaliação de captação pluvial

3.2.1 Localização

O estudo foi conduzido na Estação Experimental de Agricultura Irrigada Prof. Ronaldo Freire de Moura, situada no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Recife, PE, cujas coordenadas geográficas são 8° 01' 05" de latitude Sul e 34° 56' 48" de longitude Oeste e altitude de 6,4 m.

O clima, de acordo com a classificação de Koppen, é As, megatérmico tropical (tropical úmido), com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C com precipitação média anual de 2.457 mm de outono-inverno (INMET, 1992).

3.2.2 Estrutura utilizada

Foram construídas 12 parcelas experimentais para avaliar a qualidade da água da chuva captada em relação aos contaminantes do solo. Cada parcela experimental de captação pluvial foi constituída por uma área coberta com lona plástica de 1,0 m², com declividade de

5%, uma calha coletora e um tanque reservatório (Figura 11). Estas parcelas possuíam três alturas de captação 0,0; 0,5 e 1,0 m, constituindo os tratamentos em um delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, totalizando 12 parcelas.



Figura 11. Estruturas de captação pluvial

3.2.3 Avaliação da qualidade de água captada

Foram coletadas amostras dos volumes de água gerados nas estruturas de captação para avaliação da qualidade em todas as parcelas experimentais. As amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno de 100 mL e conduzidas para o Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Tecnologia Rural (DTR/UFRPE) e o Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade/UFPE, onde foram avaliados conforme Apha (2005) os parâmetros pH, com pHmetro; Condutividade Elétrica (CE), utilizando condutivímetro; Oxigênio Dissolvido (OD) utilizando oxímetro; Sódio (Na^+) e Potássio (K^+) por fotômetro de chama; Turbidez através de um turbidímetro e Sólidos em Suspensão (SS) utilizando sistema de filtração e membrana de ésteres de celulose com $0,45 \mu\text{m}$.

3.2.4 Eficiência de captação de água de chuva

As medições do volume captado foram realizadas no período de 31 de março a 18 de maio de 2011, sempre que houve registro de chuva, no intervalo entre chuvas com o auxílio de uma proveta graduada com precisão de 1,0 mL.

Durante o mesmo período foram determinadas as precipitações pluviais pela estação climatológica automatizada localizada ao lado da área experimental.

A eficiência de captação foi calculada pela razão entre o volume determinado em cada parcela e o volume calculado pelo produto da lâmina precipitada e a área de captação (1,0 m²).

3.2.5 Análise estatística

Os dados de qualidade de água foram analisados por meio da significância da análise de variância e os resultados significativos por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade para identificar a existência ou não de variações estatisticamente significativas nos resultados obtidos pelos parâmetros analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento I: Redução de evaporação

4.1.1. Caracterização microclimática

Os valores médios diários dos elementos meteorológicos obtidos durante o período estudado encontram-se apresentados na Figura 12. Tagliaferre *et al.* (2011) afirmam que a evaporação da água em superfícies livres em contato com a atmosfera é dependente da temperatura do ar, do déficit de pressão de vapor d'água sobre a superfície evaporante, da velocidade do vento e da radiação solar incidente à superfície.

De acordo com os dados medidos o valor médio diário da temperatura do ar foi de 22,9 °C, com temperaturas máxima e mínima variando de 25,0 °C a 20,8 °C, respectivamente (Figura 12A). Os valores médios diários determinados para umidade relativa do ar são apresentados na Figura 12B. A umidade relativa relacionou-se inversamente com a temperatura do ar, com uma atenuação dos valores à medida que a temperatura se elevou, concordando com Buriol *et al.* (2000). O valor médio da umidade relativa durante o período do experimento foi de 61%.

Na Figura 13 está apresentada a comparação dos valores diários entre a umidade relativa do ar a 2 m do solo e da umidade relativa do ar a altura da superfície da água nas caixas. O valor do coeficiente de determinação (R^2) de 0,86 comprova uma boa relação entre essas duas medidas, onde se pode verificar que a umidade relativa do ar na altura da lâmina de água foi superior a umidade relativa do ar a 2 m de altura em relação ao solo em aproximadamente 13%. Tal fato ocorreu visto a proximidade da lâmina livre de água em processo de evaporação.

A velocidade do vento e a radiação solar tiveram variações ao longo do tempo (Figura 12C e 12D). Com picos máximos e mínimos de 5,1 e 2,0 m s⁻¹ respectivamente, para a velocidade do vento, e de 2320 e 578 kJ m⁻² para radiação solar global. Durante o desenvolvimento da pesquisa foram observados períodos em que houve concentração das chuvas, com dois dias bem expressivos, 13,0 mm (31/07) e 9,8 mm (23/08) (Figura 12 E), contribuindo assim de forma bastante expressiva para a diminuição da evaporação nesses dois dias, devido à redução da radiação.

A influência isolada dos elementos meteorológicos na evaporação de superfícies de água livre, como nos tanques evaporimétricos, é difícil de ser quantificada. Hounam (1973)

citou que a evaporação da água em tanques não é função apenas das condições do tempo durante determinado período, mas também das características do reservatório e do calor advectivo provenientes de áreas secas adjacentes. Essas características se interrelacionam com as condições climáticas, dificultando a medição da sua influência na evaporação.

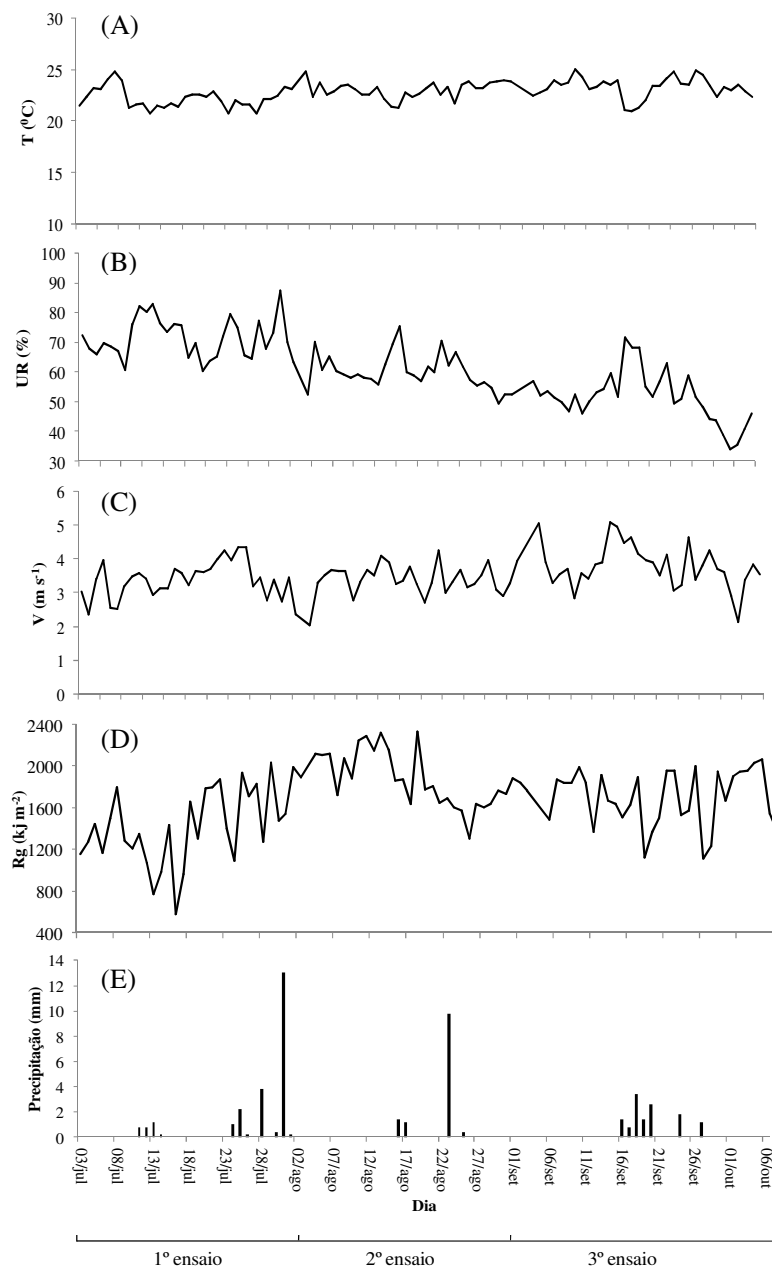


Figura 12. Dados meteorológicos diários durante a realização dos ensaios

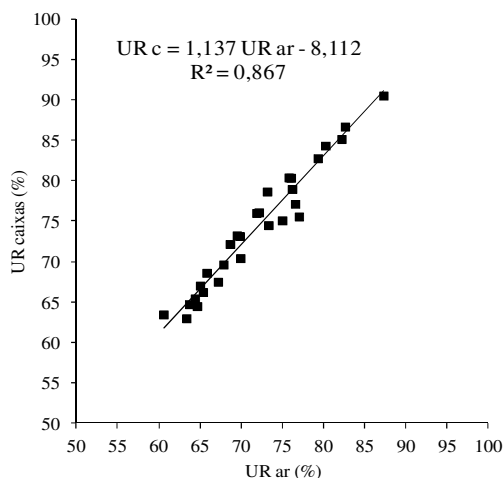


Figura 13. Relação da umidade relativa entre o ar e ao nível da superfície da água das caixas de evaporação

4.1.2. Evaporação nos tanques

Na Tabela 2 está apresentado o resumo da análise de variância dos ensaios: com telas coloridas, variação da porcentagem de sombreamento e garrafas PET. Os tratamentos dos três ensaios diferiram significativamente a 1% de probabilidade pelo teste F. Para os três ensaios os valores de coeficiente de variação (CV) apresentaram valores abaixo de 5%, mostrando ótima precisão experimental, segundo Gomes (2000).

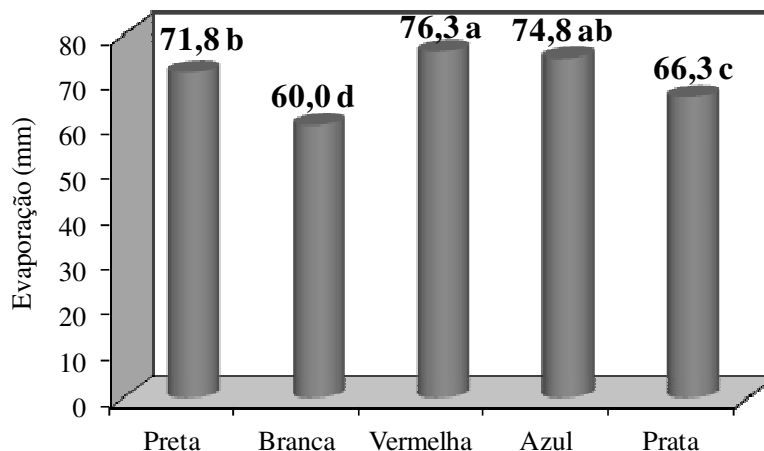
Tabela 2. Resumo da ANOVA para telas coloridas, % de sombreamento e garrafas PET

Fonte de Variação	Quadrados Médios			
	GL	Telas Coloridas	% Sombreamento	Garrafas PET
Tratamentos	4	178,550**	15425,200**	15806,300**
Resíduo	15	2,183	11,316	5,533
Média (mm)		69,8	78,8	143,3
CV (%)		2,12	4,27	1,64

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Nas Figuras 14, 15 e 16 se apresentam as diferenças significativas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade entre as médias da evaporação acumulada de cada ensaio. Na Figura 14 constam os valores das médias dos tratamentos com as telas preta, branca, vermelha, azul e prata. A tela branca apresentou menor evaporação (60,0 mm) principalmente pela redução do efeito advectivo, diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade das demais. Já a tela vermelha obteve maior valor absoluto de evaporação (76,3 mm) apesar de não diferir estatisticamente da tela azul (74,8 mm), que esta por sua vez não difere da tela

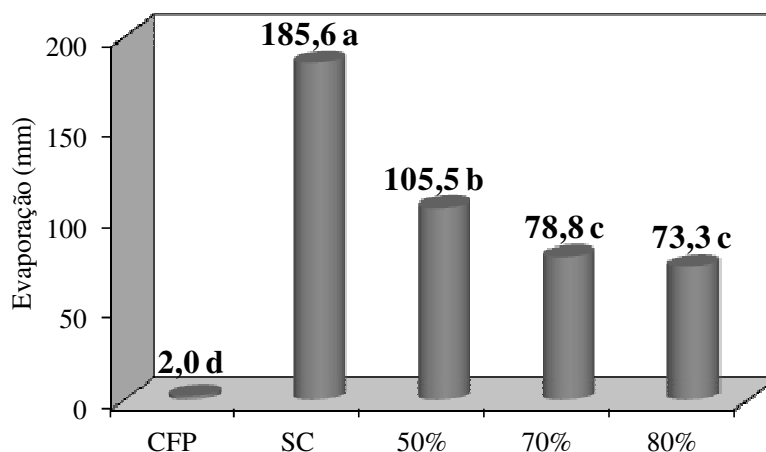
preta (71,8 mm). Estes resultados mostram-se contrários aos obtidos por Alvarez *et al.* (2006) que observaram menores valores de evaporação para as telas preta e azul e, maiores para as telas branca e prata.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,01 de probabilidade.

Figura 14. Médias da evaporação acumulada dos tratamentos com telas coloridas

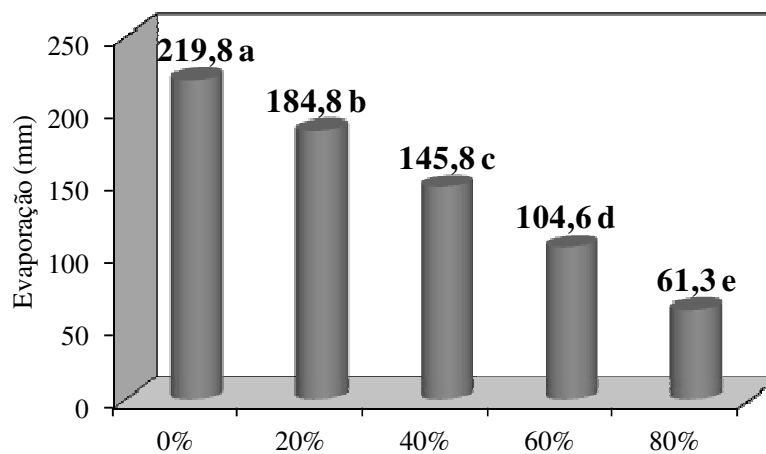
Na Figura 15 constam os valores das médias dos tratamentos com tanques sem cobertura (SC), coberto com filme plástico (CFP) e com telas pretas de sombreamento nas porcentagens 50, 70 e 80%. As telas com 70 e 80% de sombreamento apresentaram menor taxa de evaporação acumulada, com 78,8 e 73,3 mm, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade. Já a tela de 50% de sombreamento obteve maior taxa de evaporação (105,5 mm) em relação às outras telas (70 e 80%). Os tanques sem cobertura (SC) foram utilizados para quantificar a evaporação total, apresentando maior valor (185,6 mm) como era de se esperar por não haver cobertura. A cobertura com filme plástico (CFP) foi usada como referência de evaporação nula.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,01 de probabilidade, SC = sem cobertura, CFP = cobertura com filme plástico.

Figura 15. Médias da evaporação acumulada dos tratamentos com porcentagens de sombreamento das telas pretas

As médias para os tratamentos que avaliam a redução da evaporação através da porcentagem da área coberta com a utilização de garrafas PET estão apresentadas na Figura 16. As médias dos tratamentos com 0%, 20%, 40%, 60% e 80% da área coberta dos tanques apresentaram diferenças significativas entre si a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 0,01 de probabilidade.

Figura 16. Médias da evaporação acumulada dos tratamentos com porcentagens da área coberta com garrafas PET.

Os tratamentos apresentaram um decréscimo da evaporação à medida que a porcentagem da área coberta foi aumentando, com 219,8 mm para o tratamento com 0% da área coberta, e 61,3 mm para o tratamento com 80%, mostrando assim a eficiência da

utilização desse material na redução da evaporação. De maneira geral, verifica-se que a utilização de garrafas PET para cobertura da superfície da água reduz significativamente a evaporação e, levando-se em conta o baixo custo que pode viabilizar esta alternativa.

4.1.3. Relação entre evaporação dos tratamentos e o tanque Classe A

As relações lineares entre os dados obtidos a partir das evaporações diárias medidas nos tanques dos ensaios (com telas coloridas, porcentagem de sombreamento de tela preta e garrafas PET) e no tanque Classe A estão apresentados nas Figuras 17, 19 e 21.

Quando a evaporação das telas (preta, branca, vermelha, azul e prata) é comparada com as leituras do tanque Classe A (ECA), observam-se uma redução substancial da evaporação dos tratamentos, como mostra na Figura 17. Conforme se pode observar na Figura 17B, a redução da tela branca foi de 64,6% da evaporação em relação ao tanque Classe A, representando a maior redução entre as telas testadas.

A tela branca comercialmente teria 50% de sombreamento, entretanto, como apresentado anteriormente, o sombreamento médio real foi de 40,5% (menor porcentagem de sombreamento entre as telas testadas). Todavia, mesmo com a menor porcentagem de sombreamento ocorreu maior redução da evaporação. Tal fato pode ser explicado pois a tela do cor branca apresenta maior transmissividade 59,6% e para proporcionar o mesmo sombreamento a tela tem uma malha mais fechada, contribuindo assim como impedimento físico e conseqüentemente limitando o efeito do vento na transferência de massa para atmosfera. Por outro lado, a tela vermelha (Figura 17C) numericamente foi a que mais evaporou, apresentando valores de evaporação superiores a 49% quando comparado ao evaporado no tanque Classe A, representando 51% de redução da evaporação. As telas prata, azul e preta, apresentaram uma redução de 57,4%, 52,6% e 52,6% respectivamente, representando aproximadamente evaporação duas vezes menor que a do tanque Classe A (Figuras 17A, 17 D e 17E).

Alvarez *et al.* (2006), ao avaliarem também o efeito da cor na redução da evaporação em tanque Classe A, observaram que para as telas prata e branca, a redução da evaporação deveu-se principalmente à redução da velocidade do vento. Ou seja, para tais telas, o efeito aerodinâmico era predominante enquanto que o efeito do sombreamento era secundário. Ao contrário, a tela preta e azul, além da diminuição da velocidade do vento, exibiu uma forte redução do coeficiente de transferência de massa em relação ao tanque Classe A. Assim, para estes tipos de telas, tanto o efeito aerodinâmico quanto o sombreamento foram substanciais.

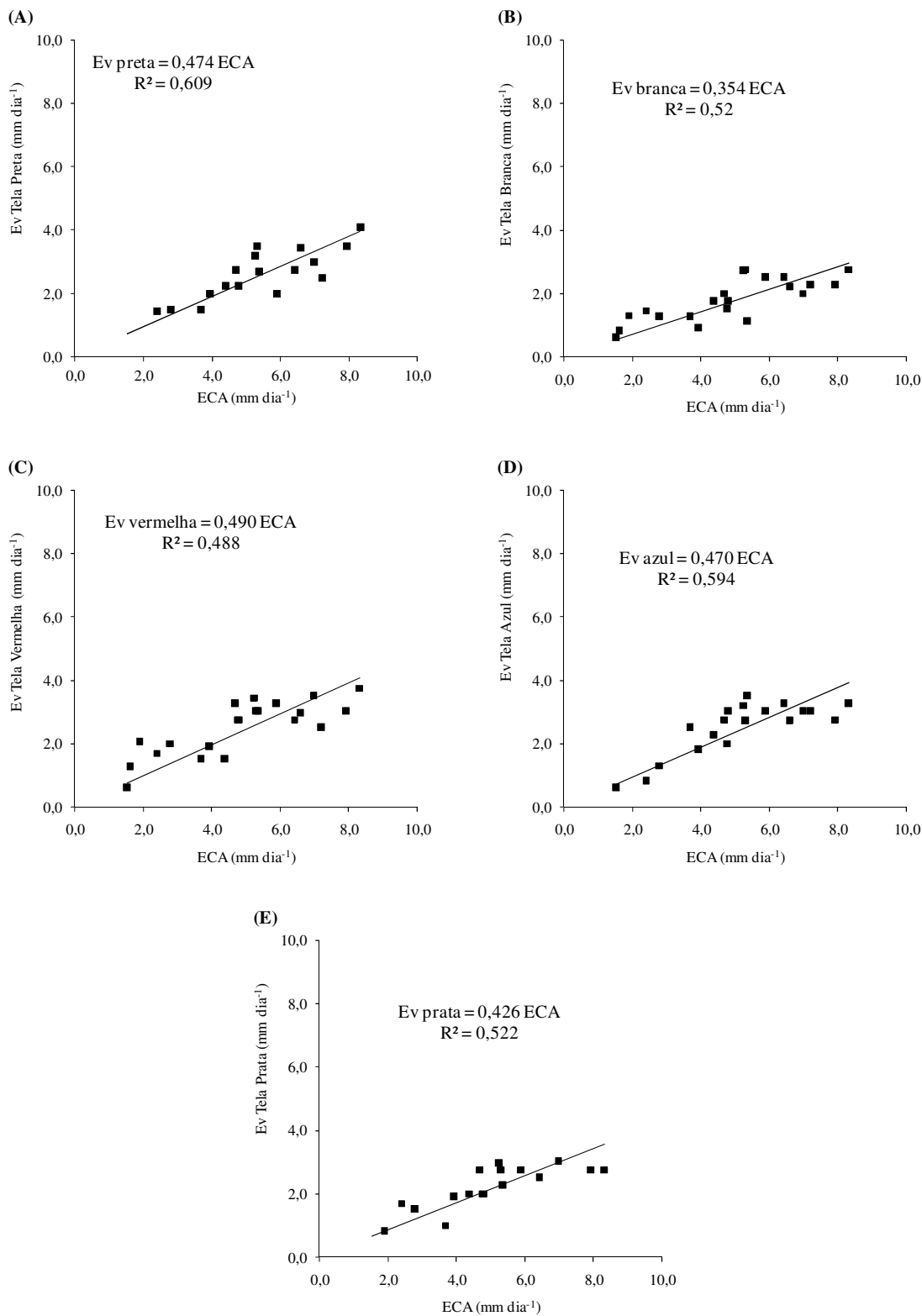


Figura 17. Relação entre a evaporação média diária do tanque Classe A (ECA) e os tratamentos tela preta (A), branca (B), vermelha (C), azul (D) e prata (E)

Os valores diários de evaporação de água em função dos tratamentos e para o tanque Classe A estão apresentados na Figura 18. A redução da evaporação próxima ao dia 15 de julho é verificada para todos os tratamentos, entretanto, para a lâmina de água exposta no tanque Classe A a redução é maior e ocorreu principalmente em função da redução da radiação global ter ocorrido no mesmo período (Figura 12).

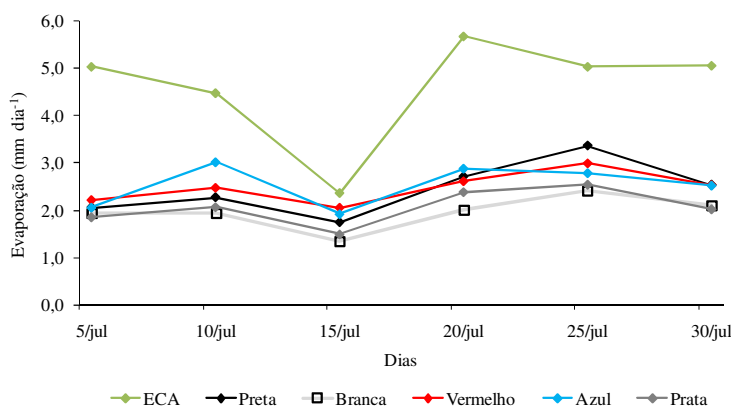


Figura 18. Evaporação do tanque Classe A (ECA) em relação aos tratamentos com tela coloridas ao longo de experimento

Na Figura 19 relaciona-se a evaporação dos tratamentos que avaliam a porcentagem de sombreamento da tela preta com a evaporação do tanque Classe A. Observando a magnitude dos valores de evaporação, verifica-se que houve diminuição na evaporação obtida nos tanques, em comparação com o tanque Classe A (ECA). Sleight (1917) e Gangopadhyaya *et al.* (1966), em estudos conduzidos com tanque evaporimétrico de vários tamanhos, mostraram que a evaporação decresce exponencialmente com o aumento da área exposta à atmosfera. Isso ocorre porque o vento, ao passar sobre a superfície evaporante de tamanho maior, torna-se mais úmido, reduzindo o seu poder evaporante. Explicando assim a redução de 7% na evaporação do tanque sem cobertura (SC) em relação ao tanque Classe A (ECA) (Figura 19A).

As telas com 70 e 80% de sombreamento (Figura 19C e 19D) reduziram aproximadamente 66% da evaporação do tanque Classe A (ECA), sendo assim as telas que mais reduziram a evaporação, uma vez que a tela de 50% de sombreamento (Figura 19 B) reduziu apenas 49%, com valores na ordem de duas vezes menores que o tanque Classe A.

Na Figura 20 pode-se verificar que a evaporação diária foi aproximadamente constante ao longo do ensaio para os tratamentos estudados. Os valores observados para o tratamento sem cobertura durante todo o período foi sempre inferior à evaporação do tanque Classe A, possivelmente em função da precisão da leitura nos diferentes tanques.

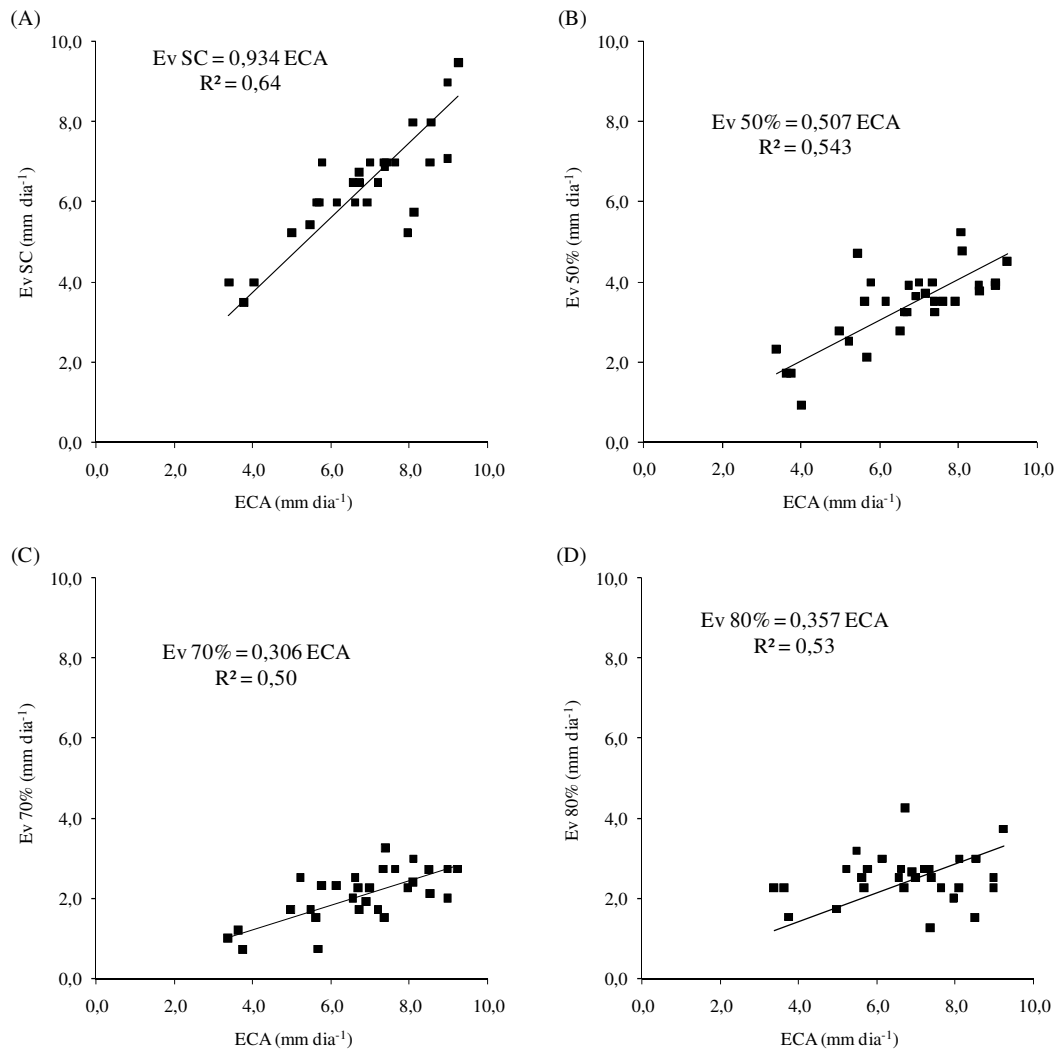


Figura 19. Relação entre a evaporação média diária do tanque Classe A (ECA) e os tratamentos sem cobertura (A), e com telas com 50% (B), 70% (C) e 80% (D) de sombreamento

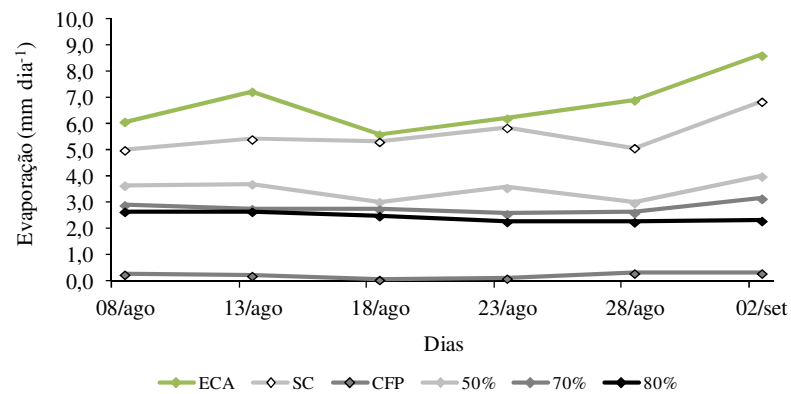


Figura 20. Comportamento da evaporação do tanque Classe A (ECA) em relação aos tratamentos com porcentagem de sombreamento de tela preta

No ensaio com uso da garrafa PET para a relação entre a evaporação dos tratamentos com diferentes porcentagens de área de garrafas PET na superfície e o tanque Classe A (ECA) foi observada uma expressiva redução da evaporação (Figura 21), respondendo a redução da evaporação de forma direta e linearmente ao incremento na cobertura da área nos tanques. A maior redução da evaporação ocorreu no tratamento que teve como nível de cobertura 80% (Figura 21E). A cobertura de 80% da superfície por garrafas de PET obteve uma redução de 78% da evaporação quando comparado ao tanque Classe A, seguido dos tratamentos com 60, 40 e 20% da área coberta, os quais obtiveram uma redução na evaporação de 56, 38 e 22% respectivamente (Figuras 21B, 21C e 21D). O tratamento com 0% (Figura 21A), ou seja, com a superfície de água livre apresentou em média 7% menos quando comparado ao tanque Classe A, tal fato pode ser explicada pelas diferentes resoluções de leitura entre os tanques sem cobertura e o tanque Classe A. No caso do tanque Classe A, a leitura é realizada em um parafuso micrométrico com nônio que permite leitura com duas casas decimais em milímetro. Já nos tanques a leitura foi realizada em um tubo transparente com uma trena fixada ao lado, em que a trena permitia a leitura com resolução de um milímetro, além disso, o erro de paralaxe faz parte de leituras diretas e visuais. A redução da superfície livre de água diminui a área de ação do vento e da radiação direta no processo evaporativo.

Os valores de evaporação de água nos diferentes tratamentos, tanque Classe A e tanques com cobertura de 0%, 20%, 40%, 60% e 80% da superfície com garrafas PET são apresentados ao longo do ensaio (Figura 22). As curvas são praticamente paralelas, o que reflete que a redução de evaporação é diretamente proporcional e linear ao aumento da cobertura da superfície com as garrafas PET. Pode-se verificar que ao longo do ensaio a maior cobertura da superfície com garrafa PET (80%) proporcionou evaporações iguais e inferiores a 2mm, entretanto, é importante salientar que a redução da superfície livre de água pode interferir diretamente na qualidade de água, devido principalmente a oxigenação.

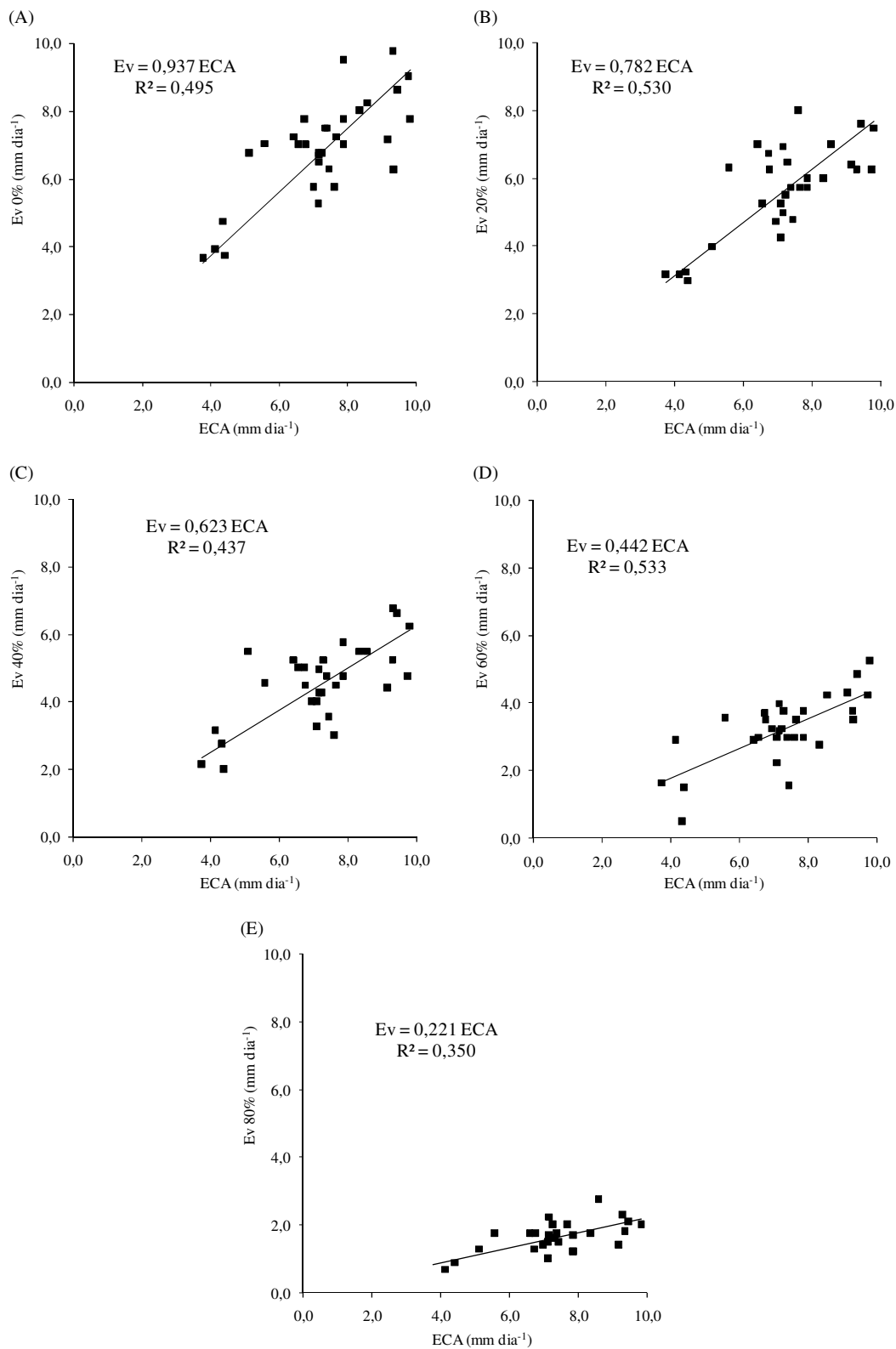


Figura 21. Relação entre a evaporação média diária do tanque Classe A (ECA) e os tratamentos 0% (A), 20% (B), 40% (C), 60% (D) e 80% (E) de cobertura da superfície com garrafas PET

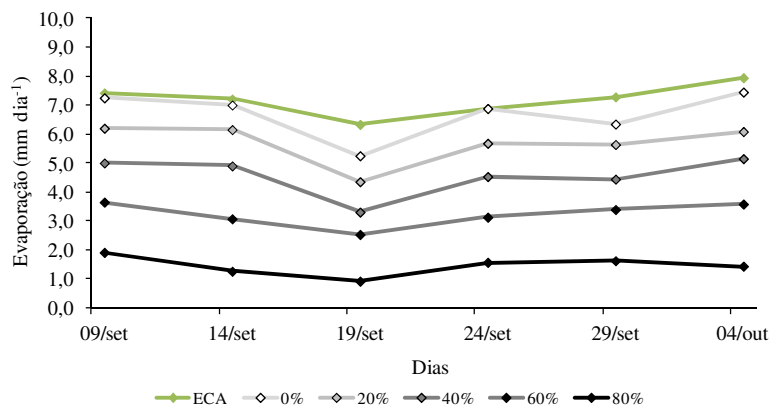


Figura 22. Evaporação do tanque Classe A (ECA) em relação aos tratamentos com garrafas PET

4.1.4. Temperatura da água na superfície dos tanques

Um aspecto de interesse no estudo da evaporação é a comparação entre a temperatura do ar e da água, visto que em vários métodos usam a temperatura do ar como representativa da superfície evaporante. Como essa relação interessa para discutir o uso de dados meteorológicos terrestres na estimativa da evaporação da superfície da água livremente exposta, apresenta-se a relação encontrada entre a temperatura do ar medida na estação meteorológica automática e a temperatura da camada superficial da água dos tanques.

Nas Figuras 23, 25 e 27 observa-se um elevado coeficiente de determinação (R^2) para um ajuste linear entre os valores médios diários da temperatura da água e do ar nos ensaios propostos. Em todos os casos, a temperatura da água nos tanques foi superior à do ar, concordando assim com Oliveira (2009) quando mediu a temperatura da água na superfície de tanques Classe A.

Os resultados da Figura 23 mostram uma tendência de se encontrar uma relação 1:1 entre as duas medidas, com baixa dispersão. Os coeficientes de determinação encontrados foram superiores a $R^2 = 0,80$. Estes coeficientes mostram que as temperaturas da água no interior dos tanques receberam uma grande influência da radiação incidente, concordando assim com Oliveira (2009) e Pinto (2009) quando avaliaram essa mesma relação em tanque Classe A.

A temperatura da água com a cobertura tela branca (Figura 23B) apresentou-se com uma tendência de ser 49% superior a temperatura do ar. Isso porque essa tela representou a maior porcentagem de transmissividade, com 59,5%, concordando com Alvarez *et al.* (2006) que obtiveram o mesmo valor para tela branca. Apesar de ter apresentado os maiores valores

de temperatura da água na superfície, os tanques com cobertura com a tela branca a 50% foram os que apresentaram maior redução na evaporação. Tal resultado discorda de Porto *et al.* (2000) que afirmam que a água mais quente evapora mais rápido. Entretanto, como já citado, para manter o mesmo nível de sombreamento (50%) a tela é visivelmente mais fechada, o que pode ter agido como impedimento físico.

As telas que apresentaram a menor temperatura da água foram a preta e a prata (Figura 23A e 23E), com temperatura da água apenas 19% e 25% superior a do ar. Constando assim de uma temperatura mínima diária de 21,5 °C e máxima de 25,4 °C. As telas vermelha e azul (Figuras 23C e 23D) apresentaram temperatura média diária da água 47% e 34% superiores em relação à temperatura média do ar.

Na Figura 24 novamente se verifica a homogeneidade da temperatura da superfície da água para todas as cores de tela testadas em função do tempo ao longo do ensaio. A temperatura da superfície da água acompanha a temperatura do ar em todos os tratamentos.

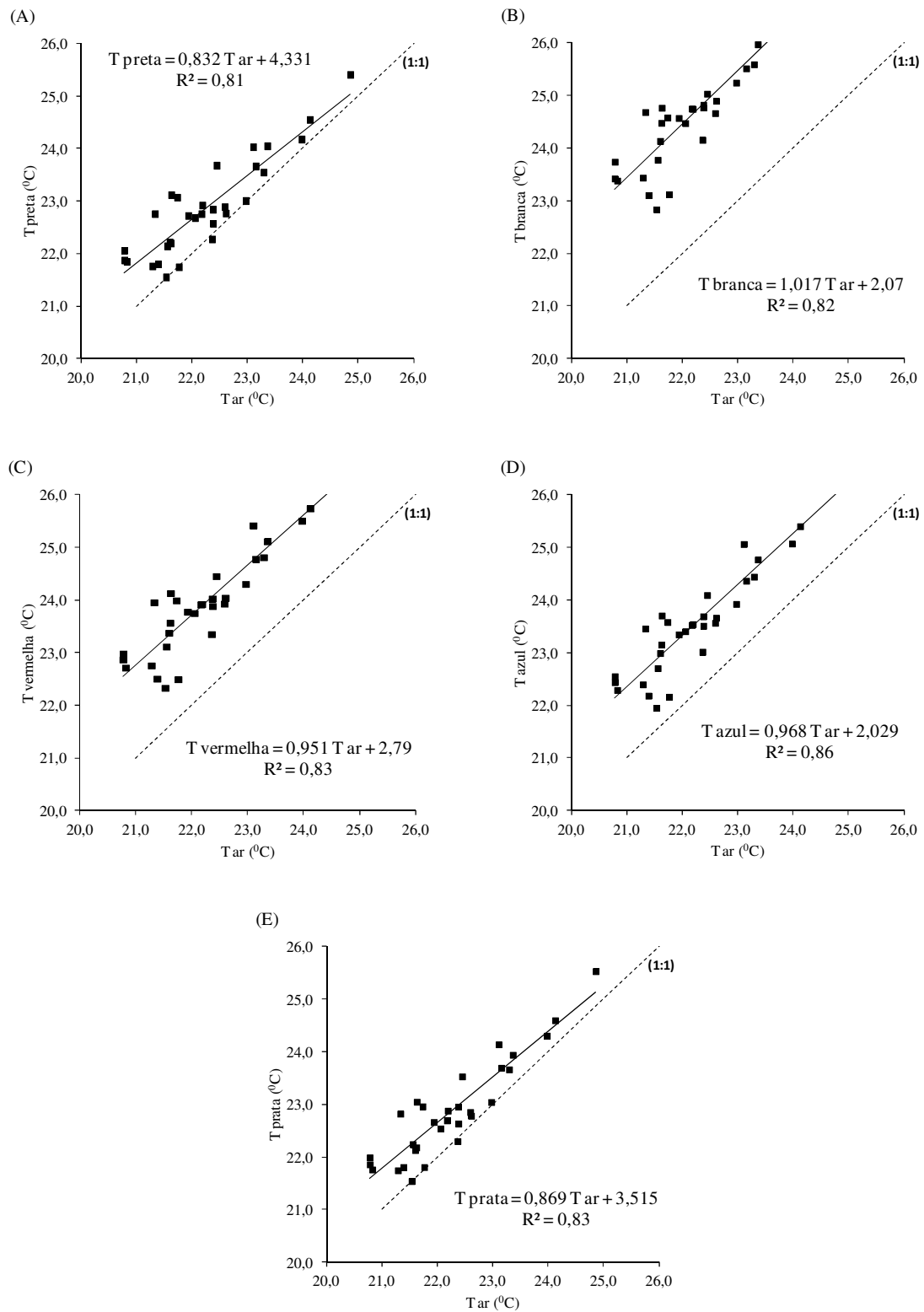


Figura 23. Relação entre a variável temperatura média diária do ar e da água nos tratamentos com cobertura de telas: preta (A), branca (B), vermelha (C), azul (D) e prata (E)

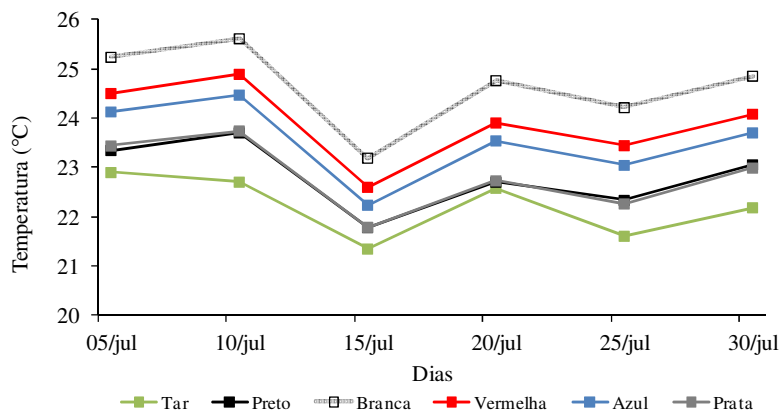


Figura 24. Temperatura do ar e da água nos tratamentos ao longo dos 30 dias nos tratamentos com telas coloridas

As relações lineares existentes entre a temperatura da água e a temperatura do ar para os tratamentos sem cobertura (SC), com cobertura com filme plástico (CFP), e com telas de 50, 70 e 80% de sombreamento, estão apresentadas na Figura 25. Os coeficientes de determinação (R^2) entre 0,6 e 0,75 indicam que existe correlação direta entre as temperaturas da superfície da água abaixo das telas e do ar, com baixa dispersão. Novamente, observa-se por esse ensaio o efeito da temperatura do ar na temperatura da água.

Destaca-se que a temperatura da água com cobertura com filme plástico (CFP) a temperatura da água foi 166% superior a temperatura do ar, devido ao filme plástico ser transparente que permite a passagem dos raios solares para dentro do reservatório, favorecendo assim o aquecimento da água durante o período mais quente do dia, como também ao micro-clima existente dentro do reservatório que não permitia as trocas gasosas com o meio externo (Figura 25B).

Os valores dos tratamentos sem cobertura e com cobertura de telas com 50, 70 e 80% de sombreamento se aproximaram bastante da temperatura do ar. Observa-se que a temperatura da água do tanque sem cobertura (SC) teve uma elevação de apenas 5% em relação à temperatura do ar (Figura 25A), seguida das telas, com 7% (Figura 25 C, D e E).

Estes resultados foram observados devido ao alto sombreamento destas telas que varia de 57 a 82%. Já em relação ao tratamento sem cobertura (SC) houve uma pequena elevação na temperatura da água.

Na Figura 26 verifica-se as temperaturas ao longo do período do ensaio e confirma-se a proximidade dos valores entre os tratamentos sem cobertura e com telas de 50%, 70% e 80% de sombreamento e o distanciamento em aproximadamente 10°C para o CFP.

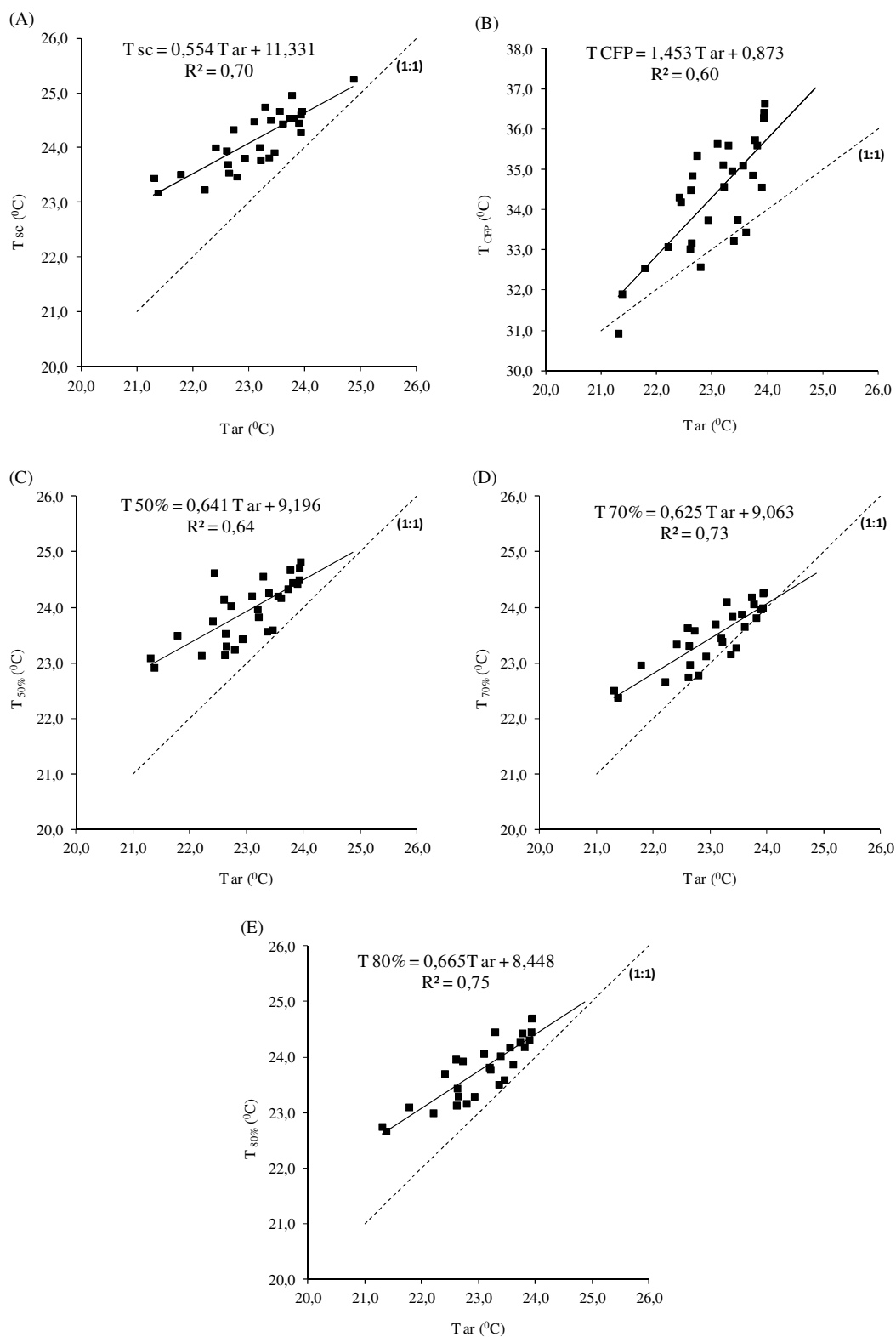


Figura 25. Relação entre a variável temperatura média diária do ar e da água nos tratamentos sem cobertura (A), com filme plástico (B), e telas com 50% (C), 70% (D) e 80% (E) de sombreamento

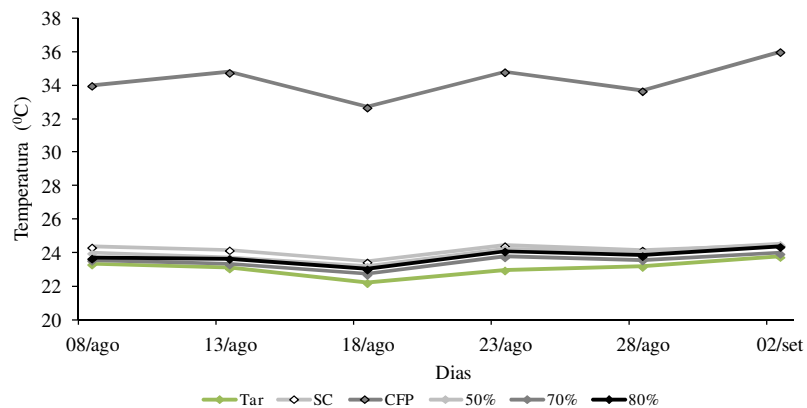


Figura 26. Temperatura do ar e da água ao longo dos 30 dias para os tratamentos com telas com diferentes porcentagens de sombreamento

Na Figura 27 podem ser observadas relações lineares entre as temperaturas da água dos tratamentos com porcentagem da área coberta dos tanques com garrafas PET (0, 20, 40, 60 e 80%), com a temperatura do ar. Verifica-se que a correlação é direta e que a dispersão é baixa devido aos elevados valores de coeficiente de determinação (R^2), variando entre 0,82 e 0,9.

Pode-se verificar nas Figuras 27A, 27B, 27C, 27D e 27E que conforme se aumenta a porcentagem de cobertura, aumenta-se também a temperatura da água, e se observa que os pontos vão se distanciando da reta 1:1. A temperatura da água destes tratamentos (0, 20, 40, 60 e 80%) teve uma tendência de ser 7%, 10%, 12%, 67% e 72% superior à do ar.

A Figura 28 mostra as curvas da temperatura média da água no interior dos tanques durante o período de estudo. Como pode ser observado o aumento da porcentagem da área coberta dos tanques apresentou valores superiores à temperatura do ar devido ao impedimento físico sobre o efeito advectivo para a dissipação do calor da água pelas trocas gasosas.

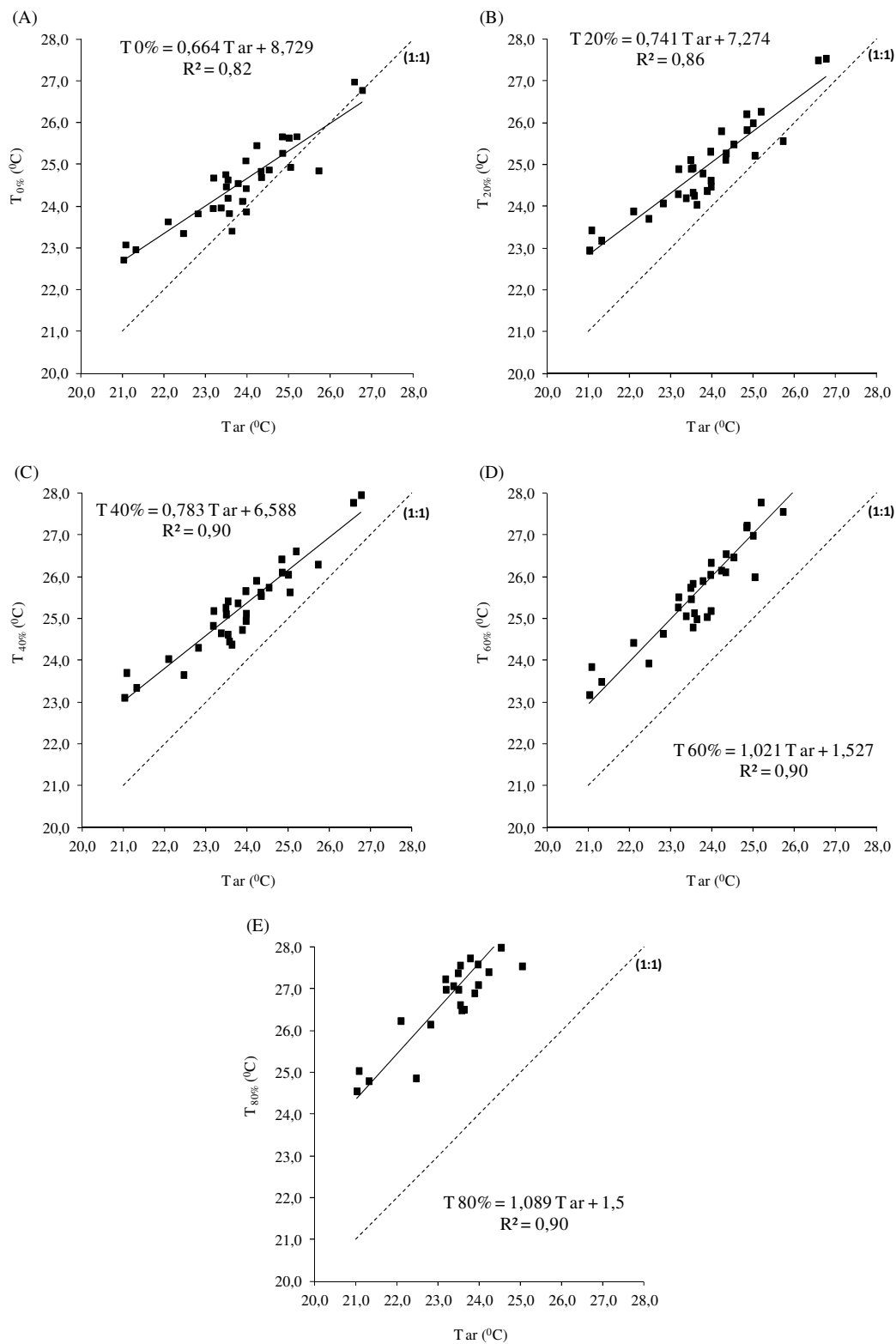


Figura 27. Relação entre a variável temperatura média diária do ar e da água nos tratamentos com cobertura 0% (A), 20% (B), 40% (C), 60% (D) e 80% (E) da superfície da água com garrafas PET

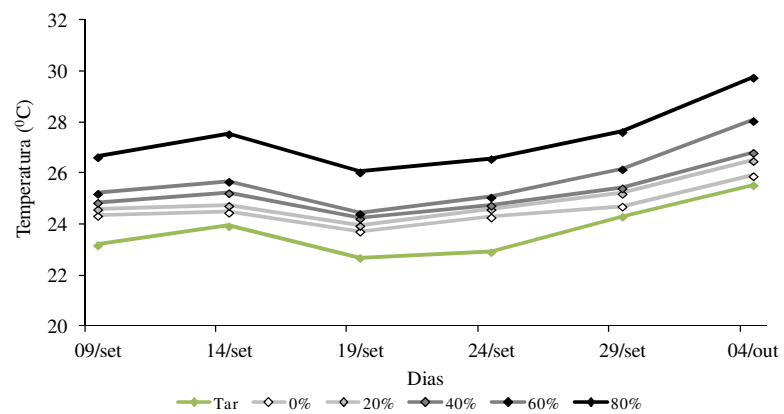


Figura 28. Temperatura do ar e da água ao longo dos 30 dias para os tratamentos com garrafas PET

4.1.5. Estimativa da evaporação

Os dados climatológicos coletados durante os meses de julho a outubro de 2011 foram utilizados para estimar a evaporação por meio da equação proposta por Penman (1948).

Na Figura 29 apresenta-se a correlação entre os valores da evaporação estimada pelo método de Penman e os medidos no tanque Classe A. Ao analisar a figura, verifica-se grande dispersão dos dados, principalmente por se tratar de dados com valores diários, pois o valor de R^2 para a estimativa pelo método de Penman foi de 0,50.

O método de Penman superestimou a evaporação do tanque Classe A no período avaliado em 7,2%, apresentando valores superiores aos de Pinto (2009) que foi de 3,1%.

Verifica-se ainda na Figura 29 que o índice d foi relativamente elevado, com valor de 0,91, indicando uma boa exatidão da estimativa, visto que Robinson & Hubbard (1990) consideram valores superiores a 0,75 como satisfatórios.

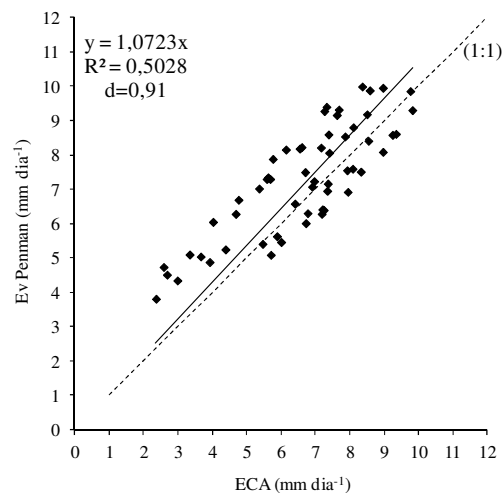


Figura 29. Relação entre valores de evaporação estimados pelo método de Penman (1948) e medidos no tanque Classe A (ECA)

4.2 Experimento II: Alternativa de captação pluvial

4.2.1. Avaliação da qualidade da água de chuva captada

Na Tabela 3 estão apresentados os resumos da análise de variância dos parâmetros avaliados como indicador de qualidade da água de chuva captada nas alturas de 0,0 m, 0,5 m e 1,0 m. Os parâmetros avaliados não apresentaram significância a 5% de probabilidade pelo teste F em relação às alturas de captação.

Os coeficientes de variação (CV) apresentaram-se com valores altos para a maioria dos parâmetros avaliados, com exceção do Oxigênio Dissolvido (OD) e pH que foram de 4,27 e 7,43%, respectivamente, mostrando ótima precisão experimental, segundo Gomes (2000). Estes valores elevados, possivelmente são devido a variação na intensidade pluviométrica ao longo do período.

Tabela 3. Resumo da ANOVA para os parâmetros de qualidade da água captada

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		VC (L)	CE (dS m ⁻¹)	OD (mg L ⁻¹)	pH
Tratamentos	2	0,8236 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,0275 ^{ns}	0,0849 ^{ns}
Resíduo	9	1,5633	0,00022	0,0841	0,1862
Média		7,8	0,025	6,79	5,8
CV (%)		16,05	58,62	4,27	7,43
		Na (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	SST (mg L ⁻¹)
Tratamentos	2	1,8254 ^{ns}	58,4888 ^{ns}	206,3255 ^{ns}	1808,47 ^{ns}
Resíduo	9	315,3465	16,5213	40,3663	2637,84
Média		21,11	7,14	16,36	21,38
CV (%)		84,10	56,91	38,82	240,12

ns - não significativo pelo teste F, VC = volume coletado, CE = condutividade elétrica, OD = oxigênio dissolvido, SST = sólidos suspensos totais

O volume captado (VC) não apresentou diferenças significativas entre as diferentes alturas de captação.

As concentrações de pH e Turbidez se encontram fora dos valores máximos permitidos pela Portaria 518 do Ministério da Saúde para potabilidade (BRASIL, 2004) que são de 6,0 a 9,5 para pH e de 5,0 NTU para Turbidez.

Os valores médios das concentrações de CE, OD e SST foram bem inferiores aos encontrados por May (2004) ao avaliar a qualidade da água da chuva na cidade de São Paulo, e que observou condutividade elétrica de 0,06 dS m⁻¹, concentrações de 20 mg L⁻¹ de OD e 30 mg L⁻¹ para SST.

Foram observados elevadas concentrações para sódio (Na) e potássio (K) na água da chuva captada, apresentado assim valores superiores aos encontrados por Fornaro & Gutz (2000) para água da chuva da cidade de São Paulo, que foram de $7,5 \text{ mg L}^{-1}$ para Na e $4,7 \text{ mg L}^{-1}$ para K.

Nas Figuras de 30 a 36 estão apresentadas as variações existentes entre os parâmetros avaliados da água de chuva com o volume captado ao longo do período experimental.

As variações na condutividade elétrica (CE) e na concentração de Na estão apresentadas nas Figuras 30 e 31 com a mesma tendência, inversamente proporcionais ao volume captado, ou seja, baixos volumes captados provocados por baixas precipitações a diluição da CE e Na é dificultada, elevando-se assim as concentrações, concordando com Damasceno *et al.* (2010) ao verificarem a mesma situação na água do Rio Poty – PI.

Varição semelhante também pode ser verificada para a concentração de potássio (K) na água captada (Figura 32). Porém, ao observar o tratamento com altura de captação de 0,0 m verifica-se que em períodos de alta precipitação esse elemento se mostrou elevado, fato este possivelmente explicado pela intensidade da precipitação que pode ter desprendido partículas do solo para a estrutura de captação a esta altura e pela mobilidade do potássio.

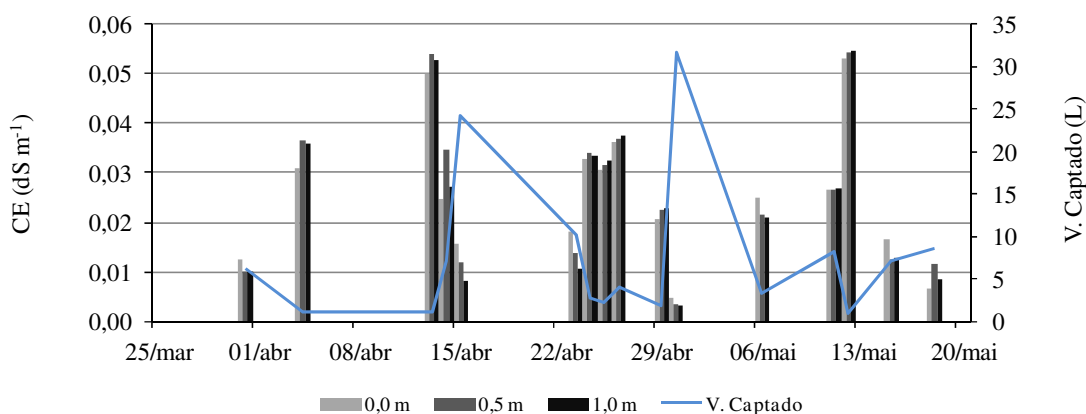


Figura 30. Condutividade elétrica da água (CE) e volume captado (V. Captado) ao longo do período de estudo

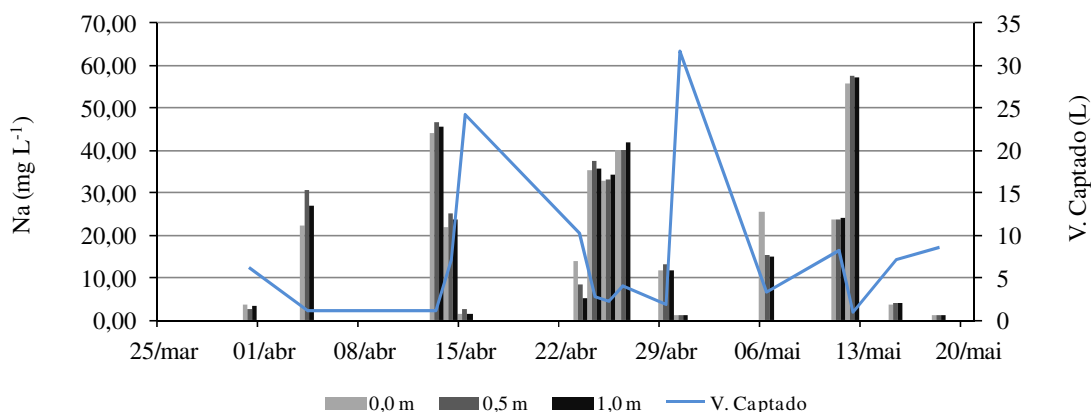


Figura 31. Concentração de sódio na água (Na) e volume captado (V. Captado) ao longo do período de estudo

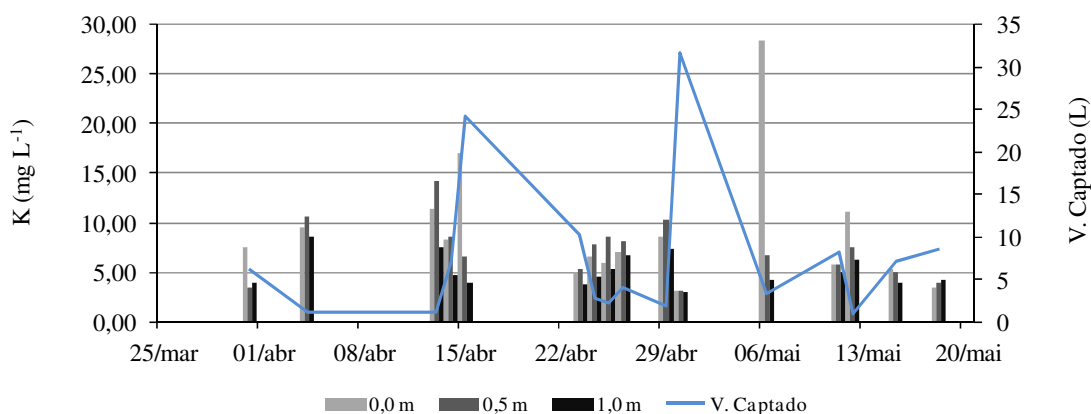


Figura 32. Variação do K e do volume captado (V. Captado) durante o período de estudo

O oxigênio dissolvido (OD) apresentou-se com uma pequena variação nos períodos de coleta em que houve menores precipitações, o que se pode observar na Figura 33 nos dias próximos a 8 de abril, com valor mínimo de $5,65 \text{ mg L}^{-1}$ para o tratamento com altura de captação de 0,0 m, e próximos a 13 de maio com $6,40 \text{ mg L}^{-1}$. Em média a concentração de oxigênio dissolvido foi de $6,79 \text{ mg L}^{-1}$, o qual está acima do valor permitido pelo Conama que é de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ (CONAMA, 1986).

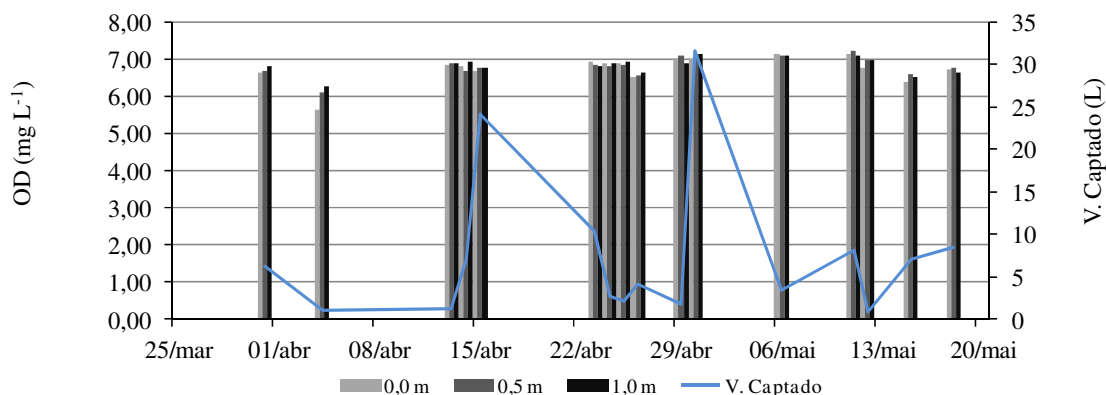


Figura 33. Variação de OD e do volume captado (V. Captado) durante o período de estudo

Na Figura 34 observa-se que a variação do pH foi igual para as alturas de captação e independente do volume captado, mostrando que essa variação foi principalmente em decorrência da composição da chuva, que segundo Porto (1998), a composição da chuva varia conforme as condições meteorológicas (intensidade, duração, tipo de chuva, regime de ventos, estação do ano, etc.), com a presença ou não de vegetação e também com a presença de carga poluidora.

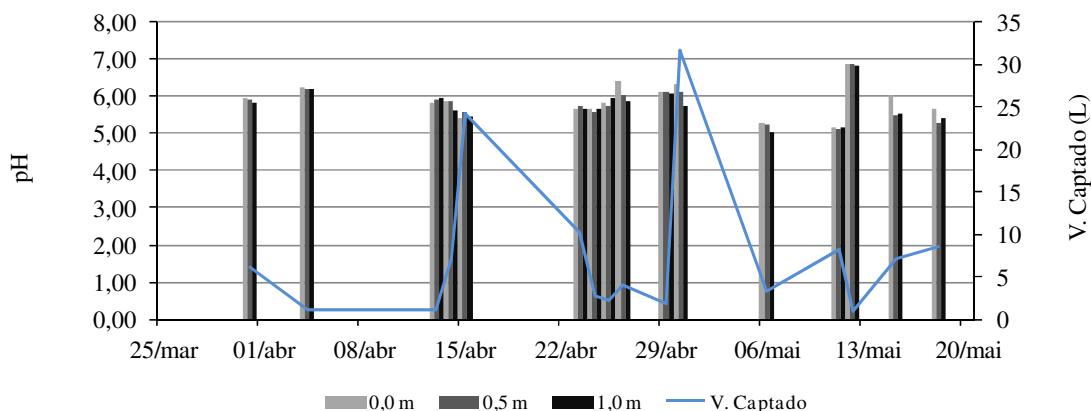


Figura 34. Variação do pH e do volume captado (V. Captado) durante o período de estudo

Nas Figuras 35 e 36 encontram-se as variações dos sólidos suspensos totais (SST) e da Turbidez. Nelas podem-se observar uma variação semelhante para esses dois parâmetros, os quais apresentaram maiores valores na primeira e última semana de coleta, em decorrência das menores precipitações. A altura de captação de 0,0 m apresentou valores altíssimos tanto para SST quanto para Turbidez na primeira semana, com 250,2 mg L⁻¹ para SST e 213,0 NTU para Turbidez. Evidenciou-se assim que houve uma maior contaminação da água captada pelo

solo, já que este tratamento se encontrava a 0,0 m de altura. No entanto, para a última semana de coleta os maiores valores de SST e Turbidez foram observados para a altura de captação a 1,0 m, apresentando valores de 165,9 mg L⁻¹ para SST e 80,0 NTU para Turbidez. Estes valores podem ser explicados por serem provenientes do menor volume captado, que foi 0,9 litros para o dia 12 de maio, o qual de alguma forma recebeu maior contaminação, seja ela pelo vento, folhas das árvores das proximidades ou por dejetos de animais, acarretando assim em elevados valores para estes parâmetros.

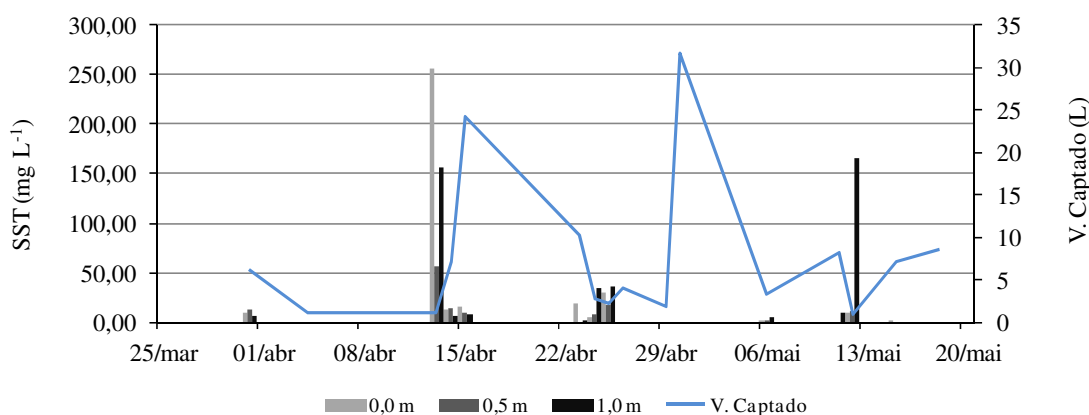


Figura 35. Variação do SST e do volume captado (Volume Captado) durante o período de estudo

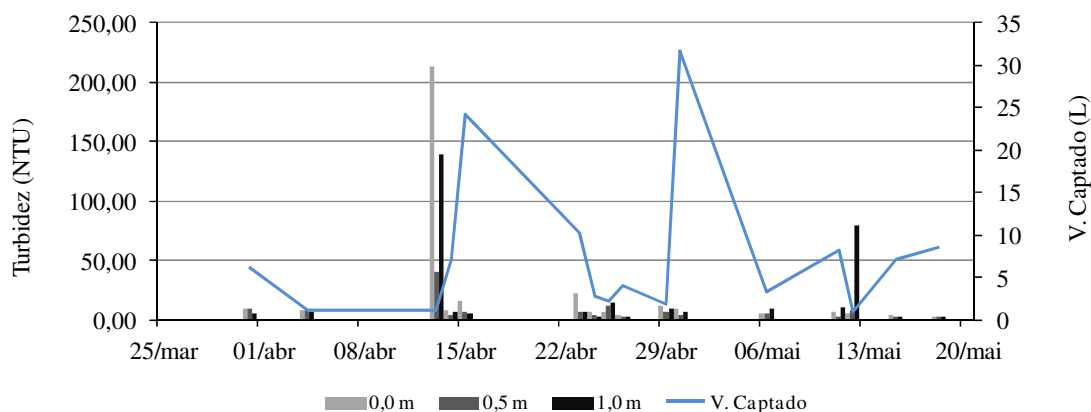


Figura 36. Variação da Turbidez e do volume captado durante o período de estudo

4.2.2. Eficiência de captação

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de eficiência de captação obtidos pelas estruturas utilizadas nas diferentes alturas de captação. A eficiência média obtida pelas estruturas de captação nas diferentes alturas foi de 83,89%. No entanto, observa-se para a altura de captação de 1,0m as maiores eficiências entre as demais alturas, com o valor mínimo de 69,2% e máximo de 99,5%.

Entre as alturas de captação, a estrutura a 1,0 m do nível do solo apresentou uma eficiência de captação de 1,6 % e 2,3 % superior as de 0,5 e 0,0 m de altura respectivamente. Porém, em função da quantidade de material utilizado, esta altura de captação não representa grandes ganhos significativos em relação às alturas de 0,0 e 0,5 m. Portanto, a escolha da altura de captação da água de chuva vai depender das estruturas disponíveis.

Esta alta eficiência pode ser explicada devido à estrutura ser composta por um material sintético que não absorve água e possui baixa rugosidade. No entanto, é importante salientar a vida útil desse material, que no período de estudo foi pouco mais que 30 dias.

Tabela 5. Avaliação da eficiência de captação realizada a 0,0; 0,5 e 1,0 m de altura em relação ao solo

Datas	Precipitação (mm)	Volume Captado (L)			Eficiência (%)		
		0,0 m	0,5 m	1,0 m	0,0 m	0,5 m	1,0 m
31/mar	7,3	6,29	6,49	6,37	86,2	88,9	87,2
04/abr	1,3	1,10	1,04	1,04	84,9	79,9	80,2
13/abr	1,5	1,20	1,20	1,22	80,2	80,2	81,0
14/abr	8,3	7,15	7,53	7,55	86,1	90,8	91,0
15/abr	27,6	24,12	24,81	24,91	87,4	89,9	90,2
23/abr	10,9	10,28	10,21	10,16	94,3	93,6	93,2
24/abr	3,4	2,75	2,72	2,75	80,9	79,9	80,8
25/abr	2,8	2,22	2,08	2,15	79,2	74,3	76,8
26/abr	5,0	4,10	4,13	4,20	82,0	82,6	83,9
29/abr	2,3	1,78	1,77	1,78	77,3	77,1	77,4
30/abr	37,4	31,56	32,86	33,42	84,4	87,9	89,4
06/mai	4,2	3,40	3,40	3,52	81,0	81,0	83,7
11/mai	12,4	8,19	8,24	8,58	66,1	66,4	69,2
12/mai	1,0	0,94	0,95	1,00	94,3	94,8	99,5
15/mai	8,7	7,06	7,26	7,37	81,2	83,4	84,7
18/mai	10,2	8,55	8,98	9,31	83,8	88,1	91,2
Média	9,0	7,54	7,73	7,83	83,06	83,66	84,96
Total	144,3	120,69	123,67	125,33			

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos sobre os materiais avaliados para reduzir a evaporação e o método de captação de água de chuva, pode-se concluir:

1. A tela na cor branca reduziu significativamente a evaporação quando comparada as demais cores e foi 64,6% inferior a evaporação do tanque Classe A.
2. Quanto as porcentagem de sombreamento da tela preta, as porcentagens 70 e 80% foram as que mais reduziram a evaporação em relação à tela de 50%, e apresentaram uma redução de aproximadamente 66% quando comparavas a evaporação do tanque Classe A.
3. A porcentagem da área superficial dos tanques cobertos com garrafas PET, que mais reduziu a evaporação foi a de 80%, com uma redução de 78% em relação à evaporação do tanque Casse A e quanto maior a área coberta maior a redução da evaporação. De maneira geral, verifica-se que a utilização de garrafas PET para cobertura da superfície da água reduziu significativamente a evaporação e levando-se em conta o baixo custo pelo qual viabiliza esta alternativa.
4. Tanto as telas avaliadas quanto a cobertura com as garrafas PET apresentaram a temperatura da água dos tanques superiores à temperatura do ar. Porém, este fato isoladamente não contribuiu para aumentar a evaporação.
5. O método de Penman (1948) superestimou a evaporação do tanque Classe A no período avaliado em 7%.
6. A qualidade da água de chuva captada não sofreu interferência em relação às alturas de captação, ficando recomendada a colocação da lona na superfície, visto a economia e a praticidade. Os parâmetros: oxigênio dissolvido, pH e Turbidez, apresentaram valores médios fora dos padrões de potabilidade exigindo tratamento para consumo humano. A Condutividade Elétrica, Sódio, Potássio, Sólidos Suspensos Totais e Turbidez tiveram influencia nas suas concentrações pelo volume captado.
7. A eficiência média de captação pelas diferentes alturas das estruturas utilizadas foi de 83,8%.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABDULAI, B. I.; STIGTER, C. J.; IBRAHIM A. A.; ADEEB, A. M.; ADAM, H. S. Evaporation calculations from lake Sennar (Sudan); a Search For a Meteorological Minimum Input Approach For Shallow Lakes. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. Wageningeng, v. 38, p 725-730, 1990.

ALBINATI, R. C. B. Aquicultura em pequenos açudes no semiárido. **Revista Bahia Agrícola**, v.7, n.2, 2006.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Estudio Fao Riego y Drenaje 56**. Roma: FAO, 2006. 323p.

ALVAREZ, V. M.; BAILLE, A.; MARTINEZ, J. M. M; GONZALEZ-REAL, M. M. Efficiency of shading materials in reducing evaporation from free water surfaces. **Agricultural Water Management**. 84, p. 229-239, 2006.

AMBRUS, L.; ANTAL, E.; KARSAI, H.A. New electronic evaporation and rain measuring equipment. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 35-43, 1981.

ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas Nordeste – **Abastecimento urbano de água**. Brasília, DF, 2006.p.

ANDRADE NETO, C. O. Proteção sanitária das cisternas rurais. In: **XI Simpósio Luso-Barsileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2004, Natal, Brasil. Anais Natal: ABES/APESB/APRH. 2004.

ANDRADE, M. C. A terra e o homem do Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. São Paulo. **Atlas**. 1986p.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**; 21^oed. Cd-Rom 2005.

ASA - ARTICULAÇÃO DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. Programa de formação e mobilização social para a convivência com o semi-árido: um milhão de cisternas rurais – P1MC. Recife: **Articulação no Semi-Árido Brasileiro**. 2001. 83p.

- BERNAT, C., COURCIER, R.; SABOURIN, E. **A cisterna de placas, técnicas de construção**. Recife: SUDENE/DPP, 2ª edição. 1993. 74p.
- BEZERRA, M. A. A. Projeto de Dissertação de Mestrado: **Barragem de Serrinha – Serra Talhada-PE**. UFPE, Recife, 2003. 70p.
- BLOEMEN, G. W. A High-Accuracy recording pan-evaporimeter and some of its possibilities. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 39, p. 159-173, 1978.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Câmara dos Deputados. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Estudo. Brasília. 2007. 24p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria N.º. 518**, de 25 de março de 2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 26 de mar. 2004. Seção 1, p. 266.
- BRITO, L. T. L.; AMORIM, M. C. C.; LEITE, W. M. **Qualidade de água para consumo humano**. Petrolina, 16 p, 2007. (Embrapa Semi-Árido. Documentos, 196).
- BROWN, J. A. H.; The potential for reducing open water evaporation losses: a review. In: **Hydrology and Water Resources Symposium** 1988, ANU, Canberra, Australia, p.108-115, 1988.
- BRUIN, H. A. R. de, **A simple model for shallow lake evaporation, journal of applied meteorology**, Boston, v. 17, p.1132-1134, 1978.
- BRUTSAERT, W.; YEH, G. T. Implications of a type of empirical evaporation formula for lakes and pans. **Water Resources Research**, Washington, v.6, n.4, p.1202-1208, 1970.
- BURIOL, G. A.; RIGHI, E. Z. SCHNEIDER, F. M.; STRECK, N. A.; HELDWEIN, A. B.; ESTEFANEL, V. Modificação da umidade relativa do ar pelo uso e manejo da estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n. 1, p.11-18, 2000.
- BURIOL, G. A.; STRECK, N. A.; PETRY, C.; SCHNEIDER, F. M. Transmissividade a Radiação Solar do Polietileno de Baixa Densidade Utilizado em Estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.1-4, 1995.
- BURMAN, R. D.; POCHOP, L. O. **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. New York: Elsevier, 1994. 278p.

CAMPELLO NETTO, M. S. C. **Manejo integrado de água no semi-árido brasileiro**. In: CIRILO, J. A. (Org.) O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. Recife: ABRH – Editora Universitária UFPE, 2007. 508p.

CHOW, T. L. Design and performance of a fully automated evaporation pan. **Agricultural and forest meteorology**, Amsterdam, v.68, n.3/4, p.187-200, 1994.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos avançados**. 2008, v.22, n.63, p. 61-82.

CLUFF, C. B. Engineering aspects of water harvesting research at the University of Arizona. In: **Proceedings of Water Harvesting Symposium**. Phoenix, Arizona, p. 27-39, 1975.

CONAMA. **Resolução CONAMA no. 20, julho de 1986** – Resolução CONAMA – 1984/86, Brasília: SEMA. 92 p. 1986.

CONDIE, S. A.; WEBSTER, I. T. The influence of wind stress, temperature, and humidity gradients on evaporation from reservoirs. **Water Resour Res.** v.33, p.2813-2822, 1997.

COOLEY, K. R. Evaporation reduction: summary of long-term tank studies. **J. Irrig. Drain. E-ASCE** 109, p.89-98, 1983.

DAIGO, K.; PHAOVATTANA, V. Evaporation and percolation control in small farm ponds in Thailand. **Jpn. Agric Res. Quart.** v.33, p.47–56, 1999.

DAMASCENO, L. M. O.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; DIAS, N. S.; FRANCO, J. L. D.; SILVA, E. F. F. Aspectos qualitativos da água do Rio Poty na região de Teresina, PI. **Revista Ciência Agronômica**, UFC, v. 41, n. 1, p. 139-148, 2010.

DNRM - Department of Natural Resources and Mines. **Methods for reducing evaporation from storages used for urban water supplies**. Final Report 41/12219/67346. Qld., Australia, 2003. 19p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for prediction of crop water requirements**, 2nd .ed., Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and drainage Paper, 24).

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Riego y Drenaje FAO 56**. Roma, 2006. 323p.

FIGUEIREDO, D. V. **Chuva ácida** – Setor de Controle da Poluição – SAP. Disponível em www.cetec.br/cetec/papers/chuva.html acessado em 22/12/2011.

FINN, N.; BARNES, S. Evaporation Trials for Gale Pacific. **CSIRO Textile and Fibre Technology**, 2002. 26p.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Acid deposition and related atmospheric chemistry at the São Paulo metropolis. Brazil: Part II – Contribution of formic and acetic acids. São Paulo, 2000. **Proceedings**: São Paulo: FRG, 2000.

FRENKIEL, J. Evaporation Reduction, Physical and Chemical principles and Review of Experiments. **UNESCO arid zone Research Series XXVII**, UNESCO, 1965. 77p.

GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G. E. J. R.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; URYVAEV, V. A. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, **World Meteorological Organization**. (Tech. Note N° 83, WMO-N° 201, TP 105), 1966. 121p.

GOULD, J.; NIESSEN-PETERSEN, E. **Rainwater catchment systems for domestic supply**. **Desing**: construction and implementation. London: Intermediate Technology Publications. 1999. 335 p.

HAAG, H. P. **Chuvas ácidas**. Fundação Cargill. Campinas, SP, 1985. p.

HANEREN, B. P. V., Automated recording system for evaporation pans. **Water Resources Bulletin**, v.18, p.533-536, 1982.

HIPSEY, M. R.; SIVAPALAN, M. Parameterizing the effects of a wind shelter on evaporation from small water bodies. **Water Resources**. v.39, p.1339, 2003.

HIPSEY, M. R.; SIVAPALAN, M.; CLEMENT, T. P. A numerical and field investigation of surface heat fluxes from small wind-sheltered waterbodies in Semi-Arid Western Australia. **Environ. Fluid Mech**. v.4, p.79-106, 2004.

HOUNAM, C. E. Comparison between pan and lake evaporation. Geneva, **World Meteorological Organization**. (Tech. Note N° 126, WMO-N° 354), 1973. 52p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em 15/11/2011.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas (1961 – 1990)**. Brasília: SPI/EMBRAPA. 1992. 84p.

IWANAMI, H. **Rainwater utilization system in building**. In CIBW62 SEMINAR, Tokyo Japan. Proceeding. 1985.

JALFIM, F. T. Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água da chuva em cisternas rurais na região semi-árida brasileira. **3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-árido**. UFPE. 2005.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e Sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. Dissertação (Mestrado). UFSC. Florianópolis-SC, 2005. 102p.

KOBERG, G. E.; FORD, M. E. Elimination of thermal stratification in reservoirs and resulting benefits. **United States Geological Survey**, paper 1809-M, 1965.

KOHLER, M. A., PARMALE, L. H., Generalized estimates of free-water evaporation. U.S. **Water Resources Research**, Saint Louis ,v.3, n.4, p.997-1005, 1967.

KOHLER, M.A.; NOREDENSON, T.J.; FOX, W.E. Evaporation from pans and lakes. Boston, **Weather Bureau Research**, 1955. 21p. (Paper, 38)

LAINING, I. A. F. **Evaporation Reduction from Water Storages**. Department of Agriculture, Western Australia, 1991. 39p.

LEITÃO, M. de M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M de; LEITÃO, T. J. V. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação para duas regiões da Paraíba, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.6, p.585-593, 2007.

LEMOS, J. J. S. Mapa da Exclusão Social no Brasil: radiografia de um país assimetricamente pobre. **Banco do Nordeste**: Fortaleza. 2008.

LINACRE, E. T. Climate and evaporation from crops. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Reton, v.93 (IR 4), p.61-79, 1967.

LINACRE, E.T. Data-sparse estimation of lake evaporation using a simplified penman equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.64, n.3/4, p.237-256, 1993.

LISBOA, H. M., COSTA, R. H. R., WALTORTT, L. M. B., Análise da qualidade das águas de chuva no campus universitário da UFSC no período de maio de 1991 a janeiro de 1992, **VII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v.2, p 961-865, São Paulo, 1992.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento da água de chuva para consumo não potável em edificações**. Mestrado (Dissertação). Escola Politécnica de São Paulo. 2004. 159 p.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H. & ANDRADE, E. M.; Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, Bacia do Acaraú, no semi-árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.25-31, 2007.

MELLO, W. Z.; MOTTA, J. S. T. Acidez na chuva. **Revista Ciência Hoje**, v.6, n.34, p. 40-43. 1987.

MELO, A. D. **Operação de reservatórios no semi-árido considerando critérios de qualidade de água**. Dissertação (Mestrado em Eng^a. Civil e Ambiental) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 2005. 89p.

MILANO, L. B. M.; LUCA, S. J.; ROSAURO, N. M. L.; & CASTRO, C. M. B. Análise da qualidade da água de chuva na região metropolitana de porto alegre e fatores meteorológicos associados. **Revista Brasileira de Engenharia**, caderno de Recursos Hídricos, v.7, n.2, p. 1989.

MOLLE, F. **Marcos históricos e reflexões sobre a açudagem e seu aproveitamento**. Recife: SUDENE, DPG/PRN/HME, 1994.p.

MONTASERI, M.; ADELOYE, A. J. A graphical rule for volumetric evaporation loss correction in reservoir capacity-yield-performance planning in Urmia region. **Iran Water Resource Management**, v.18, p.55-74, 2004.

MORTON, F.I. Operational estimates of areal evaporation and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 66, p. 1-76, 1983.

OLIVEIRA, G. X. S. **Relações entre medidas de evaporação de superfícies de água livre por evaporímetros e estimativas por métodos meteorológicos em duas regiões do Estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). ESALQ/USP. Piracicaba, 2009. 102 p.

OLIVEIRA, G.M. **Estudo da evaporação nas microrregiões do Cariri e Sertão da Paraíba**. Tese (Doutorado) – UFC, Campina Grande, PB, 2003. 203 p.

PACEY, A.; CULLIS, A. Rainwater harvesting, the collection of rainfall and runoff in rural areas. London: **Intermediate Technology Publications**. 1999. 216 p.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**. A - Series, London, v.193, p.120-145, 1948.

PERDOMO, C. C.; FIGUEREDO, E. A. P. **Critérios para a captação e aproveitamento da água da chuva na avicultura de corte**. Embrapa Suínos e Aves - Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2003. 4p.

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

PHENE, C. J.; CAMPBELL, R. B. Automating pan evaporation measurements for irrigation control. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 15, p. 181-191, 1975.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. Ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477p.

PINTO, F. A. **Medição da evaporação em tanques classe a instalados em ambientes aquático e terrestre**. Dissertação (Mestrado), UFC, 2009. p.

PORTO, R. L. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Porto Alegre: ABRH/UFRS, 1998. 419p.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S.S. **Instrumentos de medições climáticas**. São Carlos: UFSCAR, 2000. 29p.

POSSAS, J. M. C. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinhão-manso (*Jathropa curcas* L.) no Estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado). UFRPE. 2011. 76 p.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR R. J. On the assessment of the surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v. 100, p.81-92, 1972.

REBOUÇAS, A. **Uso Inteligente as Água**. São Paulo, Escrituras Editora, 207p, 2004.

ROBINSON, J. M.; HUBBARD, K. G. Soil water assessment model for several crops in high plains. **Agronomy Journal, Madison**, v. 82, p.1141-1148, 1990.

ROQUE, R. O. ; SANSIGOLO, C. A. Estimativas de evaporação do lago de taquaruçu, SP, pelo modelo conceitual de Morton. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p.21-28, 2001.

SANTOS, F. A. DOS; PASSERAT, S. A. M. B.; PORTO, R. Q.; ALMEIDA, C. DAS N. Estimativa e análise do volume dos pequenos açudes através de imagem de satélite e levantamento de campo na bacia hidrográfica do açude Sumé. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, ABRH. Campo Grande, 2009.

SARTORI, E. A critical review on equations employed for the calculation of the evaporation rate from free water surfaces. **Solar Energy**, Amsterdam, v.68, n.1, p.77- 89, 2000.

SCHWINGEL, F.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. Comparação de medidas de evaporação do tanque classe A com parafuso micrométrico e com sistema automático, In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 12, Fortaleza: Editora da SBAGo, 2001. p. 415-416.

SLEIGHT, R. B. Evaporation from the surfaces of water and river-bed materials. **Journal of Agricultural Research**, v.10, p.209-262, 1917.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª Edição. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.p.

STEWART, R. B.; ROUSE, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds, **Water Resources Research**, Saint Louis, v. 12, p. 623-628, 1976.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A.; SEDIYAMA, G. C.; CECON, P. R.; MATERÁN, F. J. V.; MARTINEZ, M. A. Influência da presença da bordadura e dos níveis de água na evaporação obtida em minievaporímetros. **Revista Ceres**, v.58, n.2, p. 161-167, 2011.

TEIXEIRA, F. J. C. **Modelos de gerenciamento de recursos hídricos: análises e propostas de aperfeiçoamento do sistema do Ceará**. Brasília: Banco Mundial e Ministério da Integração Nacional. 2004. 84p. (Série Águas do Brasil, 6).

VIANA, L. F. G.; PINHO, A. I. M.; ALEXANDRE, D. M. B.; ARAÚJO, J. C. Identificação dos principais usos de pequenos açudes a montante do açude Benguê, Ceará, Brasil. **XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011**. Cuiabá - MT, Brasil, 24 a 28 de julho 2011.

VIEIRA, M. R.; LOPES, W. T. A.; SILVA, M. R. S.; LIMA, J. E. F. W. Critérios para alocação de pontos de monitoramento de qualidade de água. In: **VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Anais. São Luís. 30 de novembro a 03 de dezembro. 2004.

VILLA NOVA, N. A.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Evapopluviômetro: novo sistema de medida da evaporação em tanque Classe A. **Irriga**, Botucatu, v.10, n.1, p.76-81, 2005.

VOLPE, C. A.; OLIVEIRA, A. D. Relações entre a evaporação medida em diferentes evaporímetros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.2, p.245-252, 2003.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; ROWE, C. M.; O'DONNELL, J. Statistic for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v.90, n.5, p.8995-9005, 1985.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to meteorological instrument and observing practices**. Genebra: WMO, 1971. 355 p. (WMO n° 8, TP,3).