

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CÉLIA SILVA DOS SANTOS

**Conservação de solo e água em unidade de reuso do semiárido para proteção ambiental,
produção agrícola e inclusão social**

RECIFE

2015

CÉLIA SILVA DOS SANTOS

**Conservação de solo e água em unidade de reuso do semiárido para proteção ambiental,
produção agrícola e inclusão social**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Prof. Dr. Abelardo Antônio Assunção Montenegro

Co-orientador:

Dr. Ricardo José Araújo Miranda

RECIFE

2015

CÉLIA SILVA DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

**Conservação de solo e água em unidade de reuso do semiárido para proteção ambiental,
produção agrícola e inclusão social**

COMISSÃO JUGADORA

Orientador: _____

Prof. Dr. Abelardo A. A. Montenegro
Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE

Coorientador: _____

Prof. Dr. Ricardo José Araújo Miranda
Instituto Federal de Pesqueira/IFPE

Examinadores:

Prof. Dr. Márcio Aurélio Lins dos Santos
Unidade acadêmica de Arapiraca/UFAL

Prof. Dr. José Amilton Santos Junior
Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE

Profa. Dr. Elvira Maria Régis Pedrosa
Departamento de Engenharia Agrícola/UFRPE

À memória de minha mãe que me ensinou a viver com decência, responsabilidade e amor, ao meu pai que é tudo em minha vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Como já dizia Anitelli: “Sonho parece verdade quando a gente esquece de acordar”. Hoje, vivo uma realidade que parece um sonho, mas foi preciso muito esforço, determinação, paciência, perseverança e ousadia para chegar até aqui, e nada disso eu conseguiria sozinha. Minha eterna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que este sonho pudesse ser concretizado.

Agradeço primeiramente a DEUS, mas não somente por este trabalho de dissertação, e sim por ter me guiado por todos os caminhos que trilhei desde a entrada nesta Universidade, que com sua luz e mãos protetoras me acalmaram e me fizeram forte até a última palavra escrita.

À memória de minha mãe querida e amada que sempre me incentivou desde pequena nessa longa caminhada da vida, sempre se fazendo presente nas minhas dúvidas e nos momentos difíceis. Saudades eternas!

A meu pai que representa tudo em minha vida, meu infinito agradecimento. Sempre acreditou em minha capacidade, sempre me incentivando. Isso só me fortaleceu e me fez tentar, não ser a melhor, mas a fazer o melhor de mim. Obrigada pelo amor incondicional!

A meus irmãos, e aos meus sobrinhos Rívia Carla, Thyago Kleyton e Victor Sabino tão amados, por estarem sempre me passando boas energias, além de só me desejarem coisas boas. Amo vocês!

Agradeço a meu orientador Abelardo Montenegro. Quero expressar o meu reconhecimento e admiração pela sua competência profissional. Grata pela contribuição acadêmica durante a construção do experimento e pelo ensinamento durante o mestrado.

Ao meu co-orientador Ricardo José Araújo Miranda.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida. Ao Coordenador Mario

Rolim, e ao Vice-Coordenador Ênio França exemplos de determinação e entusiasmo pela pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao CNPq que financiou a pesquisa.

Agradeço ao amigo Adriano Normandia pelo comprometimento e colaboração acadêmica na condução do experimento, grata pela disponibilidade, atenção, paciência e amizade.

A professora Ana Marinho. Grata pela contribuição e pelo carinho!

A professora Elvira Pedrosa, pelas contribuições na Estatística da pesquisa e disponibilidade sempre presente!

A professora Rosemilda e sua família que me abraçaram quando mais precisei, a qual me adotou como filha em Mutuca. Fico imensamente agradecida pelo apoio e cuidado. Que Deus abençoe vocês!

Ao Sr. Cícero que de forma humana me ajudou com as atividades de campo. Quero expressar o meu agradecimento pelo apoio e força nos momentos mais difíceis.

As minhas amigas, Michelle Silva, Daniella Pereira, Ellen Lopes, Jania Camilo e Patrícia Ferreira por todo apoio e cumplicidade, além de só quererem o meu bem e mesmo quando distantes, estavam presentes em minha vida. Obrigada pela amizade!

Aos amigos do grupo LAS, Daniella Pereira, Adriana Guedes, Renato Rodrigues, Robertson Fontes, Adriano Normandia, José Roberto, Valdemir Junior e aos alunos de iniciação científica, que durante todo tempo de convívio soubemos construir uma grande amizade, companheirismo e respeito.

A meus amigos do mestrado, pelos momentos divididos juntos, especialmente, a Aninha Villar, Marcelo Schuler, Wanderson Oliveira, Eliane Cristina, Diego Araújo, Francisco Sanguino, Renato Rodrigues, Eulampio Filho. Obrigada por dividir comigo as angústias e alegrias e ouvirem minhas bobagens. Foi bom poder contar com vocês!

A Manuel Cunegundes, funcionário público sempre prestativo e eficiente, um exemplo a ser seguido.

Agradeço a todos da banca avaliadora, Márcio Aurélio, Elvira Pedrosa e José Amilton. Grata pelas contribuições!

Enfim, a todos que me contribuíram de maneira direta ou indireta.

Ninguém vence sozinho... OBRIGADA A TODOS!

“Que todo o meu ser louve ao Senhor,
e que eu não esqueça nenhuma das suas bênçãos!”

Salmos (103:2).

“Só crescemos à medida que nos damos a algo mais alto que nós mesmos”.

(Antoine de Saint-Exupéry).

RESUMO

SANTOS, C. S. **Conservação de solo e água em unidade de reuso do semiárido para proteção ambiental, produção agrícola e inclusão social**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE.

A utilização de efluentes domésticos tratados para fins agrícolas pode favorecer o desenvolvimento de uma região, particularmente nos casos de escassez de água. Os benefícios econômicos que o reuso pode proporcionar estão relacionados ao aumento da área cultivada e da produtividade agrícola, decorrente do aporte de nutriente encontrados nestas águas. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver ações de manejo de irrigação e reuso agrícola de recursos hídricos em pequena comunidade rural do semiárido Pernambucano, com ênfase na produção de oleaginosas perenes. O experimento foi conduzido em condições de campo em Mutuca, Distrito do município de Pesqueira-PE. A área experimental corresponde a 72,45 m², onde estão dispostos três lisímetros, sendo dois lisímetros de lençol freático de carga constante e um lisímetro de drenagem. Nos lisímetros de drenagem e lençol freático de carga constante foram plantadas mudas de moringa e no segundo lisímetro de lençol freático de carga constante foi plantado grama, sendo instaladas uma bateria de tensiômetros e cápsulas extratoras nas profundidades de 20, 40 e 60 cm para monitoramento dos potenciais do solo e da solução do solo. A ET_c foi contabilizada no intervalo de dois dias. A ET_o foi estimada pelo método de Penman Monteith e medida pelo método lisimétrico padrão-grama. A partir da razão entre a ET_c/ET_o obteve-se o K_c para os diferentes períodos ao longo do ciclo da cultura, que pelo método de estimativa de Penman Monteith nos lisímetros de drenagem e lençol freático de carga constante foram encontrados valores médios de 0,75;1,75;1,73 e 0,85;1,1;0,94 para as fases I, II, III, respectivamente. Os coeficientes de cultivo (K_c) da moringa pelo método lisimétrico padrão-grama nos lisímetros de drenagem e lençol freático, apresentaram valores médios de K_c correspondentes a 0,73,1,63,1,61 e 0,77,1,12,1,04 para as fases I, II, III respectivamente. Os lisímetros de drenagem e lençol freático de carga constante permitiram determinar o K_c específico para a cultura da moringa, demonstrando ser uma ferramenta eficiente no manejo da irrigação.

Palavras-chave: águas residuárias, manejo de irrigação, Moringa *oleífera*

ABSTRACT

SANTOS, C. S. **Soil and water conservation in semi-arid reuse unit for environmental protection, agricultural and social inclusion.** 2015. Dissertation (Master's in Agricultural Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco-UFRPE.

The reuse of treated domestic wastewater for agricultural purposes may contribute to the development of a region, particularly in cases of water shortage. The economic benefits that reuse can provide are related to increased acreage and agricultural productivity due to the nutrient intake found in these waters. The objective of this research was to develop management actions irrigation and agricultural reuse of water resources in small rural community of Pernambuco semi-arid, with emphasis on producing oil perennial. The experiment was conducted under field conditions in the Mutuca-PE district Pesqueira municipality. The experimental area corresponds to 72.45 m², which are arranged three lysimeters, two water table lysimeters constant load and a drainage lysimeter. In drainage lysimeters and constant water table moringa seedlings was planted and second groundwater lysimeter of constant grass was planted, and installed a battery of tensiometers and extracting cups at depths of 20, 40 and 60 cm for monitoring potential soil and the soil solution. The ET_c was recorded in two days interval. The ET_o was estimated by Penman Monteith method and measured by standard grass lysimeter. From the ratio of ET_c / ET_o obtained the K_c for different periods throughout the crop cycle, which by Penman Monteith estimation method in drainage lysimeters and constant water table produced average values of 0.75; 1.75; 1.73 and 0.85; 1.1; 0.94 for phases I, II, III, respectively. Crop coefficients (K_c) of moringa for standard grass lysimeter method in drainage lysimeters and constant water table showed K_c mean values 0.73; 1.63; 1.61 and 0.77; 1.12; 1.04 for phases I, II, III respectively. Drainage lysimeters and constant water table allowed to determine the specific K_c for the cultivation of moringa, proving to be an effective tool in the irrigation management.

Keywords: wastewater, irrigation management, *Moringa oleífera*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração dos diferentes conceitos de evapotranspiração.....	36
Figura 2 - Curva generalizada do coeficiente hídrico.....	38
Figura 3 - Mapa com localização do Distrito de Mutuca-PE.....	41
Figura 4 - Precipitação pluvial e umidade relativa do ar durante o período de condução do experimento.....	42
Figura 5 - Temperaturas do ar máxima, média e mínima durante o período de experimentação.....	42
Figura 6 - Croqui da unidade experimental e respectivo locais de instalação dos lisímetros..	43
Figura 7 - Estação agrometeorológica disposta na unidade experimental.....	44
Figura 8 - Curvas de retenção no lisímetro de lençol freático (Gramma) 0-20 (A) e 20-40 (B), lisímetro de lençol freático (Planta) 0-20 (C) e 20-40 (D), e lisímetro de drenagem (Planta) 0-20 (E) e 20-40 (F), em cm de profundidade.....	46
Figura 9 - Lisímetro de lençol freático de carga constante para quantificação da ETo padrão-gramma, com reservatório de alimentação.....	47
Figura 10 - Lisímetro colocado na capacidade de campo e coberto por lona plástica.....	48
Figura 11 - Separação das camadas de solo (A); Caracterização dos horizontes do solo (B); Medição do horizonte do solo 0,80 m (C); Caracterização das diferentes camadas do solo (D).....	49
Figura 12 - Fases de construção do lisímetro de drenagem e do sistema de drenagem.....	50
Figura 13 - Manta TNT e sistema de drenagem no fundo do lisímetro (A), preenchimento da camada de brita (B) e acomodação do solo dentro do lisímetro (C).....	51
Figura 14 - Lisímetro de lençol freático de carga constante, caixa de polietileno (A), tanque intermediário (B), tanque medidor (C) e conjunto lisimétrico completo (D) instalado em Mutuca- PE.....	52

Figura 15 - Disposição das plantas dos lisímetros e as de bordadura (A) e implantação da cultura (B).....	53
Figura 16 - Estação de tratamento de esgoto (A) e reservatório do efluente para irrigação (B).....	54
Figura 17 - Bancada superior contendo o efluente para irrigação (A), bancada inferior contendo o efluente para irrigação (B).....	55
Figura 18 - Câmara de Scholander (A) e posicionamento da folha para leitura do potencial hídrico (B).....	61
Figura 19 - Distribuição dos tensiômetros nos lisímetros de drenagem e lençol freático (A) e no lisímetro de lençol freático padrão-grama (B).....	62
Figura 20 - Vista parcial das cápsulas extratoras instaladas nos respectivos lisímetros.....	63
Figura 21 - Coleta da solução do solo, através de bomba a vácuo manual.....	63
Figura 22 - Monitoramento das condutividades elétricas do efluente tratado e da água de abastecimento local.....	64
Figura 23 - Participação dos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite (A, B).....	66
Figura 24 - Maquete construída com intuito de ensino-aprendizagem pelos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, em Mutuca-PE.....	66
Figura 25 - Capacitação sobre a importância da água, usos e desperdícios, na Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, Distrito de Mutuca-PE.....	67
Figura 26 - Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola (A,B).....	68
Figura 27 - Capacitação na leitura de potencial hídrico da Moringa (A) e monitoramento do efluente drenado no lisímetro de drenagem (B), em Mutuca-PE.....	69
Figura 28 - Evapotranspiração de referência diária estimada e medida pelos métodos diretos e indiretos, Mutuca-PE.....	71

Figura 29 – Análise de correlação da ETo diária acumulada medida pelo lisímetro de lençol freático Padrão-Grama pelos métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, Mutuca-PE.....	73
Figura 30 - Variação da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de dois dias determinada pelo lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.....	75
Figura 31 – Variação da precipitação pluvial, umidade relativa do ar e radiação solar durante o período de condução do experimento, Mutuca-PE.	76
Figura 32 - Variação da evapotranspiração da cultura (ETc) determinada pelo lisímetro de lençol freático, Mutuca-PE.....	78
Figura 33 - Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa em lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.....	79
Figura 34 - Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa em lisímetro de lençol freático de carga constante, Mutuca-PE.....	81
Figura 35 - Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa em lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.....	82
Figura 36 - Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa em lisímetro de lençol freático de carga constante, Mutuca-PE.....	83
Figura 37 – Relação do potencial hídrico foliar médio em diferentes horários, aos 307 DAT na Moringa <i>oleífera</i> cultivada em lisímetros de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.....	85
Figura 38 – Relação do potencial hídrico foliar médio analisado em diferentes horários, aos 308 DAT na Moringa <i>oleífera</i> cultivada no lisímetro de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.....	86
Figura 39 – Relação do potencial hídrico foliar médio analisado em diferentes horários, aos 309 DAT na Moringa <i>oleífera</i> cultivada no lisímetro de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.....	87

Figura 40 - Variação temporal dos potenciais de pressão, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (padrão-grama), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.....	89
Figura 41 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (padrão-grama), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.....	90
Figura 42 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (planta), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.....	91
Figura 43 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (planta), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.....	92
Figura 44 - Variação temporal dos potenciais mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de drenagem (planta), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.....	93
Figura 45 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de drenagem (planta), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.....	94
Figura 46 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de lençol freático (grama) em três profundidades, Mutuca-PE.....	95
Figura 47 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de lençol freático (Planta) em três profundidades, Mutuca-PE.....	96
Figura 48 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de drenagem (Planta) em três profundidades, Mutuca-PE.....	97
Figura 49 – Valores de condutividade elétrica medida em campo em diferentes efluentes da área experimental, Mutuca-PE.....	100
Figura 50 – Evolução do crescimento da moringa em altura de planta com presença e ausência de irrigação com água residuária.....	102

Figura 51 – Evolução do crescimento da moringa em diâmetro caulinar com presença e ausência de irrigação com água residuária.....	103
Figura 52 – Representação participativa dos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, Mutuca-PE.....	104

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Características físicas do perfil do solo dos lisímetros dispostos na área experimental nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade..... 45
- Tabela 2** - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de desempenho (c), para as correlações entre ETo do lisímetro de lençol freático de carga constante pelos métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A..... 73
- Tabela 3** - Valores médios da evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa oleífera*, por fase fenológicas 77
- Tabela 4** - Valores médios da evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa oleífera*, por fase fenológicas 78
- Tabela 5** - Resumo de análise de variância e médias para potencial hídrico avaliados na cultura da moringa às 4, 6, 8, 10 e 12 horas aos 307, 308, 309 dias após o transplante (DAT). 84
- Tabela 6**- Análise de variância multivariada (MANOVA) dos potenciais mátricos e de pressão a partir dos 260 até 408 dias após o transplante (DAT).....88
- Tabela 7** - Valores médios da condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} nos lisímetros.....98
- Tabela 8** - Análise descritiva dos parâmetros biométricos na cultura da moringa..... 101

SUMÁRIO

1.0 – INTRODUÇÃO	20
2.0 – REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 - Manejo de irrigação	22
2.1.1 - Evapotranspiração (ET)	23
2.1.2 - Evapotranspiração de referência (ETo)	24
2.1.3 - Evapotranspiração da cultura (ETc).....	25
2.1.4 - Coeficiente de cultivo	26
2.1.5 - Potencial hídrico na planta.....	28
2.1.6 - Movimento de água no solo	29
2.1.7 - Lisimetria	30
2.2 – Reuso de água.....	33
2.2.1 - Reuso de água em comunidades rurais do Semiárido Brasileiro	33
2.2.2 - Reuso de água na agricultura	34
2.3 – Cultivo de oleaginosas	36
2.3.1 - Viabilidade para Semiárido Brasileiro	36
2.3.4 - Cultura da Moringa	37
2.4 - Proteção ambiental e inclusão social em unidade de reuso agrícola	39
3.0 – METODOLOGIA	40
3.1 – Caracterização da área experimental	40
3.1.1 – Aspectos climáticos	41
3.1.2 – Dimensões da área e croqui experimental	43
3.1.3 – Instrumentação utilizada na área.....	44
3.1.4 – Características do solo dos lisímetros	44
3.2 – Lisímetro de lençol freático padrão-grama existente na área.....	47
3.3 – Construção e instalação dos novos lisímetros	48

3.3.1 – Lisímetro de drenagem	48
3.3.2 – Lisímetro de lençol freático de carga constante.....	51
3.4 – Implantação da cultura e do sistema de irrigação	53
3.5 – Determinação da evapotranspiração pelos lisímetros	56
3.5.1 – Determinação da evapotranspiração de referência (ET _o) em lisímetro de lençol freático padrão-grama	56
3.5.2 – Determinação da evapotranspiração da cultura (ET _c) no lisímetro de lençol freático	56
3.5.3 – Determinação da evapotranspiração da cultura (ET _c) no lisímetro de drenagem	57
3.6 – Manejo da irrigação para o lisímetro de drenagem	57
3.7 – Determinação da evapotranspiração de referência (ET _o) pelas equações empíricas	58
3.7.1 – Penman-Monteith.....	58
3.7.2 – Hargreaves-Samani	59
3.7.3 – Tanque Classe A	59
3.8 – Determinação do Coeficiente de cultivo (K _c).....	60
3.9 – Determinação do status hídrico das plantas	60
3.10 – Monitoramento dos potenciais mátricos do solo.....	61
3.10.1 – Monitoramento da salinidade nos lisímetros.....	62
3.11 – Monitoramento da salinidade do efluente tratado.....	63
3.12 – Análises biométricas da moringa	64
3.13 – Análise dos dados quantitativos	64
3.14 – Caracterização da comunidade rural de Mutuca	66
3.14.1 – Procedimentos metodológicos.....	67
4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1 - Evapotranspiração de Referência (ET _o)	68
4.2 - Correlação da ET _o acumulada entre o lisímetro de lençol freático Padrão Grama e os métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A em intervalo de dois dias	69

4.3 - Evapotranspiração da cultura (ETc) da Moringa em lisímetro de drenagem	72
4.4 - Evapotranspiração da cultura (ETc) da Moringa em lisímetro de lençol freático de carga constante.....	74
4.5 – Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa oleífera	76
4.6 - Potencial hídrico foliar em plantas de Moringa <i>oleífera</i>	80
4.7 - Monitoramento dos potenciais do solo nos lisímetros.....	84
4.8 - Monitoramento da salinidade do solo nos lisímetros.....	91
4.8.1 - Monitoramento da salinidade das águas	96
4.8.2 – Análise de crescimento da cultura.....	97
4.9 – Atividades de Extensão Rural	101
4.9.1 – Educação	101
4.9.2 – Meio Ambiente.....	102
4.9.3 – Proteção Ambiental	103
4.9.4 – Tecnologia e Produção	104
5.0 – CONCLUSÕES	106
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

1.0 – INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos no Brasil correspondem a uma vazão da ordem de $169.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, cerca de 12% do total mundial. Deste total, aproximadamente 9,4% se encontra na região norte do país onde vive 5% da população brasileira e, os 2,6% restantes estão distribuídos nas demais regiões do país. Desse volume, 64,7% da água no Brasil é utilizada no setor agrícola, 24,9% usada para o consumo humano e dessedentação de animais e 13,9% utilizada no setor industrial (Rocha et al., 2010). Dessa forma, apesar de uma aparente abundância do recurso água, sua distribuição é muito irregular (Tundisi, 2003). As regiões semiáridas brasileira sofrem com a escassez de água, tanto para consumo quanto para uso agrícola.

Segundo Rijsberman (2006), no século XX, a população mundial triplicou ao passo que o consumo de água aumentou em seis vezes. A conclusão de diversos estudos aponta que dois terços da população mundial serão afetados pela escassez hídrica nas próximas décadas (Nobre et al., 2010).

Contudo a escassez dos recursos hídricos, seja por problemas climáticos, seja pelo crescente consumo de água ou pela crescente deterioração de sua qualidade, tem se tornado cada dia mais agravante, tanto na quantidade quanto na qualidade do recurso água em todo o mundo. Em contrapartida, os efluentes domésticos apresentam aumento crescente e, dessa forma, podem ser vistos como uma alternativa de uso potencial na agricultura (Rocha et al., 2010).

Diante desse panorama é evidente a necessidade de se utilizar esse recurso natural com maior racionalidade, seja através de técnicas que permitam um aproveitamento mais eficiente da água em diversas atividades humanas, entre elas, a irrigação, ou através da busca de fontes alternativas de água (Duarte, 2006).

De acordo com Leite et al. (2005), atualmente, procura-se estudar o uso de efluentes de esgotos domésticos na agricultura, objetivando-se manter o equilíbrio em relação aos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos naturais, contribuindo para a sustentabilidade humana e ambiental.

Assim, a reutilização de efluentes oriundos de esgoto doméstico para irrigação é uma prática amplamente estudada e recomendada, por diversos pesquisadores, em todo mundo, como alternativa viável para suprir as necessidades hídricas e, em grande parte, nutricionais da planta (Hespanhol, 2001, Capra & Scicolone 2004).

Segundo Van Der Hoek et al. (2002), as maiores vantagens do aproveitamento da água residuária para fins agrícolas residem na conservação da água disponível e na possibilidade de aporte e reciclagem de nutrientes (reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos), contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Observando o tema, Ayres & Westcot (1991) dizem que a redução da disponibilidade de recursos hídricos de boa qualidade e o aumento da produção de despejos domésticos e industriais tem impulsionado o uso de águas de qualidade inferior na irrigação, cuja avaliação se torna necessária.

Dessa maneira, o sucesso na agricultura irrigada com utilização de reuso agrícola depende de inúmeras variáveis, que devem ser estudadas antes da implantação de um projeto de irrigação. Para isso é necessário que se tenha informações precisas sobre vários parâmetros básicos, dentre os quais: a evapotranspiração de referência (ET_o), a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o coeficiente da cultura (K_c) (Chaves et al., 2005).

Essas variáveis básicas da irrigação dependem dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo, podendo ser medida diretamente (lisímetros) e indiretamente (equações combinadas) por vários métodos. Tais fatos reforçam a idéia de que o somatório dessas informações irão refletir em economia para o produtor, pois a maximização no rendimento das espécies vegetais depende, entre outros, do dimensionamento do sistema de irrigação e do conhecimento da demanda hídrica da cultura (Chaves, 2005).

Sendo assim são de fundamental importância o reuso agrícola na irrigação e a determinação da quantidade de água a ser aplicada, que são decisões a serem tomadas com base no conhecimento do sistema solo-água-planta-atmosfera. É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água, a determinação das fases de seu desenvolvimento e maior consumo de água e os períodos críticos quanto à falta ou ao excesso que podem resultar em queda de produção (Bernardo, 2006).

No caso do manejo de irrigação da *Moringa oleífera*, a avaliação da necessidade da hídrica da cultura é de fundamental importância, devido ser uma espécie que pode ser uma alternativa para a região do semiárido, uma vez que seu sustento é proveniente, principalmente, de atividades de agricultura e pecuária, podendo assim, utilizá-la na agricultura familiar. No que diz respeito à *Moringa*, essas informações são inexistentes no Brasil. Com base nisso, objetivou com este trabalho desenvolver ações de manejo de irrigação e reuso agrícola de recursos hídricos em pequena comunidade rural do semiárido Pernambucano, com ênfase na produção de oleaginosas.

2.0 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Manejo de irrigação

Para Chaves (2005), o sucesso na agricultura irrigada depende de inúmeras variáveis, que devem ser estudadas antes da implantação de um projeto de irrigação. Pode-se citar a evapotranspiração de referência (ET_o), a evapotranspiração da cultura (ET_c) e o coeficiente da cultura (K_c).

Desse modo, torna-se necessário o uso de coeficientes adequados, especificamente de coeficientes de cultura (K_c) determinados em função da evapotranspiração da cultura (ET_c) e da evapotranspiração de referência (ET_o) cujas estimativas permitem avaliar quantidades de água a serem dotadas aos cultivos (Santos et al., 2005). Essas variáveis básicas da irrigação dependem dos elementos meteorológicos, da cultura e do solo, podendo ser medida diretamente por meio de lisímetros e indiretamente por meios de equações combinadas por vários métodos.

Tais fatos reforçam a idéia de que os somatórios dessas informações irão refletir em economia para o produtor, pois a maximização no rendimento das espécies vegetais depende, entre outros, do dimensionamento do sistema de irrigação e do conhecimento da demanda hídrica da cultura (Chaves, 2005).

A quantificação do consumo de água para as culturas é de suma importância para agricultura, pois este terá aplicações no zoneamento agrícola, monitoramento agroclimático, manejo de irrigação e drenagem e estudos hidrológicos em geral (Pereira et al., 2002).

A irrigação é uma operação agrícola para atendimento das necessidades de água das culturas, sendo fundamental nos sistemas de produção de regiões com ocorrência de secas regulares. A possibilidade de estimar corretamente a evapotranspiração e dessas estimativas determinar a quantidade de água a ser suprida ao solo é de essencial importância para o correto manejo das irrigações, pois tanto o déficit ou o excesso de água resultam em baixas produções (Pereira et al., 2002).

Assim, para manejá-la corretamente é de fundamental importância saber, de maneira precisa, a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para atender as necessidades das culturas.

2.1.1 - Evapotranspiração (ET)

Dos componentes do ciclo hidrológico, a evapotranspiração é um dos principais e se refere ao total de perda de água para a atmosfera, da superfície do solo e das plantas pela combinação simultânea da evaporação com a transpiração (Sediyama, 1998). Também denominados uso consuntivo (Jensen et al. 1990), dados de evapotranspiração são essenciais para estimativas da necessidade de água para irrigação, uso industrial e municipal, dimensionamento de sistemas de reutilização de águas residuárias, estimativas de produção de água em bacias hidrográficas, depleção de cursos d'água nas bacias fluviais, etc.

Silva et al. (2003) comentam que informações quantitativas da evapotranspiração são necessárias em vários campos das ciências que tratam do manejo da água, como planejamento, construção e operação de reservatórios. Além disso, Lecina et al. (2003) afirmam que estimativas precisas da evapotranspiração podem resultar em menores gastos com água e recursos financeiros, tanto no planejamento quanto no manejo de áreas irrigadas.

A evaporação é um processo no qual a água, no estado líquido, é convertida em vapor e removida das superfícies evaporantes, tais como rios, lagos, superfícies do terreno e vegetação úmida, entre outras. Para que as moléculas de água passem para o estado de vapor, uma quantidade de energia é necessária, a qual provém basicamente da radiação solar, que é considerado o principal elemento climático que controla a evapotranspiração quando a água não é fator limitante. Além disso, a evaporação é dependente da diferença entre a pressão de vapor da água na superfície evaporante e na atmosfera, provocada pela constante movimentação das massas de ar que envolve a superfície, dificultando, desta forma, a saturação desta camada (Pereira et al., 1997).

Quando a superfície evaporante é a própria superfície do terreno, o grau de recobrimento pela planta e a quantidade de água disponível para evaporação são fatores que também afetam o processo. De acordo com Allen et al. (1998), quando a quantidade de água no solo é suficiente para atender a demanda evaporimétrica, a evaporação é dependente basicamente de parâmetros meteorológicos. No entanto, nas situações em que a camada superficial do solo seca rapidamente em virtude de um grande intervalo entre os eventos de chuva ou irrigação, a evaporação decresce, podendo cessar completamente em poucos dias.

O processo de transpiração é definido como sendo a vaporização da água na fase líquida contida no vegetal e utilizada nos diferentes processos metabólicos necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas e sua remoção para a atmosfera. Segundo Allen et

al. (1998), a vaporização ocorre no interior da folha, em espaços intercelulares, e é controlada pela abertura estomática.

Da mesma forma que a evaporação, a transpiração depende do gradiente de pressão de vapor entre o vegetal e a atmosfera e também do vento. Além disso, fatores como a capacidade do solo de conduzir água, favorecendo a absorção desta pelas raízes, características da planta e seu estágio de desenvolvimento e práticas de cultivo também influenciam o processo. Em uma superfície vegetada, os processos da evaporação e transpiração ocorrem simultaneamente e a união desses processos é denominada evapotranspiração (Viana, 2000), tornando-se muitas vezes difícil a separação dos dois processos físicos.

Na fase de pós-plantio, quando a superfície vegetada ainda é muito pequena e conseqüentemente a área foliar, a evaporação é a componente mais importante. A partir daí, com o aumento da cobertura do solo pela planta, a transpiração se torna a componente principal, podendo ser responsável por até 90% do processo de evapotranspiração.

Apesar de bastante conhecida, diferentes conceitos de evapotranspiração são largamente empregados na literatura. Além do termo evapotranspiração (ET) conceituado anteriormente, são comuns os termos evapotranspiração potencial ou de referência (ET_p ou ET_o) e ainda evapotranspiração de cultura sob condições padrões (ET_c) e sob condições não preconizadas (ET_c adj).

2.1.2 - Evapotranspiração de referência (ET_o)

O primeiro conceito de evapotranspiração potencial foi apresentado por Thornthwaite (1948), que definiu o fenômeno como sendo a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecida, completamente coberta com vegetação em fase com desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva local.

Na forma original apresentada pelo boletim FAO-24 (Doorenbos & Pruitt, 1977), a ET_o refere-se a evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para a obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficiente de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas. Desta forma, o conceito de ET_o está correlacionado com a grama, em crescimento ativo e mantida a uma altura uniforme de 8 a 12 cm de altura, cobrindo plenamente a superfície e sem limitação de água no solo.

Jensen et al. (1990) definem E_{To} como sendo a taxa com que a água, se disponível, seria removida da superfície do solo e de uma planta específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência. É normalmente expressa como a taxa de troca de calor latente por unidade de área ou lâmina de água evaporada.

Definição semelhante é apresentada por Sentelhas (2001), na qual a E_{To} é a taxa de evapotranspiração que ocorre em uma superfície de referência (padrão), definida como sendo uma extensa superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo (índice de área foliar igual a 2,88), cobrindo totalmente a superfície do solo e bem suprida de água. Nessas condições, a E_{To} constitui um parâmetro climático que expressa o poder evaporante da atmosfera em um determinado local, em cada época do ano, sem levar em consideração fatores do solo e da planta.

2.1.3 - Evapotranspiração da cultura (E_{Tc})

A evapotranspiração de cultura (E_{Tc}) é a aquela que ocorre em uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde a sementeira até a maturação, sem que haja influência de fatores que possam comprometer negativamente o seu desenvolvimento. Ao contrário da E_{Tc} , a E_{Tc} adj representa a evapotranspiração de uma mesma cultura mas que não necessariamente esteja nas condições padrões, ou seja, sob condições de advecção de calor sensível, deficiência hídrica e/ou nutricional e com ocorrência de pragas e doenças.

A Figura 1, apresentada por Sentelhas (2001) e adaptada de Allen et al. (1998), ilustra os diferentes conceitos da evapotranspiração. De acordo com Allen et al. (1998) e observando a Figura 1, pode-se dividir os fatores que influenciam a evapotranspiração em três categorias: fatores climáticos: radiação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento; fatores da cultura: tipo, variedade e estágio de desenvolvimento, além de altura, rugosidade, capacidade de reflexão, capacidade de cobertura do solo e características das raízes; fatores ambientais e de manejo: salinidade no solo, fertilidade, presença de camadas impermeáveis no perfil, incidência de pragas e doenças, além de cobertura, densidade de plantio e conteúdo de água no solo.

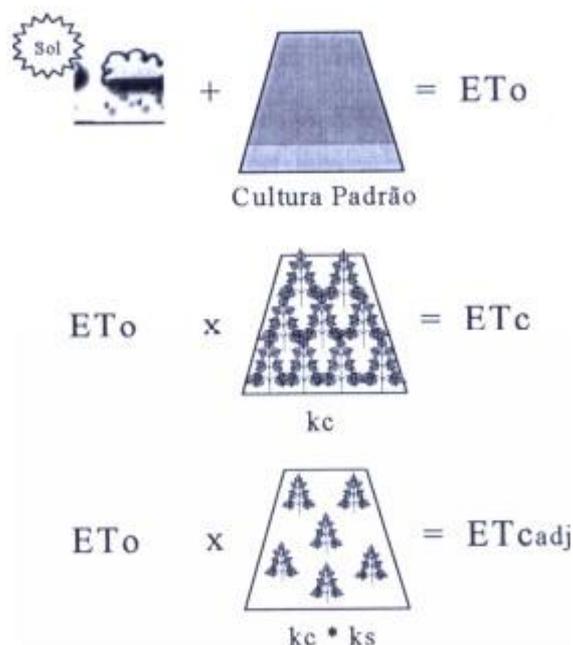


Figura 1 - Ilustração dos diferentes conceitos de evapotranspiração.

2.1.4 - Coeficiente de cultivo

A razão entre evapotranspiração ótima ou da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_0) se denomina coeficiente de cultura (K_c). Os principais fatores que o afetam são as características intrínsecas da cultura, e as condições climáticas locais, que é dada pela equação (2) (Doorenbos & Pruitt, 1997):

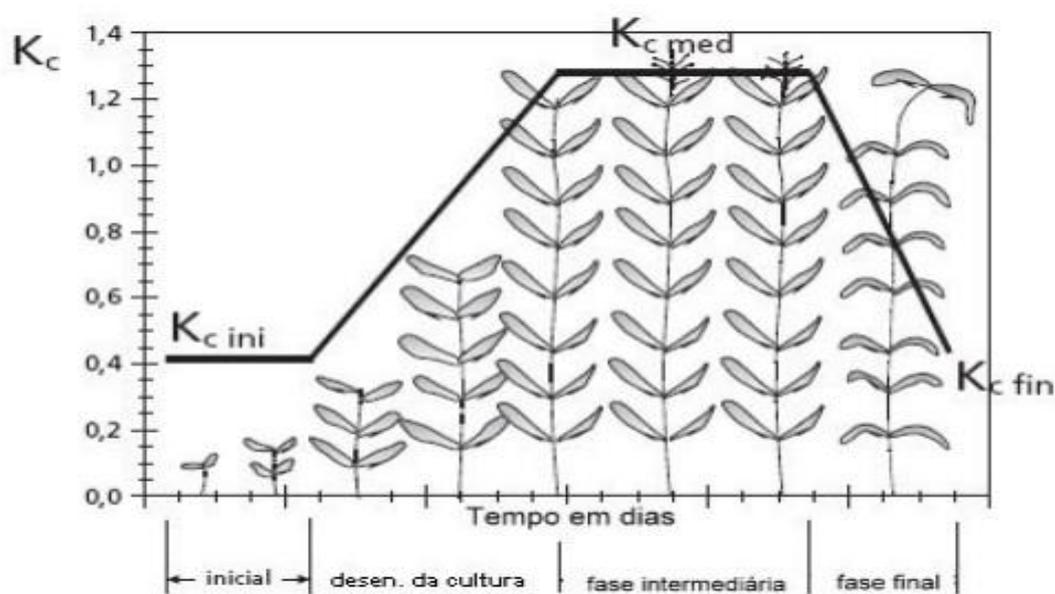
$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (2)$$

Os valores quantificados das oscilações na demanda temporal com base no K_c , recomendados por Doorebos et al. (1997), variam de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura utilizada, visto que no ambiente atmosférico a dinâmica de fluxo de água é um função conjunta dos fatores climáticos da região. Allen et al. (1998) relatam também que o K_c é variável de acordo com o estágio fenológico da cultura, podendo atingir valor superior à unidade na fase reprodutiva de muitas culturas.

As diferenças na evaporação do solo (E) e na transpiração (T) entre as culturas e a superfície de grama de referência sem estresse hídrico podem ser integradas em dois coeficientes: o coeficiente de cultura basal (K_{cb}) e o coeficiente da evaporação do solo (K_e).

A soma destes dois coeficientes representam o K_c . Quando o intervalo entre as chuvas ou irrigação é grande, a umidade do solo é reduzida. Após as chuvas ou irrigações, o efeito de (E) é predominante quando a cobertura da superfície é escassa. Nestas condições K_c é largamente determinado pela frequência das irrigações e/ou chuvas.

No boletim da FAO n. 56 (Allen et al. 1998), valores padrões de K_c e K_{cb} em condições de clima úmido são fornecidos, para os quais são recomendados ajustes na utilização em condições climáticas específicas. Os valores são fornecidos para os estágios inicial, médio e final para várias culturas. A Figura 2 apresenta uma representação esquemática da curva de K_c generalizada elaborada em função destes três valores ajustados.



Fonte: Allen et al., (2006)

Figura 2 – Curva generalizada do coeficiente hídrico.

De acordo com Medeiros et al. (2002), o K_c é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas devendo, preferencialmente, ser determinado para as condições locais nas quais será utilizado; todavia, sua determinação sob condições de campo exige um grande esforço de pessoal técnico, equipamentos e custos, em virtude da quantidade de informações, controles e monitoramentos necessários ao balanço hídrico em uma área irrigada.

2.1.5 - Potencial hídrico na planta

Estresse hídrico geralmente é definido como um fator externo, que exerce uma influência desvantajosa sobre a planta. Este conceito está intimamente relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a aptidão da planta para enfrentar um ambiente desfavorável (Taiz & Zeiger, 2004). O estresse causa desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz a mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanentes (Larcher, 2000).

Logo, deficiência hídrica pode ser definida como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (Taiz & Zeiger, 2004). A deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que causa maiores danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas, podendo acarretar em reduções na produtividade (Pimentel, 2004; Taiz & Zeiger, 2004).

Os mecanismos de resistência à deficiência hídrica podem ser divididos em escape, retardo e tolerância. No primeiro, as plantas adotam uma estratégia de “fuga”, na qual apresentam rápido desenvolvimento fenológico e alto grau de plasticidade, sendo capazes de completar seu ciclo de vida antes que a falta de água torne-se severa o bastante para provocar danos fisiológicos. O retardo da desidratação corresponde à manutenção do turgor e volume celular, tanto pela absorção de água por um sistema radicular abundante quanto pela redução da perda por transpiração por intermédio do fechamento estomático ou por vias não estomáticas como a cutícula. E a tolerância à seca é um mecanismo que permite à planta manter o metabolismo, mesmo com a redução do potencial hídrico dos tecidos, devido principalmente ao acúmulo de solutos compatíveis ou osmólitos, proteínas osmoprotetoras e à capacidade antioxidante (Taiz & Zeiger, 2004; Verslues et al., 2006).

O crescimento celular é considerado o processo mais sensível à baixa disponibilidade de água no solo, com a divisão e expansão celular sendo diretamente inibidas pelo estresse hídrico (Zhu, 2001; Sausen, 2007). Esta sensibilidade deve-se ao impacto da falta de água sobre a taxa de expansão das células, devido à perda de turgor (Taiz & Zeiger, 2004; Sausen, 2007).

O controle das trocas gasosas é considerado um processo complexo, pois, as plantas enfrentam certo “dilema” onde, se ocorrer ligeira diminuição de turgescência celular, suficiente para causar o fechamento dos estômatos, vai tornar a absorção de dióxido de carbono extremamente difícil, diminuindo sensivelmente a atividade de assimilação de carbono. Assim, elas necessitam abrir os estômatos para a entrada do CO₂ e também fechá-los

para evitar a perda de água, porém a tendência é favorecer a assimilação fotossintética (Pimentel, 1998; Angelocci, 2002).

2.1.6 - Movimento de água no solo

O estado de energia da água no solo, representado pela letra grega psi (ψ), é afetado por vários componentes relacionados à energia livre da água. Os principais componentes de energia no sistema solo-planta são: pressão hidrostática, osmótica, matricial e gravitacional.

Conforme Reichardt (1985), o potencial total da água é uma função da somatória de todos estes componentes, de tal forma que:

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_p \quad (1)$$

em que:

ψ é o potencial total da água no solo, [L];

ψ_m é o potencial matricial, [L];

ψ_o é o potencial osmótico, [L];

ψ_g é o potencial gravitacional, [L];

ψ_p é o potencial de pressão [L].

O potencial matricial (ψ_m) é resultante da interação da água com a matriz do solo, ou seja, com as partículas sólidas. Essas interações surgem principalmente das forças capilares e de adsorção de água pelo solo. Essas interações fazem com que a água perca a sua capacidade de realizar trabalho, ou seja, diminuem a sua energia potencial em relação à água livre.

O potencial osmótico (ψ_o) é resultante da presença de sais minerais dissolvidos na água do solo. Dessa maneira, a água no solo tem o seu potencial diminuindo em relação à água pura, já que os íons interagem com as moléculas da água.

O potencial gravitacional (ψ_g) é devido à força da gravidade, a partir da altura da coluna de água em relação a um plano de referência, considerando a massa de água e a ação da gravidade.

O potencial de pressão (ψ_p) é equivalente à pressão hidrostática. Uma vez que o estado de referência é o da água pura, à pressão atmosférica, ele será positivo quando o sistema estiver sob pressão maior do que a atmosférica.

Segundo Reichardt (1990), a água é retida no solo devido a fenômenos de capilaridade e adsorção. A capilaridade está ligada à afinidade entre as partículas sólidas e a solução do solo,

havendo, porém, a necessidade de interfaces água-ar. Estas interfaces água-ar formam meniscos que apresentam uma curvatura, que é tanto maior quanto menor o poro. A curvatura determina o estado de energia da água e, por isso, diz-se que quanto menor o poro, tanto mais retida se encontra a água. Como o solo possui uma grande variedade de poros, em forma e "diâmetro", quando se aplica uma dada energia ao solo (por exemplo, através de uma sucção), esvaziam-se inicialmente os poros maiores. Aumentando-se a energia aplicada, esvaziam-se os poros menores.

O potencial matricial está diretamente ligado à umidade. Quanto mais úmido o solo, maior será o seu potencial. Segundo Reichardt (1985) “a descrição matemática do potencial matricial é bastante difícil e sua determinação é normalmente experimental”. Dentre os instrumentos mais utilizados para a medição da pressão negativa (potencial matricial) no solo estão os tensiômetros.

De acordo com Coelho & Teixeira (2004), esses aparelhos se baseiam na “Formação de um equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho”, através de uma cápsula porosa que entra em contato com o solo. Caso a água do solo esteja sob tensão, ela exerce uma sucção sobre o instrumento, retirando água deste, fazendo com que a pressão interna diminua. Como o instrumento é vedado, ocorre à formação do vácuo e a leitura no tensímetro fornece o potencial matricial da água no solo.

2.1.7 - Lisimetria

Sentelhas (2001) apresenta três métodos utilizados na determinação direta da evapotranspiração: os métodos micrometeorológicos, o método do balanço de água no solo e os lisímetros. Esses últimos são estruturas especiais onde um volume de solo vegetado é devidamente isolado, a fim de que todas as entradas e saídas de água deste sistema possam ser controladas.

Medeiros (2002) define lisímetros como sendo grandes “containers”, localizado no campo e preenchidos com solo, a fim de representar o ambiente local, com superfície vegetada ou em solo nu, para determinação da evapotranspiração de uma cultura em crescimento ou de uma cobertura vegetal de referência ou ainda da evaporação a partir de um solo não vegetado.

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Segundo Kirkhan et al. (1984), os lisímetros são estruturas destinadas a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem.

Campeche (2002) comenta que, inicialmente, os lisímetros foram desenvolvidos para quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos.

Os lisímetros devem ser preenchidos com solo, mantendo a mesma sequência de horizontes do solo original. Silva (2003) comenta que os lisímetros, quando bem instalados, possibilitam medidas precisas da evapotranspiração, principalmente quando os mesmos são preenchidos corretamente, pois desta forma, o perfil de solo no seu interior assemelha o máximo possível das camadas de solo da área externa.

O mesmo autor afirma que para se obter medidas precisas da evapotranspiração, a vegetação no interior do lisímetro deve apresentar a mesmas condições (altura e área foliar semelhantes) da área de contorno. Podem ainda apresentar diversas formas e tamanhos, os quais são definidos em função do sistema radicular das culturas que serão instaladas (Silva, 2003).

Existem três tipos de lisímetro para a determinação da evapotranspiração, denominados de drenagem, de lençol freático constante e de pesagem (Pereira et al. 2002). Os lisímetros de drenagem são tradicionalmente os mais conhecidos em virtude de suas simplicidades, mas em função de sua própria metodologia de funcionamento, apresentam grandes restrições para obtenção da evapotranspiração em intervalos diários (Silva et al. 1999).

Santos (2008) mostrou que os dados de coeficiente hídrico (K_c) medidos em lisímetro de drenagem, em Pesqueira-PE, foi equiparável aos encontrados na literatura por outros autores, corroborando com os resultados da pesquisa.

Vieira et al. (2013) evidenciaram que os dados de coeficiente hídrico (K_c) medidos também em lisímetros de drenagem, em Maringá-PR, apresentaram alta-correlação e exatidão com a metodologia proposta pelo boletim da FAO-56.

Nos lisímetros com nível de lençol freático constante, em resposta a evapotranspiração, a água do lençol freático desloca-se para a zona radicular por capilaridade, sendo a diminuição do nível freático, compensada automaticamente por um dispositivo flutuante e a quantidade de água necessária para repor este nível, medida automaticamente. O custo de implantação deste tipo de equipamento é relativamente baixo, sendo de fácil operação (Klosowski, 2001).

Hill & Allen (1991), utilizando este tipo de lisímetro para a determinação da evapotranspiração de espécies do gênero *Salix*, de grama e alfafa para algumas regiões dos Estados Unidos, concluíram que valores mensais de evapotranspiração podem ser

adequadamente estimados quando a altura do lençol freático varia e está posicionado abaixo da superfície do solo.

Segundo Machado e Mattos (2001) recentemente tem sido bastante utilizados lisímetros com lençol freático constante, devido a sua boa precisão e a facilidade em variar a profundidade do lençol no seu interior.

Os lisímetros de compensação com lençol freático a nível constante têm sido utilizados na condução de ensaios para a determinação de consumo de água para diversas culturas. Neste caso, podem ser citados os trabalhos de: Encarnação (1980) e Souza & Silva (1985) para a cultura do feijão; Encarnação (1987) para a cultura da batata; Cury et al. (1987) e Cury e Villa Nova (1989) para a cultura do repolho e Azevedo et al. (1989) para a cultura do soja. Estes autores concluíram que a utilização deste tipo de lisímetros é viável, principalmente no que se refere à facilidade de operação e à precisão dos resultados.

Segundo Mañas & Valero (1993) e Aboukhaled et al. (1986), uma limitação importante quanto ao uso desses lisímetros está associada aos problemas freqüentes com os flutuadores e o desnível dos dispositivos de leitura-alimentação, interferindo diretamente nas medidas de evapotranspiração. Outra limitação mencionada quanto ao uso de lisímetros está associada à presença do nível freático, que não representa as condições da parcela em seu entorno, provocando um crescimento maior da cultura dentro dos lisímetros que, em consequência disso, fica mais exposta à radiação e aos efeitos do vento, superestimando a evapotranspiração em até 10 ou 20%.

Os lisímetros de pesagem determinam a evapotranspiração a partir da variação do peso de um bloco de solo devido à entrada ou saída de água, constituindo uma medida direta da dinâmica da água num solo cultivado ou nu, com uso bastante difundido atualmente (Campeche et al. 2011).

Portanto, estudos com lisímetros são bastante importantes para um manejo adequado da agricultura irrigada e com isso possibilitando um uso mais racional da água, principalmente quando se propõe a trabalhar com água de qualidade inferior, otimizando o consumo hídrico e reaproveitando a água de forma sustentável.

2.2 – Reuso de água

2.2.1 - Reuso de água em comunidades rurais do Semiárido Brasileiro

O semiárido brasileiro é uma região marcada pela irregularidade das chuvas, determinando longos períodos de secas, com fortes deficiências hídricas nos rios, solos e ecossistemas xerófilos e graves conseqüências sociais, que apresentam elevada dependência dos recursos naturais e os piores indicadores sociais do país. A partir dessas dificuldades encontradas, as comunidades rurais do semiárido brasileiro enfrentam a necessidade do desenvolvimento de técnicas práticas, econômicas e viáveis para o tratamento de água, possibilitando uma adequação aos usos a que se destina, visando a melhoria da qualidade de vida dessas populações (Pinto & Hermes, 2006).

Sousa et al. (2006) destacam o reuso agrícola como saída para problemática da seca, entre outras alternativas, afirmando que as chuvas se concentram, em geral, entre os meses de fevereiro a abril, ficando os nove meses restantes do ano submetidos a um déficit hídrico que se acentua no decorrer do período, devido a elevados valores de temperatura e taxas de evapotranspiração, comprometendo os sistemas de cultivo de sequeiro, principal atividade econômica da região.

Segundo Hespanhol (2002), a agricultura depende, atualmente, de suprimento de água em um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida, sem o desenvolvimento de novas fontes de suprimento e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais. Esta condição crítica é fundamentada no fato de que o aumento da produção, não pode mais ser efetuado através da mera expansão de terra cultivada.

Miranda (2010), avaliando os efeitos de diferentes lâminas de irrigação com uso de água residuária e adubação orgânica no crescimento e rendimento do algodoeiro, cultivar BRS Safira CNPA 01-55 e também o envolvimento da comunidade local na tecnologia de reuso de águas com reuniões e atividades de educação ambiental que se desenvolveram em sincronismo com a condução do experimento com o algodão na Unidade Experimental de Tratamento e Reuso Hidroagrícola (UETRH), situada no distrito de Mutuca-PE, região semiárida de Pernambuco, observou que os maiores valores de produção da cultura foram alcançados para a maior lâmina de irrigação aplicada com água residuária e a pesquisa contribuiu para disseminação e empoderamento das tecnologias referentes aos tratamentos e reuso de esgotos domésticos.

Cruz (2013), avaliando o efeito da adubação residual com torta de mamona e o uso de água residuária e de abastecimento no crescimento e na produção do gergelim em área de assentamento rural, Nova Vida, distante 20 km da sede do município de Mogeiro, PB, onde esta região fica limitada ao sul pelo Rio Paraíba, abrigando 27 famílias, a maioria composta de trabalhadores e vizinhos das antigas fazendas, observou que os agricultores após conhecimento dos resultados alcançados com o projeto de irrigação na cultura do gergelim, com efluentes tratados, 77,77% declararam que estariam dispostos a utilizar água residuária na irrigação do gergelim.

2.2.2 - Reuso de água na agricultura

Em relação ao aspecto hídrico, frente ao cenário de escassez de oferta da água em quantidade e qualidade suficiente para expansão da produção agropecuária, o reuso de água em regiões semiáridas constitui-se como alternativa de uso potencial, ao liberar água de melhor qualidade para fins mais nobres, como o consumo humano e/ou dessedentação de animais, como preconiza a Política Nacional de Recursos Hídricos. Sendo assim, considera-se o reuso de água uma prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo tal prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos (Souza et al. 2010).

Neste contexto, uma política adequada de gestão de recursos hídricos: captação de água durante o curto período chuvoso e armazenamento em poço profundo, barragens subterrâneas e reuso de águas residuárias, entre outras alternativas, poderão ser uma saída para a convivência com a estiagem.

Face aos grandes volumes envolvidos (chegando a até 80% do uso consuntivo, em alguns países), especial atenção deve ser atribuída ao reuso para fins agrícolas. No Brasil esta porcentagem chega muito próxima a 70%, devendo merecer a atenção dos tomadores de decisão, quando forem decididas as prioridades para reuso (Hespanhol, 2002).

Uma das maneiras eficazes para aumentar a oferta de água disponível para a irrigação, é seu reuso (Souza et al. 2010; Medeiros et al. 2010; Souza et al. 2013) e principalmente a utilização de formas racionais de uso da água (Santos Júnior et al. 2013). Além do aspecto hídrico outro benefício a ser aproveitado do efluente doméstico é seu potencial nutricional (Rebouças et al. 2010).

Contudo, a utilização da água residuária na agricultura pode ter o seu fator adverso, pois os efeitos da aplicação de água residuária nas propriedades químicas do solo, só são pronunciados após longo período de aplicação, pelos parâmetros que definem sua composição física e química, pelas condições de clima e pelo tipo de solo. Ayers & Westcot (1999) relatam que a limitação principal do uso de águas residuárias na agricultura é a sua composição química (totais de sais dissolvidos, presença de íons tóxicos e concentração relativa de sódio) e a tolerância das culturas a este tipo de efluente.

Segundo Pizarro (1990), os sais solúveis contidos nas águas de irrigação podem, em certas condições climáticas, salinizar o solo e modificar a composição iônica no complexo sortivo, alterando as características físicas e químicas do solo, como o regime de umidade, aeração, nutrientes, desenvolvimento vegetativo e produtividade.

Segundo Capra & Scicolone (2004), entre os efeitos potencialmente negativos da utilização de água residuária na irrigação, destacam-se:

- Poluição, particularmente por nitrato, de aquíferos subterrâneos utilizados para abastecimento público. Níveis de nitrato em água potável superiores a concentrações entre 45 e 90 mg L⁻¹ podem causar metamoglobinemia em crianças. Além disso, a disposição do nitrogênio e fósforo nos corpos d'água superficiais e subterrâneos pode levar a eutrofização dos mesmos, promovendo inclusive mortandade de peixes.

- Acúmulo de contaminantes no solo, que pode levar a sua salinização ou criar ambiente propício para proliferação de vetores transmissores de doenças;

- O excesso de nitrogênio no efluente pode comprometer a produção de culturas pouco tolerantes a este nutriente;

- A presença de íons específicos (boro, sódio e cloretos) pode ser tóxica a algumas culturas;

- Risco à saúde do trabalhador e consumidores dos produtos irrigados, devido à possibilidade de contaminação por microorganismos patogênicos (bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos e helmintos) presentes no esgoto.

Segundo Duarte (2006), a decisão quanto ao reuso na agricultura, especialmente na agricultura irrigada, deve ser tomada com base em múltiplos aspectos, incluindo os de natureza ambiental, sanitária, cultural, técnico e econômica, de forma que os benefícios decorrentes superem os custos e riscos envolvidos neste processo.

Medeiros et al. (2008) acrescentam que estudos efetuados em diversos países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em áreas fertirrigadas com águas residuárias de origem doméstica, desde que sejam adequadamente manejadas.

Ferreira et al. (2005), avaliando os efeitos da aplicação de água residuária e água de abastecimento local e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo, na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), situada no município de Campina Grande - PB, durante o período de outubro de 2002 a fevereiro de 2003, observaram que em relação à produtividade do algodão em caroço, constatou-se que a água residuária incrementou a produtividade do algodoeiro em mais de 73 %, considerando o solo sem adubação nitrogenada, podendo ser superior a 3000 kg ha⁻¹ de algodão em caroço, nas condições de clima e solo estudados. E ainda verificou que a água residuária promoveu maior crescimento de plantas (altura e área foliar por planta) em relação à água de abastecimento.

Barreto et al. (2009), trabalhando com a cultura da Mamona, avaliaram a influencia da água residuária e água de abastecimento local sobre o crescimento da mamoneira BRS Energia. O experimento foi conduzido entre setembro de 2007 e fevereiro de 2008 na UFCG, em Campina Grande, PB, sendo a água residuária proveniente dos esgotos da cidade de Campina Grande bombeada em um ponto à montante da bacia hidráulica do açude de Bodocongó, na área da UFCG e água de abastecimento, distribuída pela CAGEPA e oriunda da caixa d'água da UFCG. Verificou-se que a altura da planta, o diâmetro caulinar e a área foliar, nos intervalos de tempo estudados, foram maiores com a aplicação de água residuária em comparação com água de abastecimento e com a mistura das duas.

2.3 – Cultivo de oleaginosas

2.3.1 - Viabilidade para Semiárido Brasileiro

Uma possível estratégia para o desenvolvimento do semiárido seria o incentivo da produção de espécies nativas que detenham importante valor econômico, a fim de gerar renda e bem-estar social para as populações (Bezerra, 2011). A busca de soluções de desenvolvimento adequadas para a região semiárida deve considerar a satisfação de um conjunto de requisitos de bem-estar e qualidade de vida. Estes requisitos devem ir além dos empregados na definição de Índice de Desenvolvimento Humano - IDH da ONU, insuficiente para qualificar o desenvolvimento, uma vez que não abrange as dimensões das condicionantes históricas do subdesenvolvimento e da cidadania (Oliveira, 2001).

Algumas alternativas têm sido levantadas em favor do desenvolvimento rural do semiárido, sendo em sua maioria diagnósticos que colocam as terras secas como explicação para o atraso regional (Silva, 2006). Os solos dessa região apresentam altas concentrações de sais, porém, algumas espécies apresentam boa adaptabilidade a estas condições estressantes, podendo assim proporcionar uma fonte de desenvolvimento para região.

Entre as espécies do semiárido com grande potencial econômico destaca-se a *Moringa oleífera Lam*, uma oleaginosa que pode ser utilizada como matriz para biodiesel. O descobrimento de oleaginosas não convencionais potencialmente utilizadas na produção de biodiesel é de extrema importância para a economia mundial. A perspectiva para os próximos anos é aumentar 50 vezes a área do Brasil destinada ao cultivo de oleaginosas (Schlesinger, 2004). Portanto, trabalhos que analisem aspectos botânicos e agrônômicos de oleaginosas do semiárido brasileiro têm grande relevância político-social.

O instituto do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) é promover a inclusão social do agricultor familiar, além de estimar melhorias na redução de emissões de gases poluentes para atmosfera a partir da substituição parcial do biodiesel, sendo esta, uma vantagem do Brasil em relação a todos os outros produtores de oleaginosas (Monteiro, 2007). Um dos motivos para o sucesso do biodiesel é a gama de matérias-primas que pode ser utilizada.

Em se tratando da espécie *Moringa oleífera* pesquisadores relatam que suas sementes têm aproximadamente 40% de óleo, sendo 76% de ácido oléico, adequado para produção de biodiesel (Rashid et al. 2008). O conteúdo médio de óleo das sementes é maior que o de quatro oleíferas convencionas: (algodão 15 a 24%), soja (17 a 21%), cártamo (25 a 40%) e mostarda (24 a 40%), cultivadas nos Estados Unidos, Brasil, China e entre outros países asiáticos e europeus.

2.3.4 - Cultura da Moringa

A espécie é nativa da Índia, e foi introduzida no Brasil por volta de 1950. É cultivada na África, Ásia, América Latina e em quase todos os países de clima tropical. A *Moringa oleífera Lam.*, é uma espécie exótica, bastante encontrada na região Nordeste, principalmente nos estados do Ceará, Piauí e Maranhão (Lorenzi & Matos, 2002; Miamoto et al., 2010). É a espécie mais conhecida do único gênero (*Moringa*) da Moringaceae. É conhecida também como lírio-branco e quiabo de quina, em inglês, é chamada de drumstick (baqueta) devido ao seu fruto que possui um formato de bastão de bater o tambor (Santana et al., 2010).

Caracteriza-se por ser uma planta de porte arbóreo, podendo alcançar até 10 m de altura, a sua casca é bege-clara e branca, espessa, mole e reticulada, o lenho é pouco resistente, amarelado e poroso. Apresenta folhas alternas, compostas, bipinadas de coloração verde pálida e as flores são de coloração creme a branca, perfumadas, agrupadas em inflorescências terminais cimosas e sua polinização é feita, principalmente, por insetos da ordem Hymenoptera. Os frutos são do tipo cápsula loculicida alongada, com comprimento médio de 28,50 cm e largura média de 2,21 cm, contendo de 10 a 20 sementes armazenadas em uma polpa branca. As sementes são globóides, escuras externamente e o endosperma branco e oleoso (Cysne, 2006; Ramos et al., 2010).

As famílias que residem no semiárido nordestino têm seu sustento dependente, principalmente, de atividades de agricultura e pecuária. De acordo com Oliveira et al. (2009), uma alternativa para esta região é o plantio de moringa, espécie utilizada na agricultura familiar como fonte de suplemento alimentar, uma vez que suas folhas são fontes de vitamina A, vitamina B e C, aminoácidos (metionina e cisteína) e minerais, como ferro (582 mg/kg), potássio (21,7 mg/kg), cálcio (26,4 mg/kg) e zinco (113,9 mg/kg) (Moura et al., 2009; Teixeira et al., 2012).

Há um esforço no sentido de difundir-la como hortaliça, por suas folhas serem ricas fontes de vitamina A, (Kerr et al., 1998) como brócolis, cenoura, couve, espinafre e alface (Lédo, 2008). A espécie (folha, flor e fruto) já é utilizada em diversos pratos e alguns pesquisadores tentam substituir o trigo pela farinha de folhas na produção de cookies, aumentando assim seu valor nutritivo (Baptista et al., 2012).

O pó extraído das sementes de moringa é empregado no tratamento de purificação de água, principalmente por ser de baixo custo, podendo substituir o uso de tratamentos químicos convencionais (Silva, 2005), os quais dependendo da substância utilizada podem ser prejudiciais à saúde. Seu princípio ativo encontra-se no composto ativo encontrado em suas sementes, o qual devido às cargas atua neutralizando partículas coloidais, formando flocos e consequentemente, floculação destas substâncias (Nkurunziza et al., 2009).

Diversos pesquisadores estudam a utilização da semente não apenas removendo a turbidez e coliformes totais (Madrona et al., 2010), mas também na remoção de protozoários parasitas (Nish, 2011) e larva de dengue (Neto, 2010).

Suas sementes também apresentam propriedades ideais para a produção de biodiesel (Monteiro, 2007; Santana et al., 2010). Alguns estudos indicam que a espécie pode produzir até 3 toneladas de semente por hectare, a qual rende cerca de 78% de óleo rico em ácido

oléico. Isto indica que o produto é adequado para a obtenção de um biodiesel com baixo teor de insaturações (Guirra, 2008), que pela sua vez, é mais estável diante da oxidação, facilitando o transporte e o armazenamento. O óleo obtido das sementes da moringa pode ser usado no preparo de alimentos, na fabricação de sabonetes, cosméticos e como combustível. A pasta resultante da extração do óleo das sementes pode ser usada como um condicionador do solo, fertilizante ou ainda na alimentação animal (Santana, 2010).

Apresenta ainda, propriedades medicinais em quase todos seus órgãos (Santos, 2010). A madeira pode ser utilizada para produção de papel e fios têxteis (Rollof et al., 2009). Por apresentar diversos usos (nutricional, energético, industrial e medicinal), a cultura da moringa, vem sendo difundida em todo o semiárido, tornando-se ainda mais atrativa, por ser de baixo custo de produção e alto rendimento.

2.4 - Proteção ambiental e inclusão social em unidade de reuso agrícola

Sistemas de reuso adequadamente planejados e administrados trazem melhorias ambientais e de condições de saúde, entre as quais: evita a descarga de esgotos em corpos de água; preserva recursos subterrâneos, principalmente em áreas onde a utilização excessiva de aquíferos provoca intrusão de cunha salina ou subsidência de terrenos; permite a conservação do solo, através da acumulação de “húmus” e aumenta a resistência à erosão; contribui, principalmente em países em desenvolvimento, para o aumento da produção de alimentos elevando, assim os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais de populações associadas aos sistemas de reuso (Hespanhol, 2002).

Muga & Michelcic (2008) investigaram os indicadores de sustentabilidade de diferentes sistemas de tratamento de esgotos, incorporando os aspectos sociais, econômicos e ambientais. Dentre os indicadores de sustentabilidade destacaram a aceitabilidade da tecnologia pela produção, a melhoria de sua qualidade e os aspectos educacionais.

O empoderamento de qualquer tipo de tecnologia, além de possibilitar sua efetivação, implica em evitar ou minimizar os riscos. De acordo com Alencar (2005), as tecnologias possibilitam diversos benefícios, mas é preciso evitar os desvios. Não haverá empoderamento sem a superação dos preconceitos. Este empoderamento de tecnologia significa tornar a comunidade envolvida protagonista de sua própria história (Gohn 2004), pois quando as mudanças são construídas no cotidiano por pessoas comuns que se dispõem a atuar coletivamente, ousando para alcançar os propósitos compartilhados, tornam-se efetivas (Souza, 2000).

Segundo Munarim (2011), outro ponto essencial do ponto de vista social está interligado com a inclusão social no campo. Os saberes Técnicos, humanos e ambientais contribuem para impulsionar o desenvolvimento rural sustentável, pois a sociedade exige cada vez mais conhecimentos para o exercício da cidadania, e o desenvolvimento de habilidades e competências para uma inserção qualificada no mundo do trabalho que ajudem o trabalhador e a trabalhadora a produzir com qualidade, com um ambiente ecologicamente sustentável e com justiça social.

A inclusão social fortalece novos valores e nova sensibilidade baseada no respeito a si mesmo, ao outro e a terra, no diálogo e na igualdade entre homens e mulheres, entre as diferentes raças e gerações, cultivando atitudes e posturas de responsabilização e preocupação com uma sociedade sustentável, estimulando o zelo pela terra como fonte geradora da vida e morada.

Assim, valorizam-se os saberes dos diferentes sujeitos da aprendizagem, crianças, jovens, terceira idade, homens e mulheres.

Esses saberes podem contribuir na socialização do poder entre todos os cidadãos e cidadãs ou na criação de poder nos sem-poder, reforçando a cidadania. Se a educação tem essa dimensão e importância, não basta lutar para se ter acesso à escola pública, gratuita e de qualidade: ela precisa estar vinculada à realidade do campo brasileiro.

3.0 – METODOLOGIA

3.1 – Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo em Mutuca, Distrito do município de Pesqueira, PE, na Unidade Experimental Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola. A área experimental é vinculada a Prefeitura de Pesqueira – PE, situada nas seguintes coordenadas geográficas: 7° 15' 18'' de latitude Sul, 35° 52' 40'' longitude Oeste e altitude média de 550 m, Figura 3.

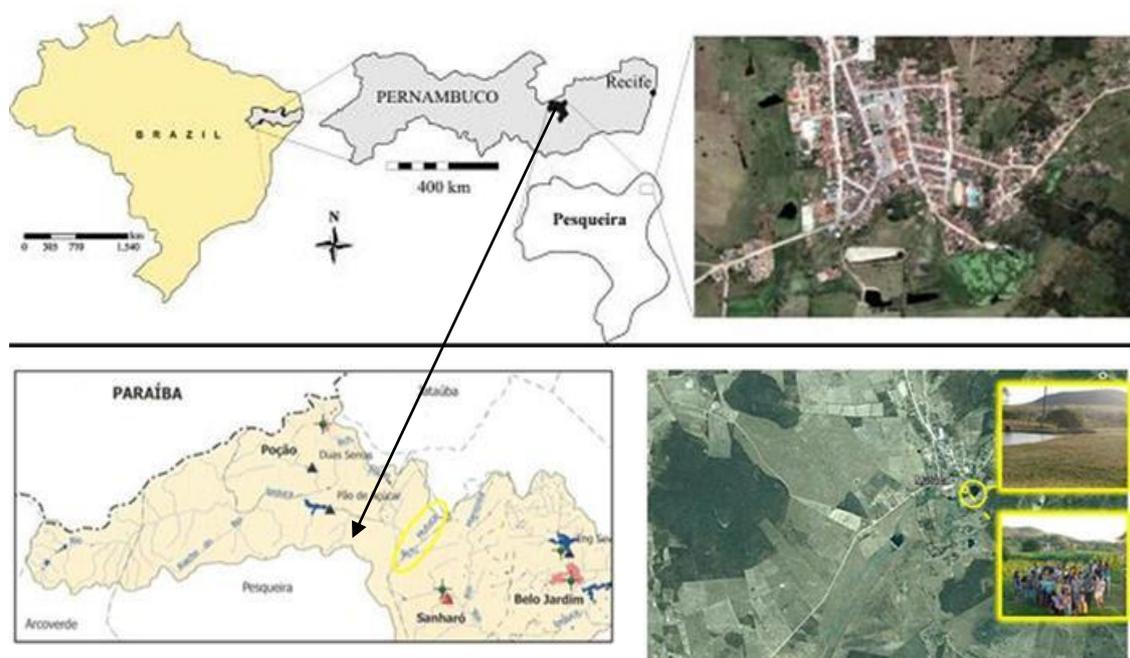


Figura 3 - Mapa com localização do Distrito de Mutuca-PE.

3.1.1 – Aspectos climáticos

Conforme a classificação climática de Köppen, adaptada ao Brasil (Coelho e Soncin, 1982) o clima da região é classificado como BSHW semiárido quente. Os dados diários de precipitação pluvial e umidade relativa do ar do Distrito de Mutuca-PE, referente ao período de fevereiro a maio de 2015, época correspondente à condução do experimento, foram obtidos a partir de Estação Agroclimatológica automática instalada na área em estudo, que encontram-se apresentados na Figura 4. Segundo Molinier et al. (1994) essa região apresenta temperatura média de 27°C, umidade relativa do ar de 73% e precipitação média anual de 670 mm, sendo os meses de maio a agosto com maior índice pluviométrico.

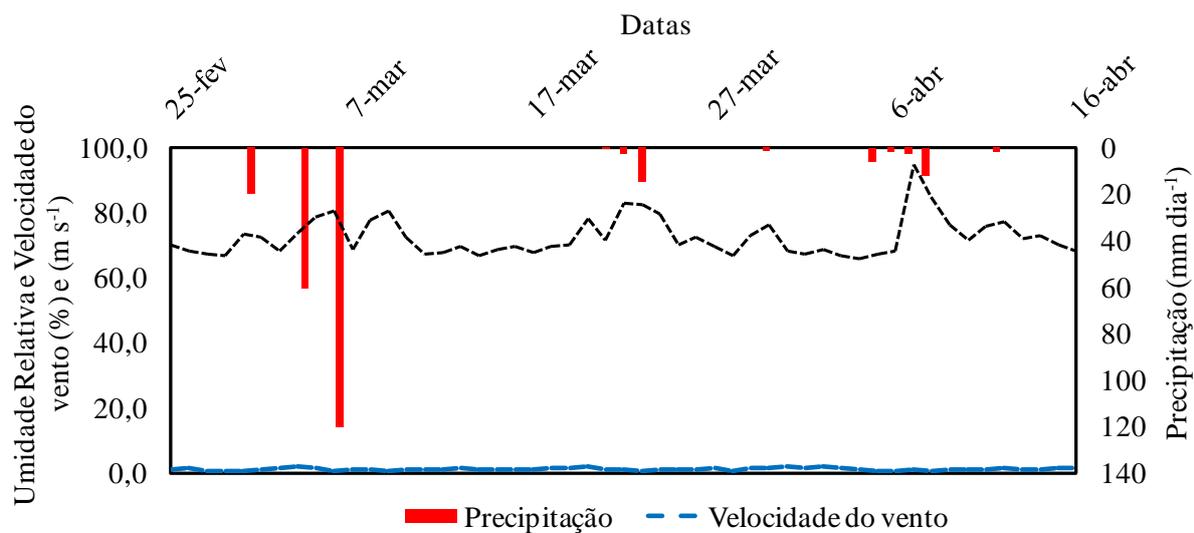


Figura 4 - Precipitação pluvial, umidade relativa do ar e velocidade do vento durante o período de condução do experimento.

As temperaturas do ar máxima, média e mínima, referentes ao período de condução do experimento, obtidos da Estação Automática Agroclimatológica, encontra-se na Figura 5.

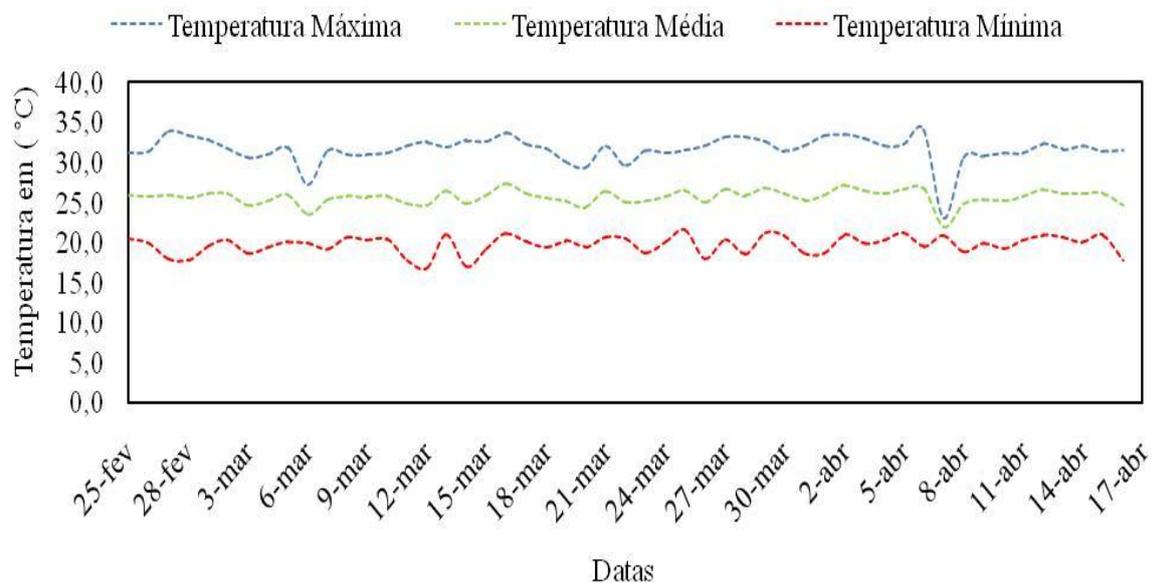


Figura 5 - Temperaturas do ar máxima, média e mínima durante o período de experimentação.

3.1.2 – Dimensões da área e croqui experimental

A área experimental corresponde a $72,45 \text{ m}^2$, onde estão dispostos três lisímetros, sendo dois lisímetros de lençol freático de carga constante e um lisímetro de drenagem. Na Figura 6 está representado o croqui da unidade experimental na Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola, com a disposição dos lisímetros de lençol freático de carga constante e do lisímetro de drenagem, da estação Agrometeorológica automática e do Tanque Classe A.

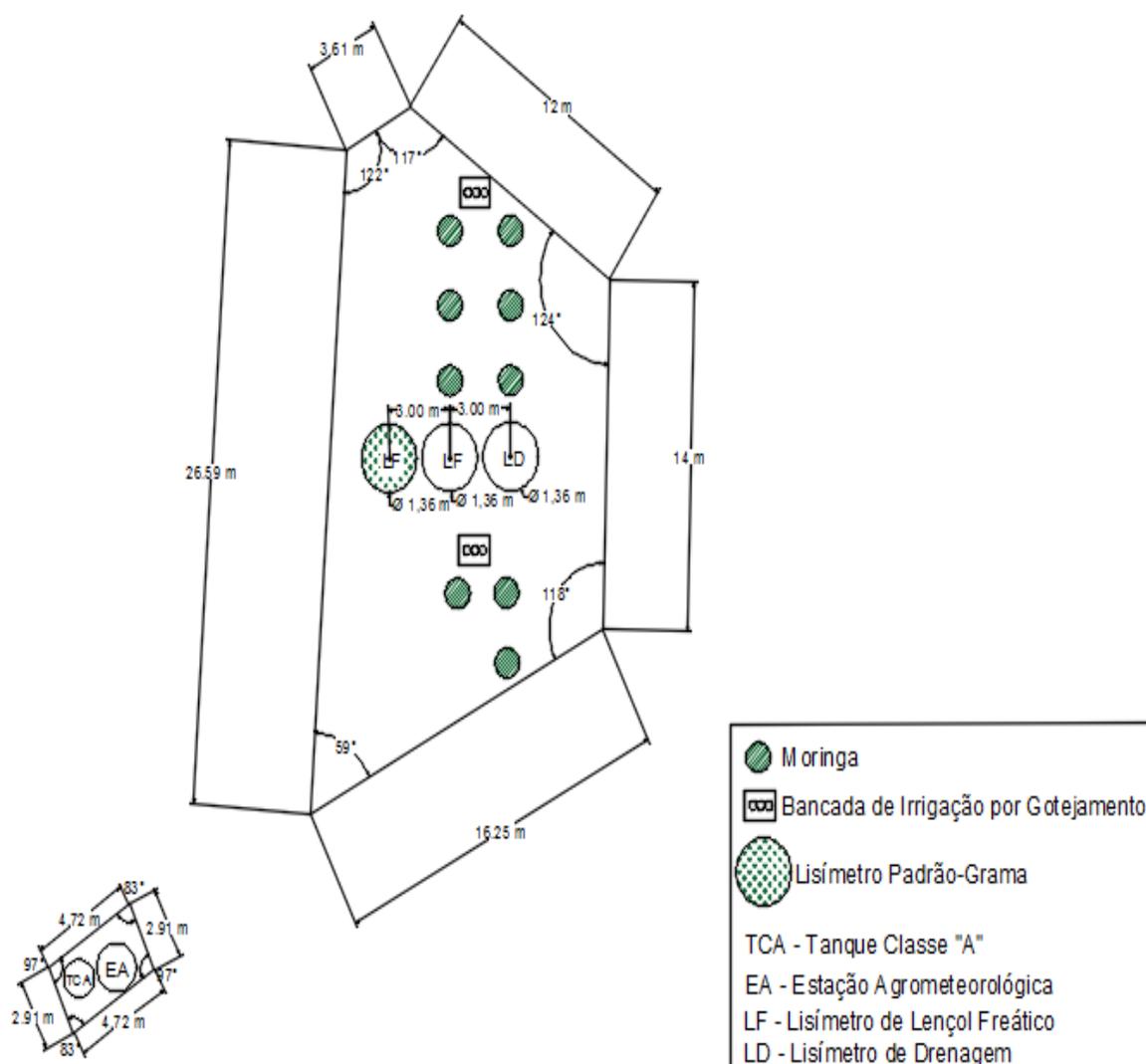


Figura 6 - Croqui da unidade experimental e respectivo locais de instalação dos lisímetros.

3.1.3 – Instrumentação utilizada na área

A coleta dos elementos meteorológicos do local foi realizada na estação agrometeorológica automática (Onset-Hobo), provida de sensores de radiação solar incidente, velocidade e direção do vento, temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica além de um pluviômetro de báscula, encontrada na Figura 7. A estação é operada e mantida pelo Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco.



Figura 7 – Estação agrometeorológica disposta na unidade experimental.

Além dos sensores citados, a unidade da estação agrometeorológica possui um Tanque Classe A, a fim de que valores de ETo estimados indiretamente (Equações) e diretamente (Lisimétrico) pudessem ser correlacionadas com a evaporação direta no tanque, que poder visualizado na Figura 7.

O registro de dados completos dos sensores iniciou-se no dia 25 de fevereiro de 2015, e foi conduzido a cada 15 dias. O acompanhamento da evaporação no tanque ocorreu diariamente, na qual as leituras eram realizadas às 8:00 horas da manhã.

3.1.4 – Características do solo dos lisímetros

Para caracterização física do solo da área de estudo, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm para determinação dos seguintes atributos físicos: textura (método do densímetro), densidade do solo (D_s - método do anel volumétrico), umidade na capacidade de campo (θ_{cc}), umidade no ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) (Embrapa, 2006), encontrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Características físicas do perfil do solo dos lisímetros dispostos na área experimental nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.

Profundidades		Areia	Argila	Silte	Ds	CC	PMP	Classe Textural
		—————%—————			— g cm ⁻³ —	— cm ⁻³ cm ⁻³ —		
Lis. 1	0-20	86,92	9,44	3,64	1,42	0,30	0,20	Arenosa
Lis. 1	20-40	83,92	13,44	2,64	1,51	0,30	0,30	Areia Franca
Lis. 2	0-20	85,92	10,44	3,64	1,49	0,40	0,20	Areia Franca
Lis. 2	20-40	85,92	11,44	2,64	1,46	0,40	0,30	Areia Franca
Lis. 3	0-20	83,92	12,44	3,64	1,40	0,30	0,20	Areia Franca
Lis. 3	20-40	82,92	13,44	3,64	1,51	0,33	0,20	Areia Franca

Ds: densidade do solo; CC: Capacidade de campo e PMP: Ponto de murcha permanente; Lis 1: lisímetro padrão-grama; Lis 2: lisímetro de lençol freático de carga constante e Lis 3: lisímetro de drenagem.

As amostras para determinação da curva de retenção de água do solo foram retiradas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. As amostras foram coletadas em anéis metálicos e levadas para câmara de pressão de Richards (Richards, 1965), no Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, conforme a metodologia da EMBRAPA (2006). A umidade do solo, na base de volume, foi obtida para as tensões de -10; -33; -100; -500 e -1500 kPa. As curvas foram ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980), (Equação 3) utilizando o programa Statística (Versão 10). Pode-se verificar na Figura 8 as curvas de retenção de água do solo obtidas da área experimental, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm nos respectivos lisímetros.

$$\Theta_v = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\left[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n\right]^m} \quad (3)$$

em que:

Θ_v é a umidade volumétrica (cm³ cm⁻³);

Θ_r é a umidade residual (cm³ cm⁻³);

Θ_s é a umidade de saturação (cm³ cm⁻³);

Ψ_m é a tensão matricial da água no solo (cm³ cm⁻³);

α , m e n são parâmetros de ajuste, sendo n dependente de m .

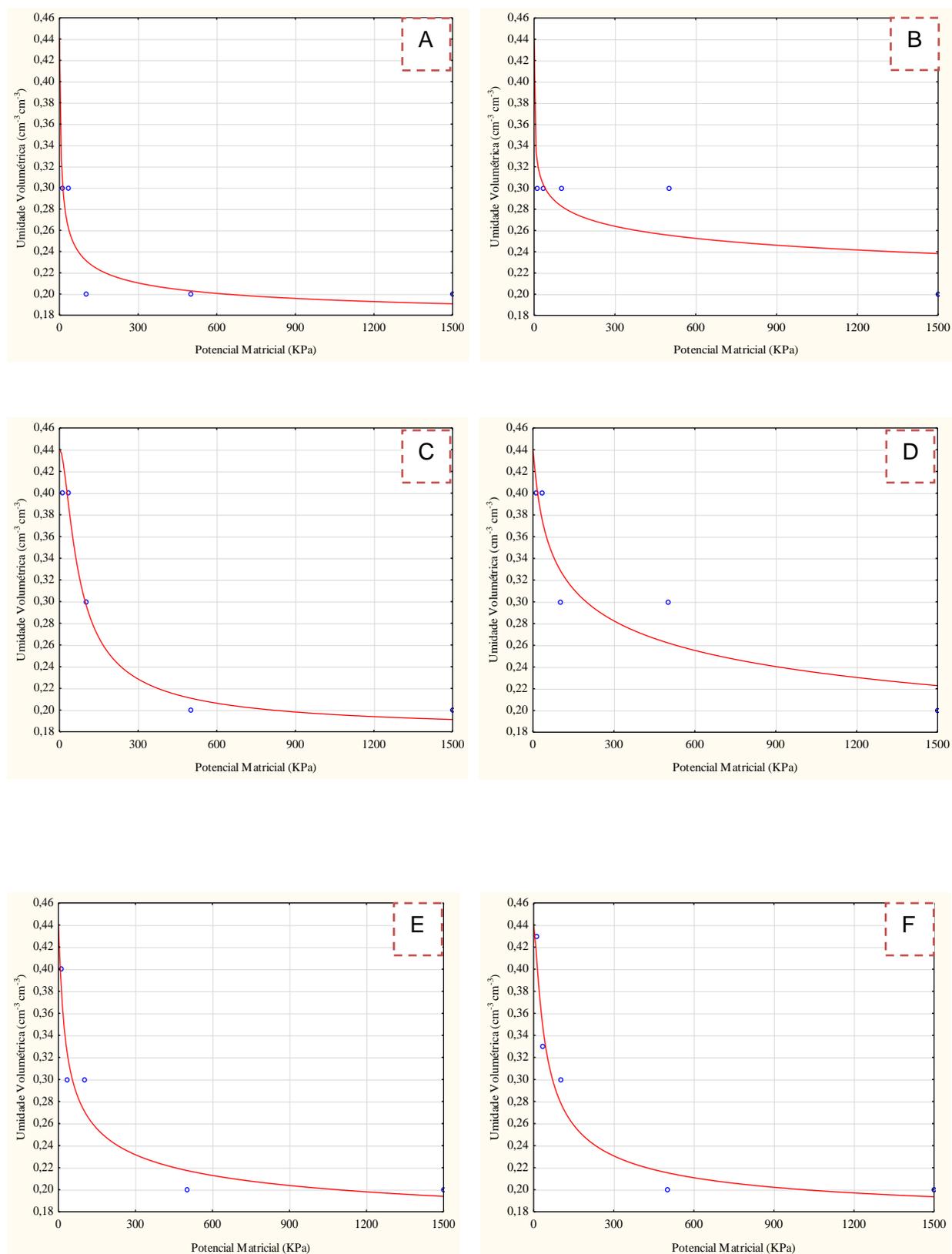


Figura 8 – Curvas de retenção no lisímetro de lençol freático (Gramma) 0-20 (A) e 20-40 (B), lisímetro de lençol freático (Planta) 0-20 (C) e 20-40 (D), e lisímetro de drenagem (Planta) 0-20 (E) e 20-40 (F), em cm de profundidade.

3.2 – Lisímetro de lençol freático padrão-grama existente na área

Como já havia um lisímetro de lençol freático de carga constante instalado na unidade experimental, realizou-se a manutenção do mesmo para análise de confiabilidade dos resultados bem como a sua calibração, que consistiu na retirada de 1,36 litros de água do tanque medidor e posteriormente avaliado o abaixamento do nível do lençol freático, valor esse que corresponde ao diâmetro exposto do lisímetro. Inicialmente foi determinada a relação, por meio de regressão linear, entre o volume retirado e o abaixamento do lençol medido, sendo estabelecido um nível do lençol freático de 50 cm em relação à superfície do solo.

Posteriormente foi plantada a grama esmeralda (*Zoysia japonica*) que é a superfície de referência para a quantificação da ETo, sendo plantada em toda a superfície do solo ao redor do lisímetro, conforme visto na Figura 9.



Figura 9 – Lisímetro de lençol freático de carga constante para quantificação da ETo padrão-grama, com reservatório de alimentação.

Definido o coeficiente de calibração, e para iniciar o monitoramento propriamente dito, é necessário que o solo do lisímetro de padrão-grama esteja próximo à capacidade de campo. Albuquerque et al. (2008) ressaltaram que abaixo da umidade de saturação, há o conceito da capacidade de campo, que é definido arbitrariamente como o limite superior da água armazenada pelo solo a qual está disponível para a planta. O autor ainda enfatiza que esse limite superior é definido como a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem de seu

excesso, quando a velocidade do movimento cessa, o que geralmente ocorre de 2 a 3 dias após a chuva ou a irrigação.

Desta forma, para obtenção da capacidade de campo, adicionou-se água em quantidades mensuradas e observou-se que após 40 litros ocorreu a drenagem gravitacional, esperou-se assim 3 dias com o lisímetro totalmente coberto por uma lona plástica para evitar a evapotranspiração, conforme visto na Figura 10.



Figura 10 – Lisímetro colocado na capacidade de campo e coberto por lona plástica.

Iniciou-se a primeira leitura em 25/02/2015 e, a partir daí, sempre às 8 horas em intervalos de dois dias os valores de ETo eram contabilizados no lisímetro.

3.3 – Construção e instalação dos novos lisímetros

3.3.1 – Lisímetro de drenagem

Foram construídos dois lisímetros adicionais, um de drenagem e o segundo de lençol freático de carga constante. Para a instalação dos lisímetros realizou-se escavações manuais da trincheira com dimensões de 10,0 x 6,0 m, tomando-se o cuidado de separar o solo em quatro camadas de 0,20 m. As quatro camadas de 0,20 m de solo foram identificadas (0–0,20 m; 0,20–0,40 m; 0,40–0,60 m e 0,60–0,80 m) e armazenadas no próprio local, como mostra na Figura 11. É importante salientar que a metodologia utilizada na escavação, separação e acondicionamento do solo possibilitou a reconstituição das condições iniciais do solo, embora alterações em sua estrutura tenham ocorrido, inevitavelmente.

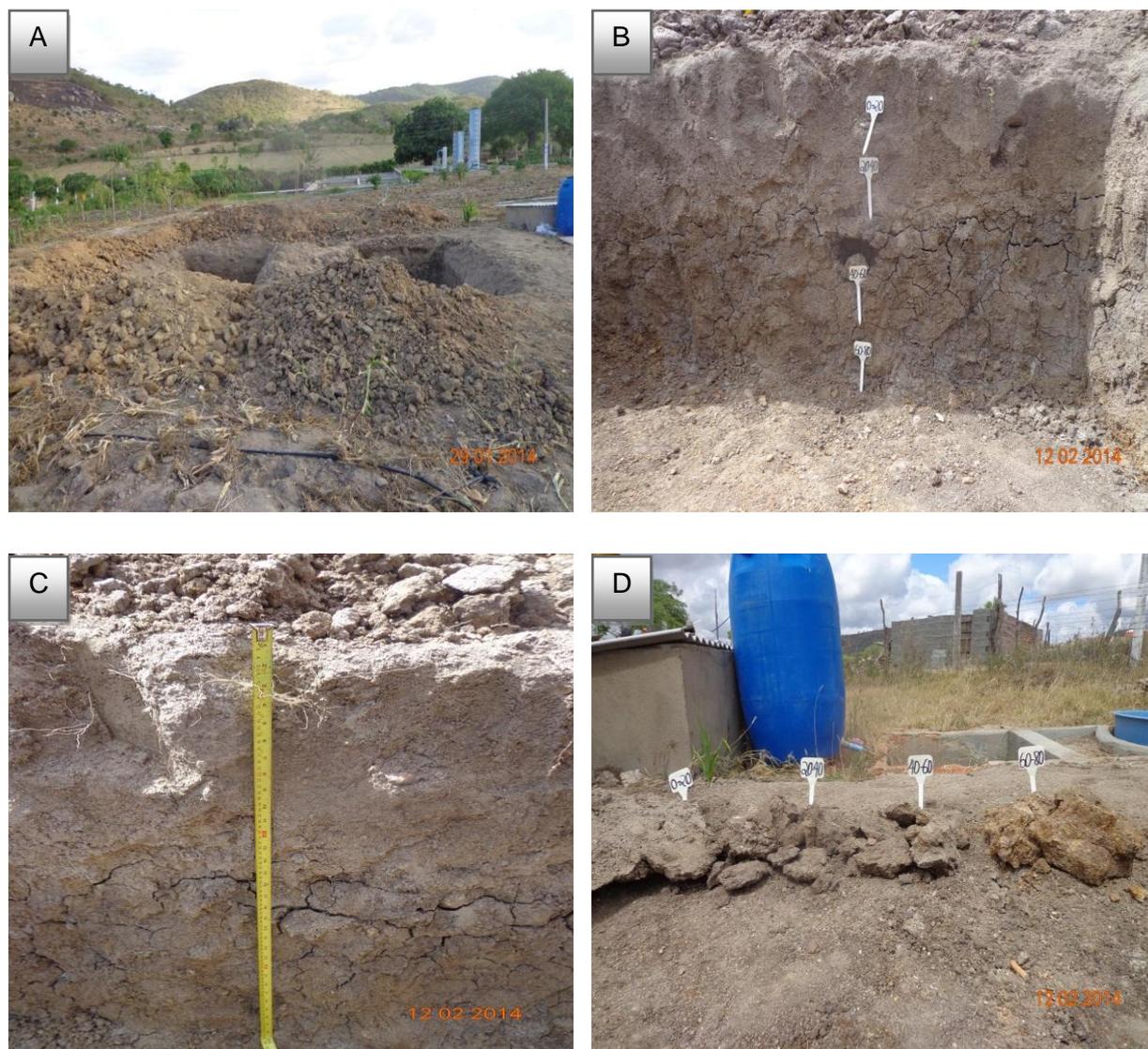


Figura 11 - Separação das camadas de solo (A); Caracterização dos horizontes do solo (B); Medição do horizonte do solo 0,80 m (C); Caracterização das diferentes camadas do solo (D).

O lisímetro de drenagem é do tipo drenagem livre, sendo composto dos seguintes componentes: Reservatório externo (A); Reservatório interno (B) e Sistema de drenagem (C), conforme visto na Figura 12.



Figura 12 - Fases de construção do lisímetro de drenagem e do sistema de drenagem.

O reservatório externo do lisímetro tem como finalidade a contenção do solo em redor do lisímetro, protegendo assim o reservatório interno contendo o solo. Este reservatório foi construído com paredes de 10 cm de espessura em alvenaria de tijolo (8 furos), diâmetro de 150 cm e altura de 80 cm. A base foi compactada e concretada e em seguida nivelada, permitindo com isso, estabilidade ao reservatório interno e evitando escoamento superficial, que alteraria a veracidade das leituras lisimétricas, aumentando o erro experimental.

O sistema de drenagem do lisímetro é do tipo gravitacional, para permitir que chuvas ou irrigação que excederem a capacidade de retenção de água do solo, seja drenada. O sistema é composto de um segmento de tubo de PVC de 25 mm de diâmetro colocado no fundo da caixa do lisímetro, dispostos ao longo da lateral, conectados com quatro joelhos, um em cada extremidade, formando uma malha retangular com seis “tês”, e sete tubos perfurados que abastecem uma única saída que conduz a água até a casa de coleta. A vedação na saída do reservatório foi feita com um adaptador soldável tipo flanges livres para caixa d’água, diâmetro de 25 mm x 3/4”, cuja vedação foi reforçada com cola à base de resina epóxi evitando assim possíveis vazamentos.

Seguindo a metodologia de Oliveira (2007), a ordem do sistema de drenagem livre no fundo do tanque foi a seguinte: 10 cm de brita tipo cascalhinho, a tubulação em PVC de 25 mm de diâmetro, em forma de retângulo e perfurada na parte superior e lateral com orifícios espaçados de 5 cm, e manta tecido não tecido (TNT), conforme Figura 13. A principal função desta manta é impedir que o solo da caixa interfira na drenagem, entupindo os orifícios das tubulações.

Esta montagem tem o objetivo de facilitar a drenagem de água dentro do sistema. Conectada aos tubos de drenagem do interior da caixa, existe uma tubulação com diâmetro de

25 mm, que interliga o sistema de drenagem da caixa à casa de coleta e medição do efluente que será coletado em balde de capacidade de 20 litros.



Figura 13 – Manta TNT e sistema de drenagem no fundo do lisímetro (A), preenchimento da camada de brita (B) e acomodação do solo dentro do lisímetro (C).

Posteriormente, os lisímetros foram preenchidos com o solo, obedecendo aos perfis originais do local. Foram colocadas camadas de solo de aproximadamente 0,20 m (tanto dentro como fora dos lisímetros), até atingir a altura aproximada de 80 cm, procurando acomodar o material de solo de modo o deixar com a densidade do solo próxima a original e não acarretar deformação na caixa.

A coleta dos dados ocorreu a partir do dia 25/02/2015. A mensuração da água coletada dos drenos foi realizada com o auxílio de uma proveta graduada volumétrica de um litro, em uma frequência diária a cada 48 horas, tendo início sempre no mesmo horário por volta de 8 horas, realizando a coleta dos dados, aplicação da lâmina diária de irrigação e verificação da funcionalidade do sistema de irrigação.

3.3.2 – Lisímetro de lençol freático de carga constante

O lisímetro foi composto de uma caixa de polietileno (A), tanque intermediário (B) e tanque medidor (C), como é visto na Figura 14. A bateria lisimétrica corresponde à caixa de 1.000 litros, com diâmetro de 1,36 m e profundidade de 80 cm, ou seja, com uma área de exposição de aproximadamente 1,45 m². A profundidade do lençol freático em cada tanque foi de 50 cm a partir da superfície do solo.

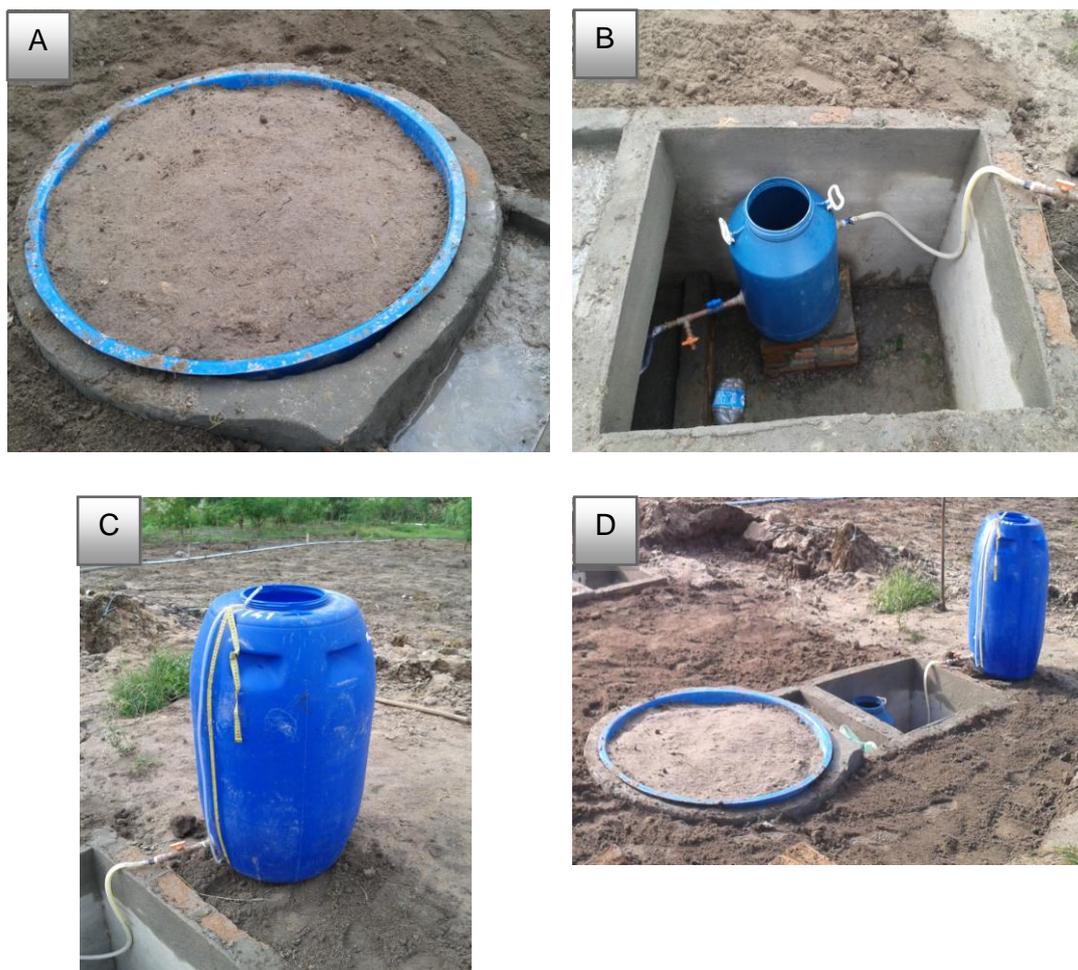


Figura 14 - Lisímetro de lençol freático de carga constante, caixa de polietileno (A), tanque intermediário (B), tanque medidor (C) e conjunto lisimétrico completo (D) instalado em Mutuca- PE.

O tanque intermediário (B) apresentava 30 cm de diâmetro e 80 cm de altura. Na parte superior, conectada uma mangueira plástica transparente através da qual era conduzida a água do tanque medidor ao tanque intermediário e uma haste de cobre, possuindo uma bóia na extremidade inferior. A haste móvel permitia a modificação de altura do lençol freático nos lisímetros, conforme mostra a Figura 14.

Em relação ao tanque medidor (C) o mesmo apresentava 30 cm de diâmetro 1,20 m de altura. Na parte inferior continha um sistema de transmissão do efluente para o tanque intermediário, bem como uma fita métrica, através da qual foi possível realizar leituras de variação da altura de água e determinar a evapotranspiração, conforme a Figura 14.

A construção e instalação do lisímetro de lençol freático de carga constante seguiu a mesma metodologia do lisímetro de drenagem, diferenciando apenas a ligação dos tanques

(intermediário e medidor) existentes no lisímetro de lençol freático de carga constante, possibilitando dessa maneira que a planta cultivada no lisímetro retirasse água do solo por capilaridade, para atender a demanda atmosférica. Diferentemente, no lisímetro de drenagem utilizou-se de um sistema de irrigação por gotejamento para manter a demanda atmosférica da planta.

Iniciou-se a primeira leitura em 25/02/2015 e, a partir daí, sempre às 8 horas em uma frequência de 48 horas os valores de ETc eram contabilizados no lisímetro.

3.4 – Implantação da cultura e do sistema de irrigação

As mudas de Moringa foram produzidas em sacos plásticos de polietileno, preenchidas com substrato composto por material inerte e livre de patógenos. O transplante das plantas de moringa foi realizado no dia 11 de Setembro de 2015, cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente localizada no município de Pesqueira-PE.

O solo foi previamente adubado com 1,0 kg por cova de esterco bovino, incorporado na área cinco dias antes do transplante das plantas, cujo espaçamento adotado foi de 3,0 m entre as linhas de plantio e 3,0 m entre plantas. O transplante foi realizado utilizando uma muda por cova, o que ocorreu por volta dos 90 dias após a sementeira. Realizando-se a condução do experimento aos 240 DAT, conforme Figura 15.

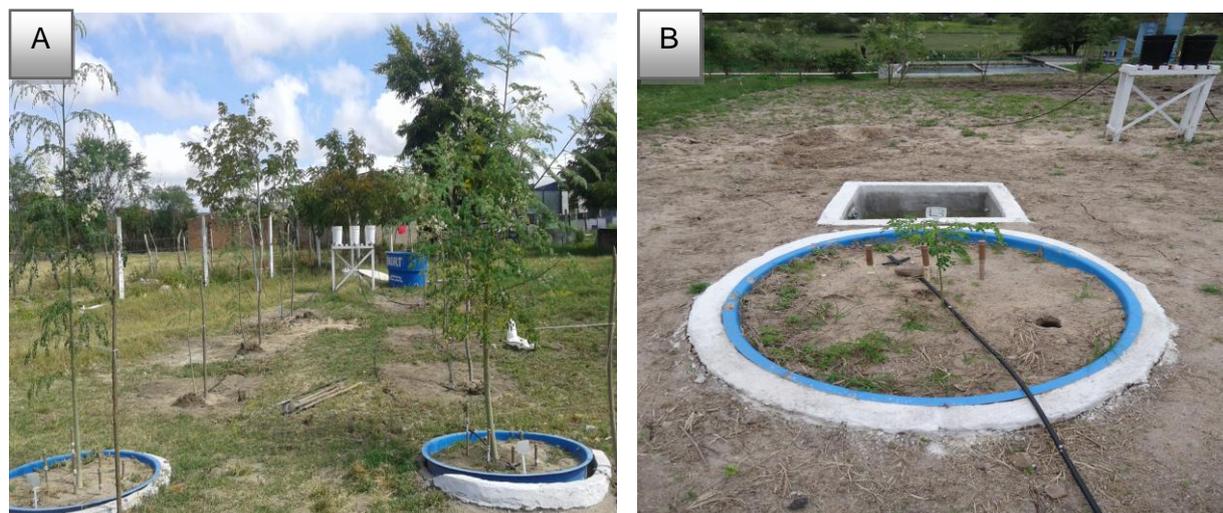


Figura 15 – Disposição das plantas dos lisímetros e as de bordadura (A) e implantação da cultura (B).

Após o plantio e com o desenvolvimento da cultura, iniciaram-se os tratamentos culturais, que consistiram na eliminação dos brotos laterais com o intuito de manter somente um ramo

principal, até um metro de altura. Quinzenalmente foi realizado controle fitossanitário preventivo, utilizando produtos e doses adequadas ao nível da infestação, certificados junto ao ministério da agricultura, com o objetivo de manter o stand sempre livre de possíveis infestações.

Para a coleta da água residuária foi utilizada uma tubulação de PVC, oriunda diretamente da lagoa de polimento da Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola, com utilização de uma Motobomba Schneider BC-92, de 1,5 cv possuindo potência de 380 W, essa tubulação de recalque encaminhava o efluente até o reservatório com capacidade de 1000 litros, onde era armazenada a água para a irrigação, conforme Figura 16.



Figura 16 – Estação de tratamento de esgoto (A) e reservatório do efluente para irrigação (B).

Instalou-se duas bancadas com 1,0 m de altura e 1,20 m de largura para disposição dos reservatórios que funcionou para a irrigação de gotejamento por gravidade. Foram plantadas duas fileiras na parte superior dos lisímetros, três plantas destinadas a fileira do lisímetro de lençol freático e outras três plantas destinadas a fileira do lisímetros de drenagem. Na parte inferior dos lisímetros foram plantadas mais duas fileiras, também constituindo o total de três plantas por fileira destinadas para bordadura de cada lisímetro.

Foi instalado sistema de irrigação por gotejamento, utilizando gotejadores do tipo autocompensante modelo G4 que, segundo o fabricante, possui uma vazão nominal de $4L\ h^{-1}$ a uma pressão de 10 mca. Logo após a instalação do sistema foi avaliado sob condições normais de operação a uniformidade do sistema por meio do método de coeficiente de

uniformidade de distribuição (CUD) proposto por Keller e Karmeli (1975), cuja vazão encontrada foi de $1,5 \text{ L h}^{-1}$, a uma pressão de 1 mca.

O sistema de irrigação de irrigação foi conectado aos reservatórios das bancadas, tanto das fileiras acima dos lisímetros quanto das fileiras abaixo dos lisímetros. A bancada de irrigação acima dos lisímetros foi constituída de três reservatórios e a bancada abaixo dos lisímetros foi constituída de dois reservatórios, conforme a Figura 17.

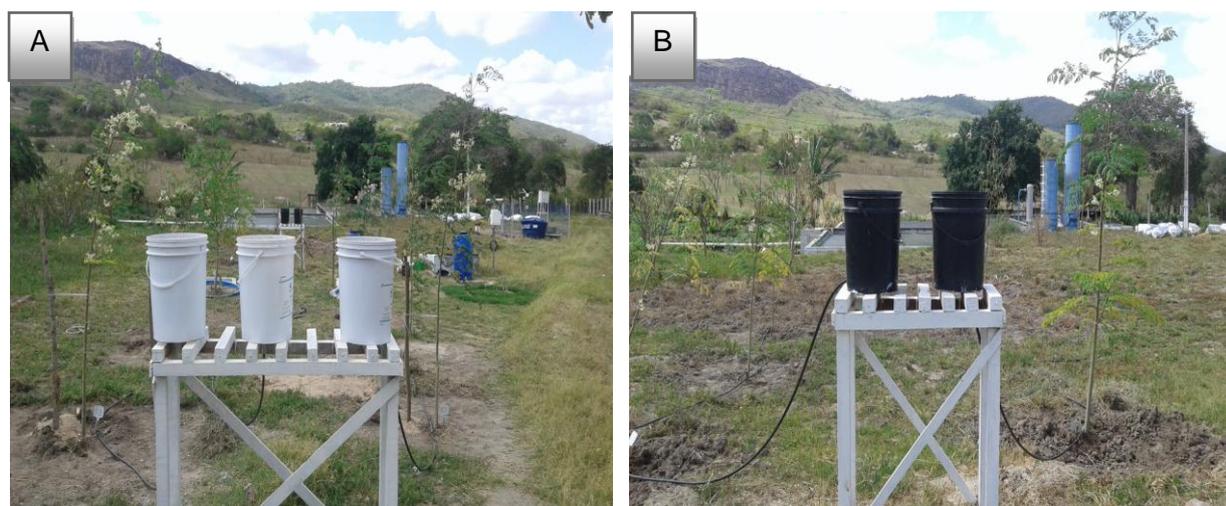


Figura 17 – Bancada superior contendo o efluente para irrigação (A), bancada inferior contendo o efluente para irrigação (B).

Utilizou-se um reservatório para irrigar a planta do lisímetro de drenagem, sendo o gotejador instalado próximo ao caule da planta. Os outros dois reservatórios destinados para irrigar as fileiras de plantas que corresponde ao lisímetro de lençol freático e ao lisímetro de drenagem. Ambos os reservatórios possuíam capacidade volumétrica de 20 litros. Os dois reservatórios da bancada inferior aos lisímetros foram destinados para irrigar as fileiras de plantas dos respectivos lisímetros.

Não foi possível realizar a bordadura da parte lateral dos lisímetros, devido à restrição de espaço na unidade experimental.

3.5 – Determinação da evapotranspiração pelos lisímetros

3.5.1 – Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) em lisímetro de lençol freático padrão-grama

A grama cultivada em lisímetro absorvia água do solo por capilaridade a quantidade de água para atender a demanda atmosférica. Esta retirada provocava um abaixamento do nível do lençol freático, compensado pela entrada de água do tanque intermediário com simultânea abertura da válvula da bóia, que promovia a saída de água do tanque medidor. Ao tanque medidor foi conectada uma fita métrica que permitia medidas da altura de água consumida, descontada da leitura do dia anterior e convertida em milímetros de evapotranspiração através da Equação (4):

$$ET_o = (L_2 - L_1) \times \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad (4)$$

em que:

ET_o evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;

D₁ diâmetro do tanque medidor, m;

D₂ diâmetro do lisímetro, m;

L₂ leitura do dia anterior, mm;

L₁ leitura do dia, mm;

3.5.2 – Determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) no lisímetro de lençol freático

Da mesma forma, a planta cultivada em lisímetro retirava do solo por capilaridade provocando um abaixamento do nível do lençol freático. A evapotranspiração pode ser estimada através da Equação (5):

$$ET_c = (L_2 - L_1) \times \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad (5)$$

em que:

ET_c evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

D₁ diâmetro do tanque medidor, m;

D₂ diâmetro do lisímetro, m;

L₂ leitura do dia anterior, mm;

L1 leitura do dia, mm;

3.5.3 – Determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) no lisímetro de drenagem

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida através de medidas diretas no sistema de drenagem do lisímetro. Uma vez que o balanço de água foi determinado entre duas ocorrências sucessivas de drenagem, a variação da umidade no solo (ΔU) se torna desprezível, pois, em seguida ao término da drenagem, o conteúdo de água no solo em cada lisímetro retorna à capacidade de campo, e a (ETc) considerada será a média dos dados ocorridos nos intervalos de tempo entre as drenagens de acordo com (Aboukhaled et al. 1982) que estabelece a seguinte equação (6):

$$ETc = (P + I - D) / \text{área} \quad (6)$$

em que:

ETc Evapotranspiração da cultura (mm);

P Precipitação pluviométrica (mm);

I Lâmina de água aplica por irrigação (mm);

D Água drenada do lisímetro (mm);

A Área do lisímetro (m²).

A evapotranspiração da cultura (ETc) obtida foi para um período de 7 dias, a qual foi convertida em evapotranspiração diária (mm dia⁻¹), sendo assim quantificada a perda de água no sistema.

3.6 – Manejo da irrigação para o lisímetro de drenagem

Antes de se iniciar as irrigações, o solo do lisímetro foi colocado em capacidade de campo. Na primeira irrigação foi aplicada, um volume inicial de 15 litros, visto que o solo se encontrava em capacidade de campo. Posteriormente, o manejo das irrigações foi realizado através de balanço hídrico, utilizando-se da equação (7):

$$Li = ((La - Ld) + ETo) \times (1,5 \times Kc) + Ld - P \quad (7)$$

em que:

Li Lâmina de irrigação, mm dia⁻¹;

La Lâmina aplicada, referente à lâmina do dia anterior para próxima irrigação, mm dia⁻¹;

ETo Evapotranspiração de referência padrão-grama medida no lisímetro, mm dia⁻¹;

Ld Lâmina drenada, referente ao drenado do dia anterior da irrigação, mm dia⁻¹;

P Precipitação da chuva, mm.

O valor de 1,5 do coeficiente de cultivo corresponde a uma lâmina adicional para manter perfil do solo drenando.

Como ainda não existe coeficiente de cultivo para a cultura da moringa oleífera, optou-se usar um coeficiente de cultivo de outra oleaginosa com dados de Kc da mesma fase da cultura da moringa.

3.7 – Determinação da evapotranspiração de referência (ETo) pelas equações empíricas

Com o objetivo de se estabelecer comparação das medidas de ETo com estimativas, foram adotados os modelos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, por serem de uso consagrado na literatura. Os modelos foram utilizados com os dados diários coletados da estação agrometeorológica automática instalada na unidade experimental.

3.7.1 – Penman-Monteith

Esse método é considerado pela FAO como método padrão para obtenção de evapotranspiração de referência (Equação 8), conhecido universalmente como método de FAO-Penman-Monteith (Allen et al., 1998). A dificuldade de utilização desse método é que o mesmo requer medidas de muitas variáveis meteorológicas, como: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento.

$$ET_{o\ PM} = \frac{0,408\Delta (Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 * (es - ea)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (8)$$

em que:

ET_{oPM} evapotranspiração de referência pelo método de FAO-Penman-Monteith, mm dia⁻¹;

Rn saldo de radiação à superfície, MJ m⁻² dia⁻¹;

G fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;

Δ declividade da curva de pressão de vapor de saturação, kPa °C⁻¹;

U₂ velocidade do vento (média diária) a 2 m de altura, m s⁻¹;

T_{med} temperatura média do ar, °C;

- e_s pressão de saturação do vapor (kPa);
 e_a pressão real do vapor (kPa);
 γ constante psicrométrica, MJ Kg⁻¹.

Considera-se o valor de $G=0$, quando a estação não fornecer tal informação.

3.7.2 – Hargreaves-Samani

O método de Hargreaves-Samani (1985), para estimativa da (ET_o) diária, em mm d⁻¹, pode ser apresentada pela equação (9).

$$ET_{o_{HS}} = 0,0023(T_m + 17,8) \sqrt{T_{\max} - T_{\min}} * Ra * 0,408 \quad (9)$$

em que:

- ET_{oHS} evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;
 Ra radiação solar no topo da atmosfera, mm d⁻¹;
 T_m temperatura média diária, °C;
 T_{max} temperatura máxima, °C;
 T_{min} temperatura mínima, °C;
 0,408 fator de conversão da radiação solar de MJ m⁻² para mm d⁻¹.

3.7.3 – Tanque Classe A

A ET_o foi calculada pelo método do Tanque Classe “A”, através da equação (10), a partir dos dados obtidos pela estação agrometeorológica da Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola, Mutuca/PE.

$$ET_o = K_p \times EV \quad (10)$$

em que:

- K_p coeficiente de tanque;
 EV evapotranspiração do tanque, em mm dia⁻¹.

Embora o coeficiente do Tanque dependa da umidade relativa e velocidade do vento, adotou-se um Coeficiente de Tanque de 0,75, de acordo com pesquisas realizadas em área

experimental de aluvião no semiárido pernambucano, Bastos (2004), Santiago et al. (2004) e Blackburn (2002), Santos (2004) que usaram 0,75, e (Santos, 2008).

3.8 – Determinação do Coeficiente de cultivo (Kc)

A razão entre evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) é denominado coeficiente de cultivo (Kc). A partir da ETo e dos valores de ETc, foram determinados os coeficientes de cultivo para cada balanço hídrico, nas condições experimentais, pela relação entre a ETc, obtida pelo balanço de água nos lisímetros, e a ETo de Penman-Monteith e a ETo medida pelo lisímetro padrão-grama expresso na seguinte equação (11):

$$Kc = \frac{ETc}{(ETo)} \quad (11)$$

em que:

Kc coeficiente da cultura (adimensional);

ETc evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

ETo evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

3.9 – Determinação do status hídrico das plantas

As medições do potencial hídrico das plantas foram realizadas aos 47, 48 e 49 dias após o início do experimento. As leituras foram realizadas em cinco horários distintos às 4, 6, 8, 10, e 12 horas dos dias avaliados.

Iniciou-se na madrugada quando se esperava encontrar um equilíbrio entre os potenciais da planta e do solo, e logo após leituras sequenciais durante o dia, com o intuito de avaliar a variação temporal do comportamento do potencial hídrico na planta.

Foi coletada uma folha sadia do terço médio da planta, e instantaneamente realizada a leitura, favorecendo a diminuição das perdas por transpiração. A determinação do potencial hídrico (Ψ_w) da planta foi medido diretamente através da utilização da câmara de pressão de Scholander, (modelo 1515D Pressure Chamber Instrument - PMS Instrument Company), conforme a Figura 18.



Figura 18 – Câmara de Scholander (A) e posicionamento da folha para leitura do potencial hídrico (B).

3.10 – Monitoramento dos potenciais mátricos do solo

Foram instalados em cada lisímetro da unidade experimental três tensiômetros de punção com leitura digital nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, Figura 19, tendo sido monitorados diariamente ao longo do período do cultivo em dois horários distintos, às 9:00 horas da manhã e às 16:00 horas da tarde, totalizando nove tensiômetros utilizados.



Figura 19 – Distribuição dos tensiômetros nos lisímetros de drenagem e lençol freático (A) e no lisímetro de lençol freático padrão-grama (B).

Os tensiômetros foram instalados nas camadas de 20, 40 e 60 cm com o auxílio de um trado de rosca, distanciados entre si de 0,15 m.

Os valores do potencial mátrico da água no solo medidos com tensiômetros de punção e leitura digital foram transformados e corrigidos para KPa por meio da equação (12).

$$\Psi_m = L + ((h_1 + h_2) \times 0,0981) \quad (12)$$

em que:

Ψ_m potencial mátrico da água no solo (KPa);

L leitura do tensímetro (KPa);

h_1 é a coluna de água da superfície do solo até o nível da água no tubo transparente (cm);

h_2 é a profundidade de instalação do tensiômetro da superfície do solo até o centro da cápsula porosa (cm). O valor de 0,0981 representa o fator de conversão de cm de coluna de água para KPa.

O tensímetro digital utilizado foi importado e comercializado pela empresa Sonda-Terra, cuja unidade de leitura de tensão é fornecida em KPa por meio do visor digital.

3.10.1 – Monitoramento da salinidade nos lisímetros

Foram instaladas cápsulas extratoras nos três lisímetros para o monitoramento da condutividade elétrica (CE) da solução do solo. Na Figura 20 é apresentada uma visão geral das cápsulas nos três lisímetros instalados.



Figura 20 – Vista parcial das cápsulas extratoras instaladas nos respectivos lisímetros.

A coleta da solução do solo foi realizada através de bomba de sucção manual como ilustrado na Figura 21, conectadas a tubos de extração dotados de cápsula porosa.



Figura 21 - Coleta da solução do solo, através de bomba a vácuo manual.

Os extratores de solução foram instalados nas profundidades de 20, 40 e 60 cm. Aos extratores foi aplicado uma tensão de 60 kPa. Após 24 horas, coletou-se a solução no interior dos tubos.

Realizaram-se seis coletas de solução do solo espaçadas a cada 7 dias, a primeira aos 260 dias após o transplante (DAT) e seguidas de mais cinco, totalizando seis avaliações em 51 dias, que corresponde ao período do experimento em campo. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Água e Solo da UFRPE, onde foram medidos os valores da condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação do solo de cada lisímetro.

3.11 – Monitoramento da salinidade do efluente tratado

Foram realizados monitoramentos da condutividade elétrica (CE) dos seguintes efluentes: CE da água de irrigação, CE do drenado do lisímetro de drenagem e CE da água de abastecimento local.

Os monitoramentos foram realizados diariamente ao longo do período do cultivo da moringa. Para medição da condutividade elétrica (CE) dos dados coletados em campo utilizou-se de um condutivímetro digital, conforme visto na Figura 22.



Figura 22 - Monitoramento das condutividades elétricas do efluente tratado e da água de abastecimento local.

3.12 – Análises biométricas da moringa

Para estimar os efeitos da aplicação da água residuária via irrigação na cultura da *Moringa oleífera*, foram avaliadas as seguintes variáveis: altura de planta (AP) e diâmetro caulinar (DC). Realizaram-se cinco avaliações espaçadas a cada 15 dias, a primeira aos 260 dias após o transplante (DAT) e seguidas de mais quatro, totalizando cinco avaliações em 51 dias.

A variável altura de planta foi obtida através de medição entre a base do caule e o seu ápice, com uso de uma trena (cm). Segundo Benincasa (2003), a altura de planta corresponde à distância entre a base do caule ou colo e o ápice do mesmo; em plantas intactas se considera a superfície do solo como o limite inferior do comprimento. O diâmetro caulinar (mm) foi determinado no colo da planta a uma altura aproximada de três cm, utilizando-se um paquímetro de leitura digital.

3.13 – Análise dos dados quantitativos

Para a análise comparativa do lisímetro de lençol freático com os demais métodos empírico-teóricos calculou-se as médias das variáveis meteorológicas em escala diária, utilizando índices estatísticos de comparação, em que se considerou o lisímetro de lençol freático com o sistema de leitura padrão. Camargo e Sentelhas (1997) sugerem como índices

estatísticos os coeficientes de correlação de Pearson (r) para precisão, o índice de Willmott (d) para exatidão e o de Camargo (c) para confiança ou desempenho.

O índice de Willmott et al. (1985), que representa a concordância ou exatidão (d), é calculado pela expressão (13):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N [(P_i - \bar{O}) + (O_i - \bar{O})]^2} \right] \quad (13)$$

O índice de correlação de Pearson, que representa a precisão (r), pode ser calculado pela equação (14):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(O_i - \bar{O}) \times (P_i - \bar{P})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2}} \quad (14)$$

O índice c , proposto por Camargo & Sentelha (1997) para expressar a confiança ou desempenho, é obtido pela equação (15):

$$c = r \times d \quad (15)$$

Nessas equações, P_i é o valor estimado, \bar{Y} é a média dos valores estimados, O_i é o valor observado e \bar{O} é a média dos valores observados. O valor observado é aquele tomado como referência para os demais. O índice d varia de 0 a 1, em que o valor 1 significa uma perfeita exatidão entre os dados estimados e o adotado como padrão, enquanto que o valor zero significa que não há concordância entre os valores analisados.

Camargo & Sentelhas (1997) propõem uma interpretação do desempenho, a partir do índice c , em uma tabela que julga de péssimo a ótimo o desempenho da ETO.

Os dados de potencial hídrico obtidos foram analisados por meio de análise de variância com teste 'F'. Realizou-se análise de regressão polinomial (linear e quadrática), com uso do Software SISVAR (Ferreira, 2011).

Para dados em que ocorreram medidas repetidas ao longo do tempo, foi realizada a análise multivariada, com o auxílio do software SAS – Statistical Analytical System (SAS Institute, 1999), indicada quando há um ou mais de um fator com Medidas Repetidas no

Tempo. Para análise estatística, os dados dos potenciais mátricos e de pressão foram transformados em $\log_{10}(X+1)$.

Os dados de biometria da cultura foram submetidos à análise descritiva sendo apresentados em gráficos com as médias dos tratamentos.

3.14 – Caracterização da comunidade rural de Mutuca

Mutuca fica localizado município de Pesqueira-PE, distante 230 km da cidade de Recife, capital do estado, apresenta uma população de aproximadamente 5.500 habitantes e como a maioria dos povoados da zona rural do Estado, não dispõe de saneamento básico. Além disso, os efluentes domésticos de 1/3 do povoado drenam diretamente para o açude, responsável pela recarga do aquífero que abastece o poço amazonas e o poço tubular, principal fonte de água potável da região.

Com a doação de um terreno de 4078 m², próximo ao açude, pela Prefeitura Municipal de Pesqueira, foi construída uma Unidade de Tratamento de Esgoto. Segundo informações disponibilizadas por agentes de saúde, que trabalham no distrito, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Mutuca atende a uma parte do distrito de Mutuca correspondente a 150 residências com uma média de 5 moradores por unidade, 750 pessoas, cuja renda média é de um salário mínimo.

A estação de tratamento de esgotos existente no distrito de Mutuca é constituída de um tratamento preliminar com grades de barra, desarenador e calha Parshall; em seguida, um reator UASB, combinado com um filtro anaeróbico de fluxo descendente e lagoa de polimento (Figura 23).



Figura 23 – Estação de tratamento de esgoto (ETE-MUTUCA)

3.14.1 – Procedimentos metodológicos

As atividades voltadas para educação foram realizadas dentro do princípio da pesquisa participativa, onde as práticas educativas realizadas na Unidade de reuso agrícola apontaram para propostas pedagógicas centradas na mudança de hábitos, atitudes e práticas sociais, desenvolvimento de competências, capacidade de avaliação e participação dos educandos.

Nesta ocasião foram trabalhadas palestras de campo em que os professores e estudantes da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite tiveram acesso a Unidade de Tratamento de Esgoto além de aulas práticas com o monitoramento do Tanque Classe A. Ainda dentro desta atividade, estudantes da Escola Henrique Monteiro Leite construíram uma Maquete como réplica da área experimental na Estação de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola.

O Segundo encontro com a prática de educação ambiental que aconteceu no dia 19 de Março de 2015 e teve como principal objetivo o plantio de mudas de Moringa realizado pelos estudantes da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite entorno da Nascente do Rio Ipojuca. Visto que a nascente é localizada em Mutuca, patrimônio próprio do distrito, a sua preservação, torna-se de suma relevância do ponto de vista sócio-ambiental para os alunos presentes e as próximas gerações. A partir do plantio das mudas, realizou na Escola uma palestra sobre a importância da água e seus diferentes usos, com participação dos professores, estudantes, secretaria de educação do estado, professores e alunos da UFRPE e o do IF-Pesqueira.

Projetos de pesquisa, vinculados à Universidade Federal Rural de Pernambuco vem sendo desenvolvidos na Unidade de Reuso Hidroagrícola, com objetivo da utilização da água residuária, evitando a contaminação da mesma na Nascente do Rio Ipojuca. Determinar o consumo real de culturas com reaproveitamento da água de esgoto doméstico é a junção de soluções sustentáveis na área agrícola. Pesquisas com a utilização do lodo de esgoto doméstico vêm sendo realizada em culturas oleaginosas, com o intuito de uma resposta positiva no desenvolvimento destas plantas visando à conservação de água e solo. Buscando conhecer o comportamento da fisiologia vegetal dessas culturas ferramentas como, medições de clorofila e potencial hídrico foliar são utilizadas para um melhor aprofundamento nas relações do uso da água residuária. Avaliar o comportamento dos sais presentes no solo e potenciais de água no solo são monitoramentos frequentes e fundamentais que também vêm sendo desenvolvidos em Mutuca, para um bom manejo do uso da água residuária e do solo, sabendo-se que ambos estão envolvidos na longevidade de áreas agrícolas e principalmente na produção satisfatória de culturas.

Como difusão de tecnologia e produção desenvolveu-se a capacitação de um ator local Sr. Cícero Silva, que teve como objetivo valorizar as suas potencialidades, resgatando a auto-estima, funcionando como construção do empoderamento no meio rural.

4.0 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Evapotranspiração de Referência (ET_o)

Observou-se (Figura 24) que os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) apresentaram a mesma tendência durante todo o período estudado, com o valor médio de 4,68 mm dia⁻¹, com valor máximo de 5,52 mm no dia 31/03 e mínimo de 2,84 mm no dia 09/03, fornecendo um valor acumulado de 14,79 mm para o método de Penman-Monteith (FAO-56). No método de Hargreaves-Samani, a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi observado o valor médio de 5,06 mm dia⁻¹, com valor máximo de 6,19 mm no dia 27/02 e mínima de 4,56 mm no dia 15/04, fornecendo um valor acumulado correspondente a 16,21 mm.

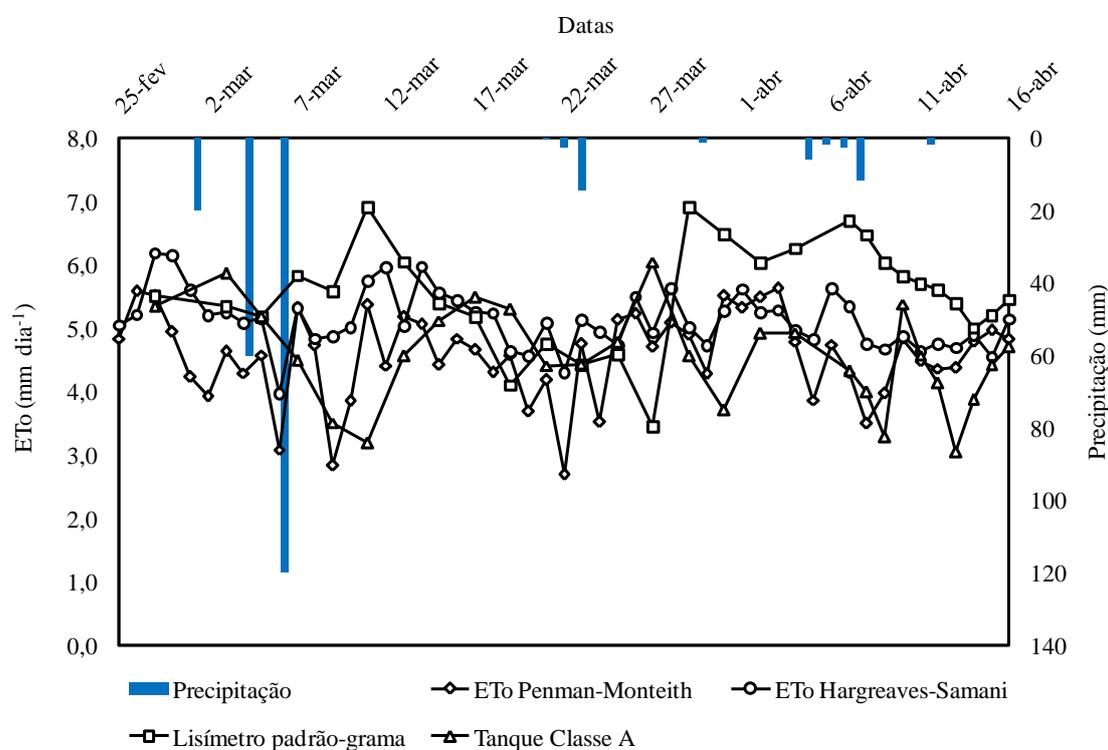


Figura 24 - Evapotranspiração de referência diária estimada e medida pelos métodos diretos e indiretos, Mutuca-PE, 2015.

O valor médio da evapotranspiração de referência (E_{To}), para o método padrão-grama, foi determinado em $5,55 \text{ mm dia}^{-1}$, com valor máximo de $6,91 \text{ mm}$ no dia 29/03 e mínimo de $3,45 \text{ mm}$ no dia 27/03, obtendo um valor acumulado de $16,66 \text{ mm}$ durante o período de fevereiro a abril.

No método do Tanque Classe A, obteve-se valor médio de $4,56 \text{ mm dia}^{-1}$, com valor máximo de $6,05 \text{ mm dia}^{-1}$ no dia 27/03 e mínima de $3,05 \text{ mm dia}^{-1}$ no dia 13/04 e evapotranspiração de referência acumulada de $14,36 \text{ mm}$ durante do período avaliado.

As estimativas pelo método de Hargreaves-Samani superestimaram a evapotranspiração de referência quando comparada com os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) em 18,33%. Esta tendência também foi verificada por Neves et al. (2005), Fernandes (2006), Araújo Filho et al. (2007), Borges & Mediondo (2007) e Back (2008).

Observou-se ainda que os valores de evapotranspiração de referência (E_{To}), medidos pelo lisímetro padrão-grama, foram superiores às estimativas de todos os outros métodos para a área em estudo. Os dados de evapotranspiração de referência estimado pelo método “Tanque Classe A” foram inferiores quando comparado a todos os outros medidos. Segundo Allen et al. (1998), a evapotranspiração de referência estimada pelo método do “Tanque Classe A” depende da disponibilidade de energia à superfície e também da demanda atmosférica por vapor de água, esta pode ser a possível razão pela qual seus valores diferem dos demais métodos empregados. Esta demanda é definida por um efeito combinado de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento (Allen et al. 1998).

4.2 - Correlação da E_{To} acumulada entre o lisímetro de lençol freático Padrão Grama e os métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A em intervalo de dois dias

Na (Figura 25) estão apresentadas os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear.

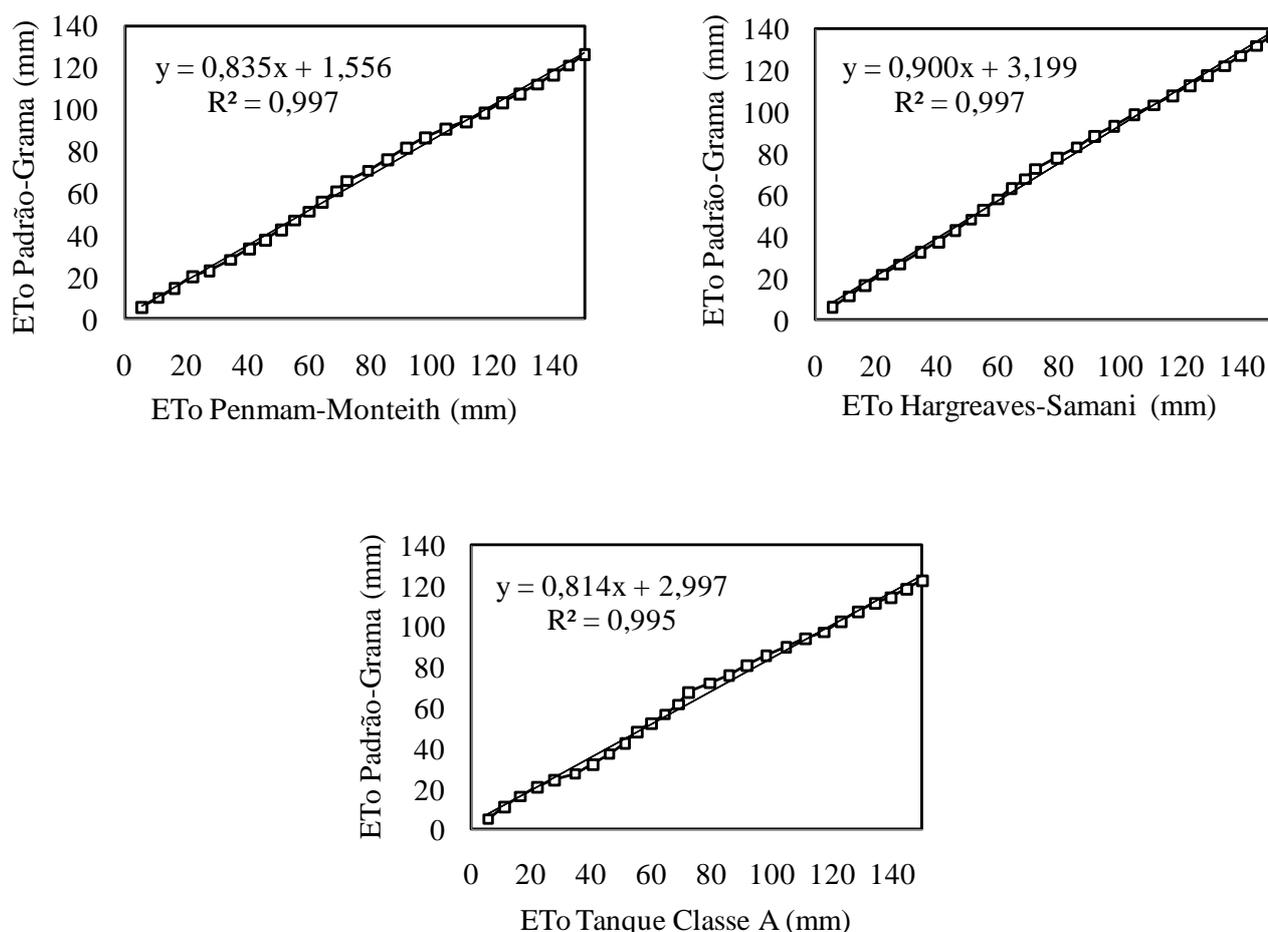


Figura 25 – Análise de correlação da ET0 diária acumulada medida pelo lisímetro de lençol freático Padrão-Grama pelos métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A, Mutuca-PE, 2015.

Santos et al. (2008), avaliando desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo na mesma região, também testou o desempenho de alguns métodos de estimativa da ET0, e encontrou um desempenho muito bom para o método de Penman-Monteith e para o método do Tanque Classe A em relação lisímetro de pesagem.

Mendonça et al. (2003), na região Norte Fluminense, RJ, compararam a evapotranspiração de referência por lisímetro com modelos empíricos, e encontraram valores semelhantes ao deste trabalho, para Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A.

A Tabela 2 apresenta os valores de correlação do lisímetro de lençol freático de carga constante com os métodos avaliados, bem como os valores do coeficiente de concordância de

Wilmont (d), de confiança (c), e classificação dos métodos de acordo com Camargo & Sentelhas (1997) para investigação da ETo média a cada 2 dias.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de desempenho (c), para as correlações entre ETo do lisímetro de lençol freático de carga constante pelos métodos de Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani e Tanque Classe A.

Métodos	r	d	c	Desempenho
Lis. x Penman-Monteith	0,99	0,99	0,99	Ótimo
Lis. x Hargreaves-Samani	0,99	0,99	0,99	Ótimo
Lis. x Tanque Classe A	0,99	0,99	0,99	Ótimo

Com relação ao índice “d” que avalia a exatidão (concordância) dos valores estimados de ETo pelos métodos propostos, Tabela 2, todos os métodos avaliados e comparados com o método padrão (lisímetro padrão-grama) apresentaram valores de 0,99, considerados como de muito boa concordância.

Para o índice “c”, Tabela 2, os métodos Penman-Monteith (FAO-56), Hargreaves-Samani (1985) e Tanque Classe A foram classificados como “ótimos” para o critério desempenho, para estimativas de dois dias.

Gonçalves et al. (2009) encontraram boa correlação da ETo para o município de Sobral no Ceará para o ano de 2006; Souza et al. (2010) e Silva et al. (2011) também encontraram boa correlação da evapotranspiração diária entre os métodos de Hargreaves-Samani e Penman Monteith-FAO; o primeiro no perímetro irrigado do Estado de Sergipe e o outro em Uberlândia-MG.

Resultados semelhantes corroboram com a pesquisa para o método de Hargreaves-Samani, que segundo, Cavalcanti Junior et al. (2010) e Moura et al. (2013) obtiveram, respectivamente, desempenho “muito bom” e “Ótimo” e valores R^2 iguais a 0,75 e 0,93. Os resultados obtidos por estes autores foram em estudos realizados em Mossoró-RN e Vitória de Santo Antão-PE.

Dos Santos et al. (2008) utilizaram lisímetro de pesagem instalado na mesma área de estudo do presente trabalho como modelo padrão de estimativa e verificaram que o método do Tanque Classe A foi adequado aos valores obtidos através da lisimetria, para o período de

Novembro de 2003 a Janeiro de 2004. Os cuidados apontados pelos mesmos autores referem-se à ocorrência de eventos pluviométricos que irão provocar erros de leitura.

Resultados semelhantes foram verificados por Carvalho et al. (2006), que testaram vários métodos de evapotranspiração para a região de Seropédica (RJ) e apontaram o Tanque Classe A como de ótimo desempenho.

4.3 - Evapotranspiração da cultura (ETc) da Moringa em lisímetro de drenagem

A evapotranspiração da moringa no lisímetro de drenagem foi estabelecida a partir de intervalos de dois dias para que a água de irrigação fosse totalmente distribuída no solo bem como consumida pela planta. A adoção desse critério de estabelecer a evapotranspiração da moringa (ETc) em período superior a um dia se justifica pela maior consistência dos dados em comparação com dados diários, recomendado por Santos e Montenegro (2009).

De acordo com a metodologia apresentada, procedeu-se à determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) por meio das diferenças de entrada e saída de água do sistema, representando o consumo de água pela planta em intervalos de dois dias aos 240 dias após o transplante (DAT), quando se iniciou a condução do experimento, encontrada na Figura 26.

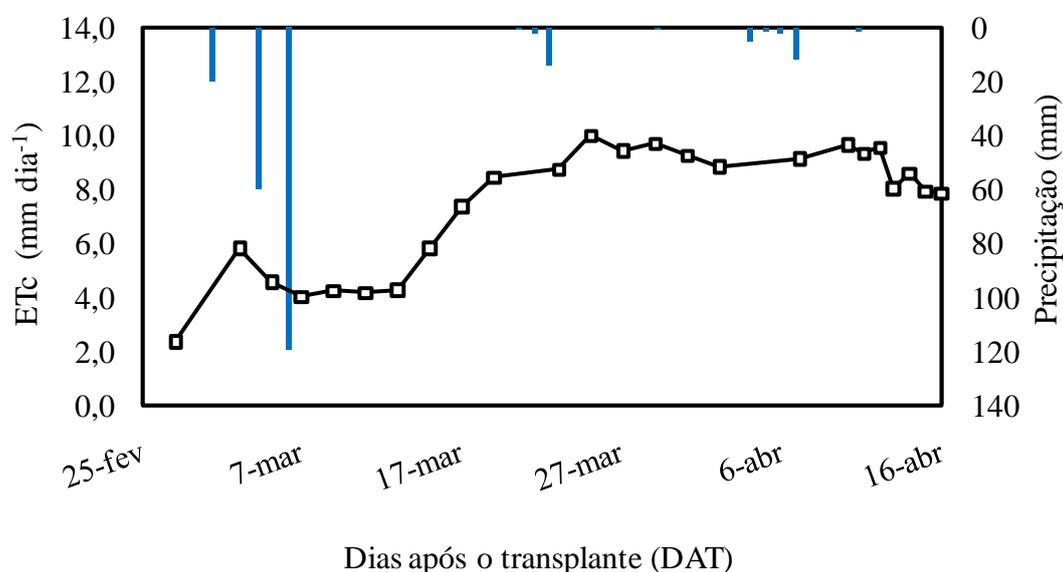


Figura 26 - Variação da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de dois dias determinada pelo lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.

Percebe-se, como esperado, que os dados de evapotranspiração da cultura (ETc) foram bastante variáveis ao longo do seu ciclo reprodutivo, com valor mínimo de $2,3 \text{ mm dia}^{-1}$ no início da Fase I e valor máximo de $10,04 \text{ mm dia}^{-1}$ no final da Fase II. Esta grande variação ao longo do ciclo pode estar associada às variações da demanda atmosférica que influenciam o processo, como a radiação solar global, efeito da velocidade do vento e da umidade relativa, conforme referido por Farahani et al. (2008).

Segundo Souza (2003), variações na taxa de evapotranspiração diária durante a mesma fase fenológica podem ser decorrentes das condições meteorológicas locais e da duração da referida fase. Por sua vez, Blanc et al. (2008) verificaram que o aumento da ETc, decorrente da elevação da demanda evaporativa da atmosfera, dentre outros fatores, é causado pelo aumento da radiação solar global, a qual tem forte influência.

Observa-se ainda que, em geral, a evapotranspiração da cultura apresentou valores mais elevados após as irrigações ou chuva quando, em decorrência da maior disponibilidade de água no solo, houve maior taxa do processo de evapotranspiração, de acordo com Rodrigues (2003), o que pode ser visualizado na Figura 27.

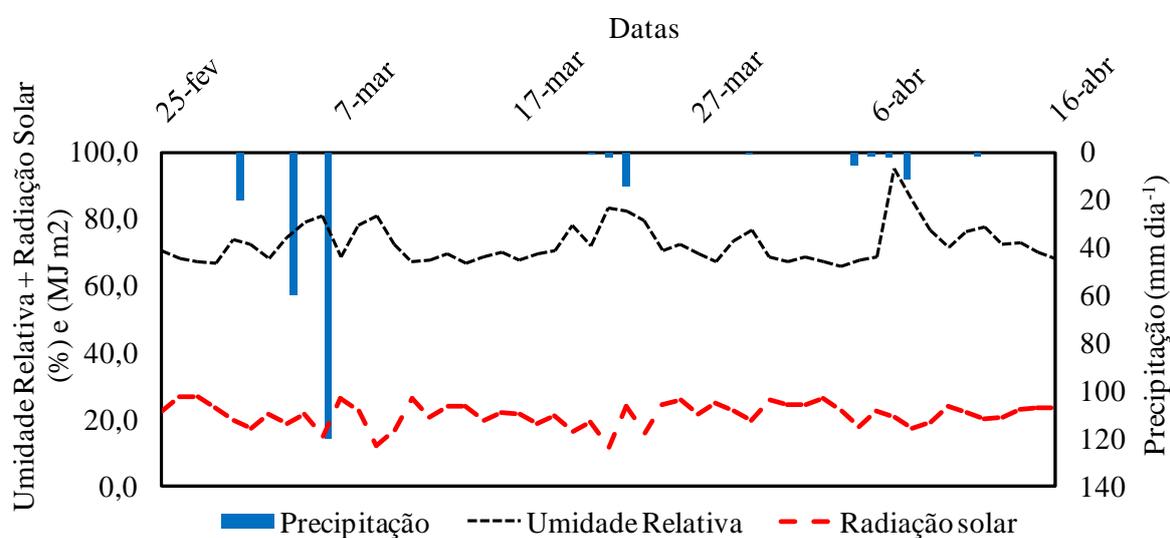


Figura 27 – Variação da precipitação pluvial, umidade relativa do ar e radiação solar durante o período de condução do experimento, Mutuca-PE.

A exceção a esta situação ocorreu na fase inicial e final, com dias consecutivos de intensa nebulosidade e precipitação (Figura 27), acarretando queda na radiação solar global e velocidade do vento, além de elevação na umidade relativa, o que resultou em baixo valor da evapotranspiração da cultura, mesmo com elevado conteúdo de umidade do solo.

Quando se analisam os valores médios da evapotranspiração da cultura por fases do ciclo fenológico avaliado para o período de condução do trabalho (Tabela 3), nota-se um valor mínimo de 4,1 mm dia⁻¹ no início da condução do experimento (Fase I) e um máximo de 9,3 mm dia⁻¹ na fase de frutificação (Fase III). Constata-se ainda nesta Tabela que a evapotranspiração da cultura foi crescente da Fase I à Fase III, quando alcançou o máximo, voltando em seguida a decrescer o que está de acordo com o observado por Junior Colleti et al. (2012), trabalhando com pinhão-manso em lisímetro de drenagem, que obtiveram valores de evapotranspiração crescente da Fase I para a III, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Tabela 3 - Valores médios da evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa oleífera*, por fase fenológicas.

Fases de desenvolvimento		ETc médio (mm dia ⁻¹)	ETc do período (mm)
240 – 247 dias	Fase I - Pré-floração	4,1	29,3
247 – 254 dias	Fase II - Floração	8,5	59,4
254 – 291 dias	Fase III - Frutificação	9,3	46,1
Total		-	134,8

4.4 - Evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa* em lisímetro de lençol freático de carga constante

Na Figura 28 são apresentados os dados observados da evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa*, determinada pelo lisímetro de lençol freático de carga constante irrigada com água residuária aos 240 DAT. Foram utilizados intervalos de dois dias para as leituras no tanque medidor, visando uma melhor distribuição da água no solo, bem como o consumo pela planta. A adoção desse critério de estabelecer a evapotranspiração da *moringa* (ETc) em período superior a um dia se justifica pela maior consistência dos dados em comparação com dados diários recomendado, por Santos e Montenegro (2009).

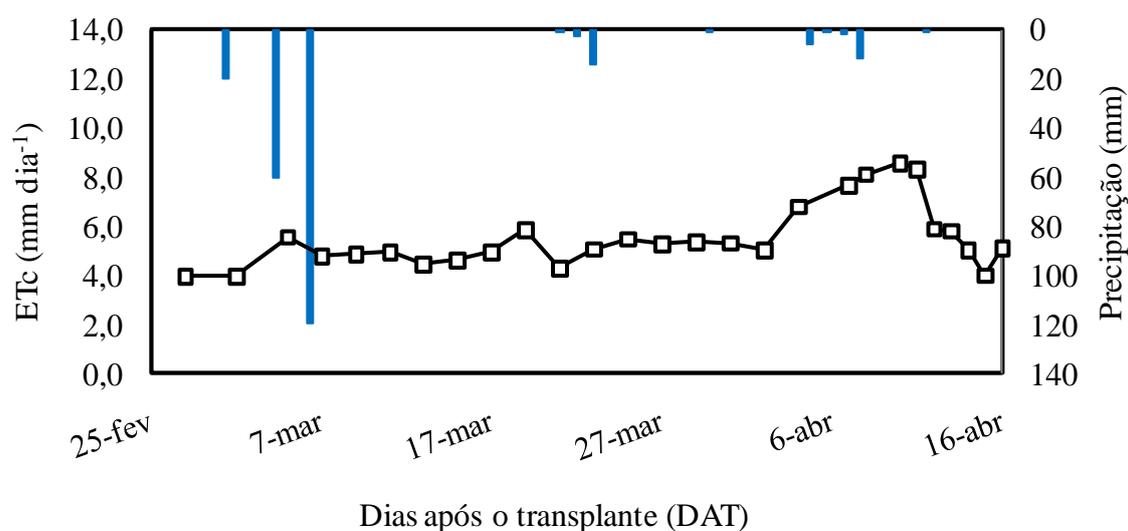


Figura 28 - Variação da evapotranspiração da cultura (ETc) em intervalos de dois dias determinada pelo lisímetro de lençol freático, Mutuca-PE.

Observa-se, como esperado, e pelos dados da Figura 28, que a evapotranspiração da cultura foi bastante variável ao longo do seu ciclo reprodutivo, com valor mínimo de 4,0 mm dia⁻¹ no final da Fase I, e valor máximo de 8,6 mm dia⁻¹, no final da Fase III.

Os valores médios da evapotranspiração da cultura por fases do ciclo fenológico avaliado para o período de condução do trabalho encontram-se na Tabela 4. Nota-se um valor mínimo de 4,6 mm dia⁻¹, no início da condução do experimento (Fase I), e um máximo de 6,7 mm dia⁻¹, na fase de frutificação (Fase III). Com base no exposto, observou-se que a moringa logo após o transplante até o início do florescimento foi mais exigente em umidade do solo durante a Fase III, obtendo-se uma evapotranspiração acumulada de 46,9 mm e um valor de evapotranspiração máxima da cultura durante toda fase experimental de 114,9 mm.

Tabela 4 - Valores médios da evapotranspiração da cultura (ETc) da *Moringa oleífera*, por fase fenológica.

Fases de desenvolvimento		ETc médio (mm dia ⁻¹)	ETc do período (mm)
240 – 247 dias	Fase I - Pré-floração	4,6	32,5
247 – 254 dias	Fase II - Floração	5,1	35,5
254 – 291 dias	Fase III - Frutificação	6,7	46,9

Total	-	114,9
-------	---	-------

Nota-se que, nos primeiros meses do desenvolvimento das plantas, as taxas de evaporação e transpiração variam consideravelmente. De acordo com Allen et al. (1998), na fase de implantação, a planta tem pouca área foliar e o solo em que ela se encontra está quase que por completamente exposto aos fatores atmosféricos.

Assim, as taxas de evaporação representam quase por completo os valores de evapotranspiração. À medida que a área foliar da cultura vai aumentando, os valores se invertem, sendo a transpiração o componente que mais representa a evapotranspiração.

4.5 – Coeficiente de cultivo (Kc) da Moringa oleífera

Para estimativa e determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) foram utilizados dois métodos, como medida indireta Penman-Monteith (FAO-56), e como medida direta o lisímetro de lençol freático de carga constante padrão-grama, ambos para determinação do coeficiente de cultura (K_c).

Os valores de coeficiente da cultura (K_c) da *Moringa oleífera* estimado pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) aos 240, 254, 291 dias após o transplante (DAT) variaram em função do consumo diário da cultura, no qual apresentaram valores médios de K_c correspondente a 0,75, 1,75, 1,73 respectivamente. Foram alcançados valores crescentes na fase inicial correspondente aos primeiros 240 DAT, constante na fase de floração e frutificação, de 254 a 291 DAT, em média 1,75 e 1,73, apresentados na Figura 29.

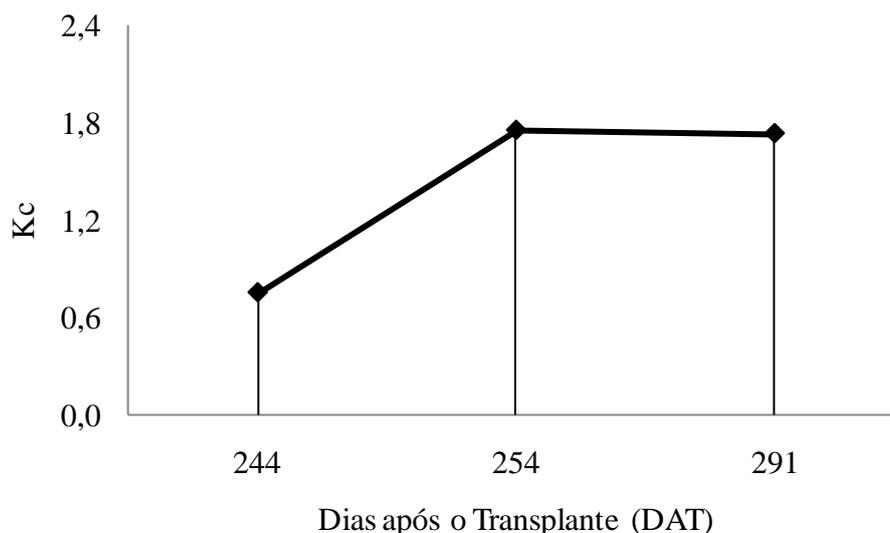


Figura 29 - Coeficiente de cultivo (K_c) da Moringa em lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.

Ressalta-se que o elevado valor de K_c observado nas Fases II e III do presente trabalho que correspondem ao ciclo reprodutivo, pode ter sido afetado por vários fatores, sendo eles: elevada demanda atmosférica nos meses na qual o ciclo estava inserido; irrigação somente nas plantas dos lisímetros e de forma localizada, com poucas plantas exercendo o efeito bordadura e espaçamento da cultura.

Todos esses fatores contribuíram para a elevada demanda hídrica da cultura, ficando visível o que relataram Bernardo et al. (2005), ou seja, plantas isoladas ou pequenas áreas cultivadas próximas de áreas com solo descoberto, estão sujeitas a maiores intensidades de evapotranspiração, pois recebem energia solar diretamente sobre a área e ainda a energia da massa de ar quente e com baixa umidade, proveniente da área sem vegetação, caracterizando o chamado Efeito Oásis.

De maneira semelhante, Junior Colleti et al. (2012), em trabalho para estimar o K_c do pinhão-mansão nas condições edafoclimáticas de Tangará da Serra-MT, também utilizando lisímetro de drenagem, encontraram valores de K_c muito elevado, superiores aos observados no presente trabalho. Estes autores constataram que o ciclo da cultura apresentou fases distintas, as quais foram identificadas com as durações de 60-150, 150-272, 273-395 e 396-515 dias após o transplante, cujos dados foram: 1,14 (fase inicial), 2,61 (1ª fase reprodutiva) 4,08 (2ª fase reprodutiva) e 2,44 (3ª fase reprodutiva). Constatação de diferentes resultados vem apenas reforçar a necessidade de ajustes de coeficientes de cultivo para cada região específica, tendo em vista que as condições edafoclimáticas interferiram nas estimativas.

Montenegro et al. (2003), trabalhando com uso de água subterrânea salina em halófitas no semiárido nordestino, notaram que a *Atriplex nummularia* apresentaram adequado desenvolvimento, com coeficiente de cultura máximo de 1,03, quando irrigada com água de salinidade de 26 dS m^{-1} , corroborando quanto ao coeficiente de cultivo de culturas arbustivas como a Moringa.

Com relação aos valores de coeficiente da cultura (K_c) da Moringa *oleífera* utilizando-se lisímetro de lençol freático de carga constante estimado pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) aos 240, 254, 291 dias após o transplante (DAT), estes variaram em função do consumo diário da cultura, produzindo valores médios de K_c correspondentes a 0,85, 1,1, 0,94, conforme a Figura 30.

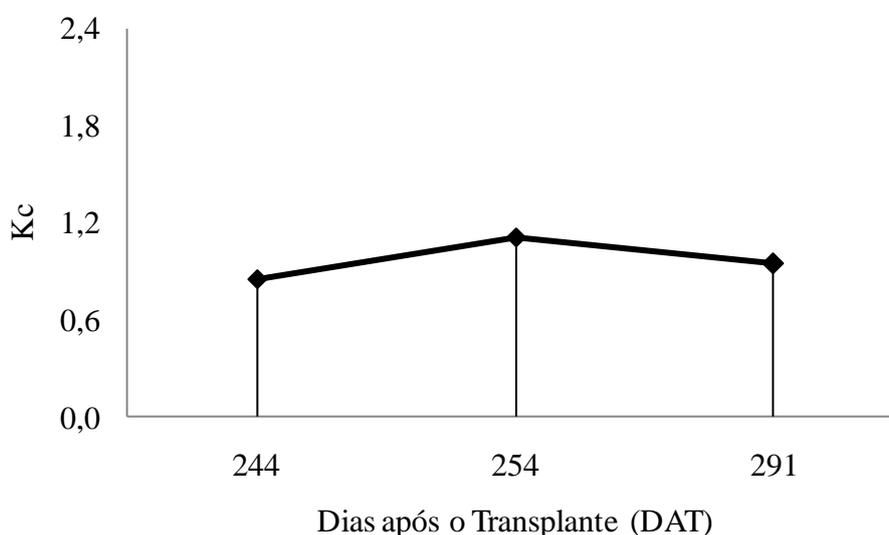


Figura 30 - Coeficiente de cultivo (K_c) da Moringa em lisímetro de lençol freático de carga constante, Mutuca-PE.

Foram alcançados valores crescentes na fase inicial correspondente aos primeiros 240 DAT, decrescentes na fase de floração e frutificação, de 254 a 291 DAT, em média 1,1 e 0,94.

Observando-se os valores de coeficiente da cultura (K_c) da Moringa *oleífera* utilizando-se lisímetro de drenagem estimado pelo método lisimétrico padrão-grama aos 240, 254, 291 dias após o transplante (DAT), as estimativas variaram em função do consumo diário da cultura, com valores médios de K_c correspondentes a 0,73, 1,63, 1,61, (Figura 31).

Foram alcançados valores crescentes na fase inicial correspondentes aos primeiros 244 DAT, decrescentes na fase de floração e frutificação, de 254 a 291 DAT, em média 1,63 e 1,61.

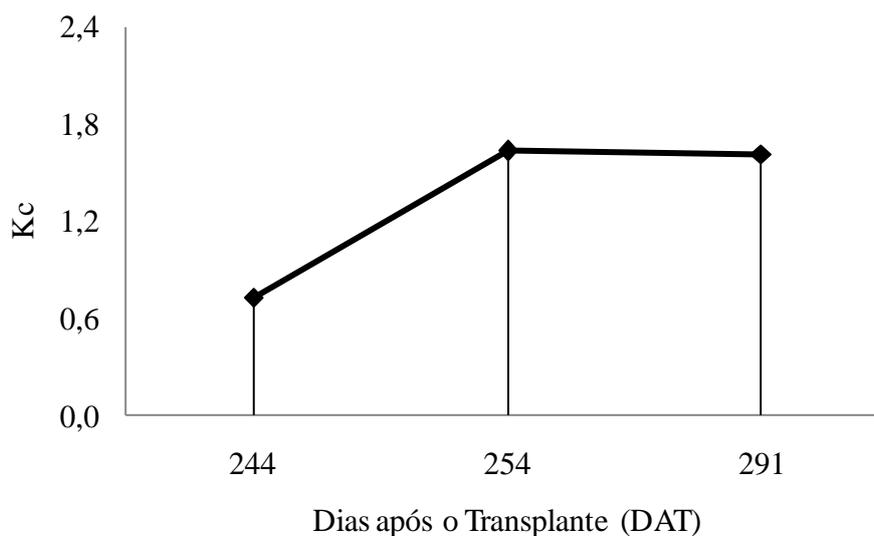


Figura 31 - Coeficiente de cultivo (K_c) da Moringa em lisímetro de drenagem, Mutuca-PE.

O maior consumo de água pela cultura coincidiu com o período de florescimento e desenvolvimento dos frutos (254 a 291 DAT), estando relacionado com alta demanda de evapotranspiração e trocas de energia com o meio.

Os altos valores de coeficiente de cultura encontrados para moringa no lisímetro de drenagem são devido ao fato de que foram calculados em relação à evapotranspiração de referência obtida em grama, que resultaram em valores altos de evapotranspiração de referência obtidos em grama e, conseqüentemente, levariam a valores maiores de coeficiente de cultura. Com efeito, pequenas áreas cultivadas próximas de áreas com solo descoberto, estão sujeitas a maiores intensidades de evapotranspiração (Bernardo et al., 2006).

A evapotranspiração é controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas (Pereira et al., 1997). A radiação solar, combinada com temperatura do ar, são os elementos climáticos que exercem maior influência no processo de evapotranspiração (Klosowski et al., 1999).

Observando-se os valores de coeficiente da cultura (K_c) da Moringa *oleífera* utilizando-se lisímetro de lençol freático de carga constante, estimados pelo método lisimétrico padrão-grama aos 240, 254, 291 dias após o transplante (DAT), as estimativas variaram em função do consumo diário da cultura, apresentando valores médios de K_c correspondentes a 0,77, 1,12, 1,04, conforme a Figura 32.

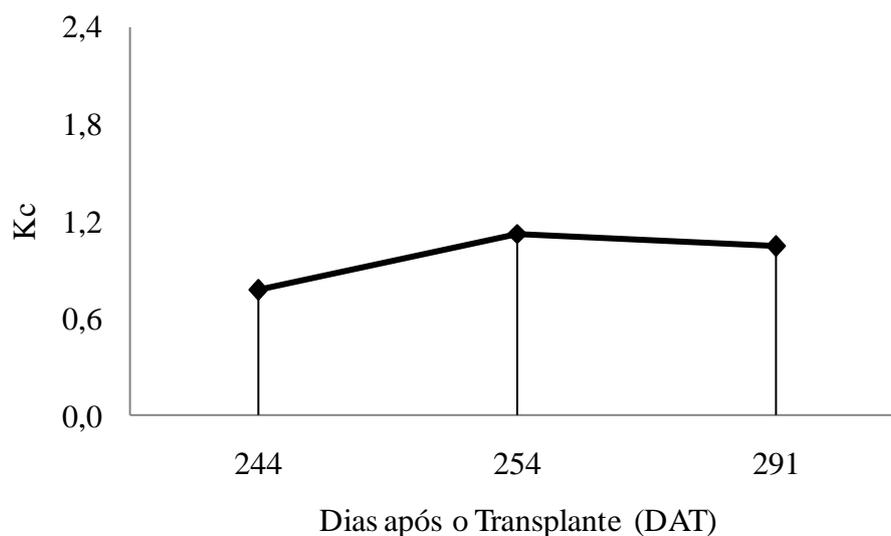


Figura 32 - Coeficiente de cultivo (K_c) da Moringa em lisímetro de lençol freático de carga constante, Mutuca-PE.

Foram alcançados valores crescentes na fase inicial, correspondentes aos primeiros 240 DAT, decrescentes na fase de floração e frutificação, de 254 a 291 DAT, em média 1,12 e 1,04 respectivamente.

Nota-se que mesmo com altos valores de evapotranspiração de referência medidos por lisímetro de lençol freático padrão-grama, obteve-se baixa evapotranspiração da cultura. Esse comportamento de baixa evapotranspiração da cultura, segundo Cury Lunardi (2000), deve-se à reduzida evaporação do solo e à lentidão da ascensão capilar, por interrupção da capilaridade, provocando o prevalectimento da transpiração. Dessa forma, contribui para valores baixos do consumo hídrico da planta no lisímetro de lençol freático.

4.6 - Potencial hídrico foliar em plantas de *Moringa oleífera*

A análise de variância e as médias observadas para o potencial hídrico da espécie *Moringa oleífera*, em avaliações realizadas às 4, 6, 8, 10 e 12 horas aos 307, 308 e 309 dias após o transplante (DAT), estão resumidas na Tabela 5.

Verifica-se que os dias de avaliação em seus respectivos horários afetaram, significativamente, no potencial hídrico da *Moringa oleífera*, aos 307, 308 e 309 DAT, respectivamente, sendo significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo de análise de variância e médias para potencial hídrico avaliados na cultura da moringa às 4, 6, 8, 10 e 12 horas aos 307, 308, 309 dias após o transplante (DAT).

Fontes de Variação	GL	Valores de Quadrados Médios		
		307 DAT	308DAT	309DAT
Potencial Hídrico	4	0,76 ^{NS}	0,24 [*]	0,21 ^{NS}
Reg. Linear	1	1,99 [*]	0,61 ^{**}	0,82 [*]
Reg. Quadrática	1	0,07 ^{NS}	0,19 ^{NS}	0,04 ^{NS}
Desvio Regressão	2	0,50 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,00 ^{NS}
Bloco	1	0,20	0,02	0,06
Resíduo	4	0,22	0,03	0,07
CV (%)		52,77	29,02	38,63

	Médias		
	MPa	MPa	MPa
Ψ_w (4 horas)	-0,36	-0,25	-0,36
Ψ_w (6 horas)	-0,27	-0,36	-0,45
Ψ_w (8 horas)	-0,88	-0,91	-0,63
Ψ_w (10 horas)	-1,77	-1,06	-0,83
Ψ_w (12 horas)	-1,18	-0,78	-1,18

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; NS não significativo

O modelo matemático que melhor se ajustou ao potencial hídrico ($P > 0,05$) aos 307 DAT foi linear, decrescendo desde o amanhecer até atingir um valor de (-1,18 MPa) às 12:00 h, encontrado na Figura 33.

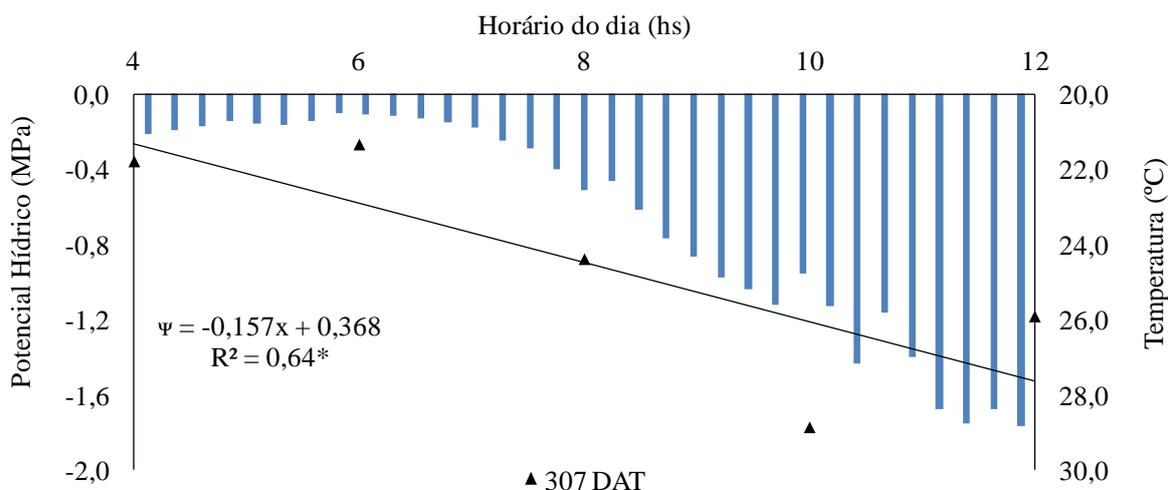


Figura 33 – Relação do potencial hídrico foliar médio em diferentes horários, aos 307 DAT na *Moringa oleífera* cultivada em lisímetros de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.

Observa-se a diminuição do potencial hídrico da planta com o aumento da temperatura do ar. Segundo Medina et al. (1999), a redução do Ψ_w na folha no decorrer do dia está relacionada com o aumento da taxa de transpiração, que ocorre devido à alta demanda atmosférica entre as 8 e às 12 horas.

A queda da fotossíntese nos horários do meio dia pode ser atribuída à redução da condutância estomática (Dias & Marengo, 2007), diminuindo a ponto de evitar que o potencial hídrico da folha desça abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água (Oren et al., 1999).

Diversos trabalhos constataram redução do potencial hídrico foliar de espécies florestais em resposta ao estresse hídrico, assim como Costa et al. (2007) – *Carapa guianensis*; Martins (2008) - *Azadirachta indica*; Sausen et al. (2010) - *Ricinus communis*; Silva et al. (2008) – *Mimosa caesalpinifolia*, *Enterelobium contortisiliquum* e *Tabebuia áurea*.

Na Figura 34 o modelo matemático que melhor se ajustou ao potencial hídrico ($P < 0,01$) aos 308 DAT foi linear, decrescendo desde o amanhecer até atingir um valor de (-0,78 MPa) às 12:00 h.

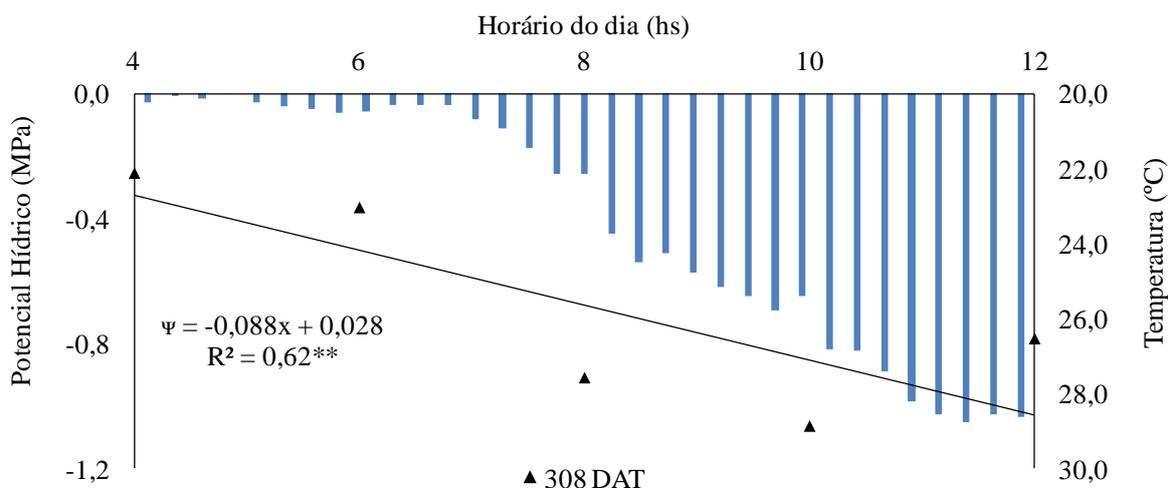


Figura 34 – Relação do potencial hídrico foliar médio analisado em diferentes horários, aos 308 DAT na *Moringa oleifera* cultivada no lisímetro de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.

As condições hídricas dos vegetais estão correlacionadas com o teor de água nas folhas, e uma maneira de expressar a deficiência de água nesses tecidos é medir o status de energia da água, ou seu potencial total (Nogueira et al., 2000). Assim, avaliações do Ψ_w foliar têm sido bem responsivos e correlacionados com a temperatura do ar.

Nota-se a influência significativa do efeito da temperatura no potencial hídrico da *Moringa oleifera*, principalmente nas horas mais quentes do dia, onde ocorre queda da condutância estomática, podendo ser atribuída ao aumento do déficit de pressão de vapor, à diminuição do potencial hídrico da folha ou ao efeito combinado de ambos fatores, sem excluir o efeito da irradiância (Costa et al., 2007).

Paralelamente, Silva et al. (2013) em avaliação do potencial hídrico na espécie *Moringa oleifera*, encontraram resultados semelhantes ao do presente estudo. Observou que o Ψ_w foliar é máximo quando o teor de água da folha é alto, o que ocorre nas primeiras horas da manhã, quando a folha não perdeu muita água por transpiração.

Na Figura 35 o modelo matemático que melhor se ajustou ao potencial hídrico ($P < 0,05$) aos 308 DAT foi linear, decrescendo desde o amanhecer até atingir um valor de (-1,18 MPa) às 12:00 h.

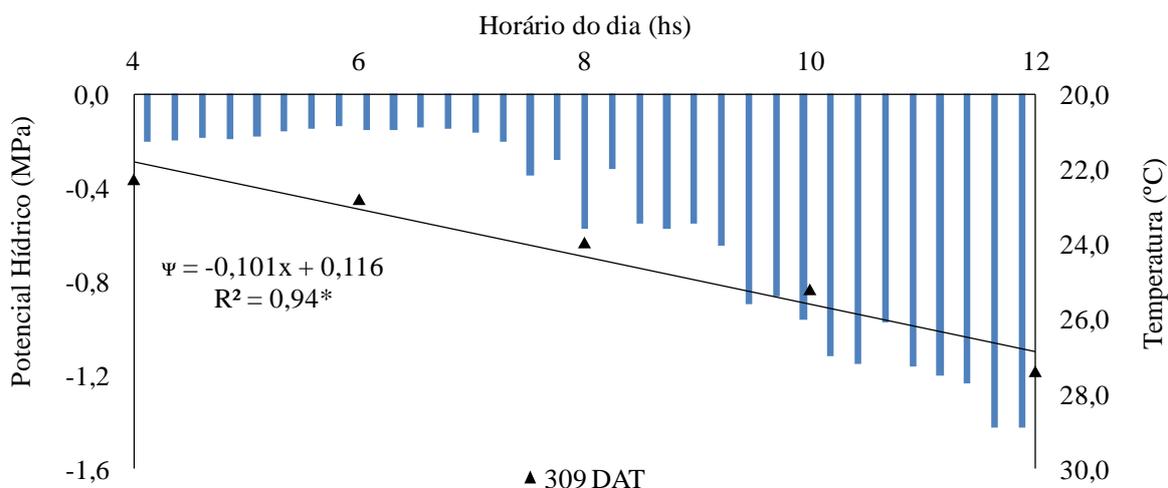


Figura 35 – Relação do potencial hídrico foliar médio analisado em diferentes horários, aos 309 DAT na *Moringa oleífera* cultivada no lisímetro de drenagem e lençol freático, Mutuca-PE.

Conforme o esperado Figura 35, ao meio dia, horário de maior demanda evaporativa, as plantas avaliadas apresentaram menores valores de Ψ_w , em relação à avaliação as 4 e 6 horas da manhã. A avaliação do potencial hídrico foliar na madrugada, horário em que a transpiração é reduzida ou inibida, é de extrema importância, uma vez que nesse horário há um equilíbrio entre o Ψ_w da planta com o do solo (Améglío et al. 1999; Andrade, 1998). Em virtude dos estômatos ainda se encontrarem fechados, é possível observar o efeito apenas do déficit hídrico, já que a transpiração é reduzida não havendo influência da temperatura (Pimentel, 2004).

Diversos autores também encontraram reduções significativas ao avaliar o Ψ_w entre os diferentes horários do dia (Brunini & Cardoso, 1998; Costa et al. 2007; Jadoski et al. 2005; Perez & Moraes, 1991), corroborando com os potenciais hídricos foliares encontrados na presente pesquisa, que foram menores para as avaliações ao meio dia.

4.7 - Monitoramento dos potenciais do solo nos lisímetros

A análise multivariada permitiu avaliar o efeito das interações com medidas ao longo do tempo nos lisímetros em profundidades de 20, 40, 50 e 60 cm, monitorados em dois horários distintos, às 9:00 h e às 16:00 h. Para as variáveis potenciais mátricos e potenciais de pressão, durante 260 DAT até 408 DAT, verifica-se, pelo nível de significância ($P < 0,05$ e $0,01$), que

houve diferenciação entre os níveis de profundidade e horário estudados com o tempo nos respectivos lisímetros.

Detalhadamente as avaliações ao longo do tempo mostraram que para as variáveis, potencial mátrico e potencial de pressão, houve influência significativa do tempo utilizado na avaliação ($P < 0,01$). No que se refere as avaliações nos blocos, observa-se que houve interação entre o tempo utilizado na avaliação e os blocos ($P < 0,01$). Em relação ao tempo x profundidades, houve interação significativa ($P < 0,01$), bem como para os fatores tempo x horário ($P < 0,01$) e tempo x profundidades x horários ($P < 0,05$), encontrados na Tabela 6.

Tabela 6- Análise de variância multivariada (MANOVA) dos potenciais mátricos e de pressão a partir dos 260 até 408 dias após o transplante (DAT).

Fontes de Variação	GL	Valores de Quadrados Médios
		Ψ_m e Ψ_p (KPa)
Tempo	31	0,10**
Tempo x Bloco	62	0,04**
Tempo x Prof.	93	0,04**
Tempo x Horário	31	0,05**
Tempo x Prof. x Horário	93	0,03*
Resíduo	155	0,02
CV (%)		47,00

* e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; NS não significativo.

Nas Figuras 36, 37, 38, 39, 40 e 41 apresenta-se a variação dos potenciais mátricos e de pressão nas profundidades 20, 40, 50 e 60 cm, monitorados em dois horários distintos, às 9:00 h e às 16:00 h, nos três lisímetros: lençol freático de carga constante (padrão-grama), lençol freático de carga constante (planta) e drenagem (planta).

De acordo com a Figura 36, apresenta-se a variação de dinâmica mais intensa do potencial de pressão no lisímetro de lençol freático, devido às precipitações pluviométricas no período, bem como ao nível do lençol freático, favorecendo a atuação de um potencial de pressão hidrostática durante toda série temporal. Tal fato explicável, pelo cultivo de grama no lisímetro que pode ter funcionado como isolante térmico do solo, impossibilitando a evapotranspiração máxima da água no presente lisímetro.

Pode-se notar ainda, elevada dinâmica de variação para as profundidades de 40 e 50 cm, que apresentou maiores potenciais de pressão hidrostática com valores médios de 3,9 e 2,1 KPa, o que é de certo modo esperado, devido a diversos fatores: as maiores profundidades do solo com nível de lençol permanente no lisímetro, precipitações pluviométricas no período. As profundidades de 40 e 50 cm são homogêneas e encontram-se abaixo da zona radicular, estando menos sujeitas aos efeitos das trocas hídricas na superfície do solo. Na profundidade de 20 cm, houve baixa variação do potencial de pressão, com valor médio de 0,8 KPa e tal fato é explicado devido às trocas hídricas na superfície do solo.

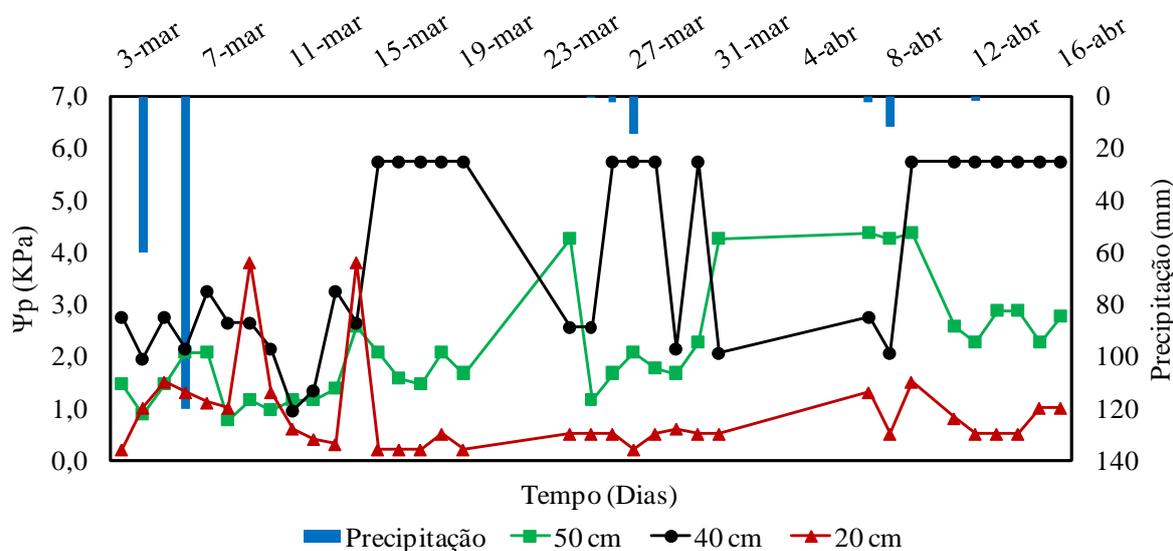


Figura 36 - Variação temporal dos potenciais de pressão, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (padrão-grama), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.

Verifica-se na Figura 37 elevada dinâmica de variação para as profundidades de 40 e 50 cm, onde se verificaram maiores potenciais de pressão hidrostática com valores médios de 3,6 e 2,3 KPa, o que é de certo modo esperado, devido a diversos fatores: as maiores profundidades do solo com nível de lençol permanente no lisímetro, precipitações pluviométricas no período e ainda a existência de camadas mais homogêneas abaixo da zona radicular, menos sujeitas aos efeitos das trocas hídricas na superfície do solo.

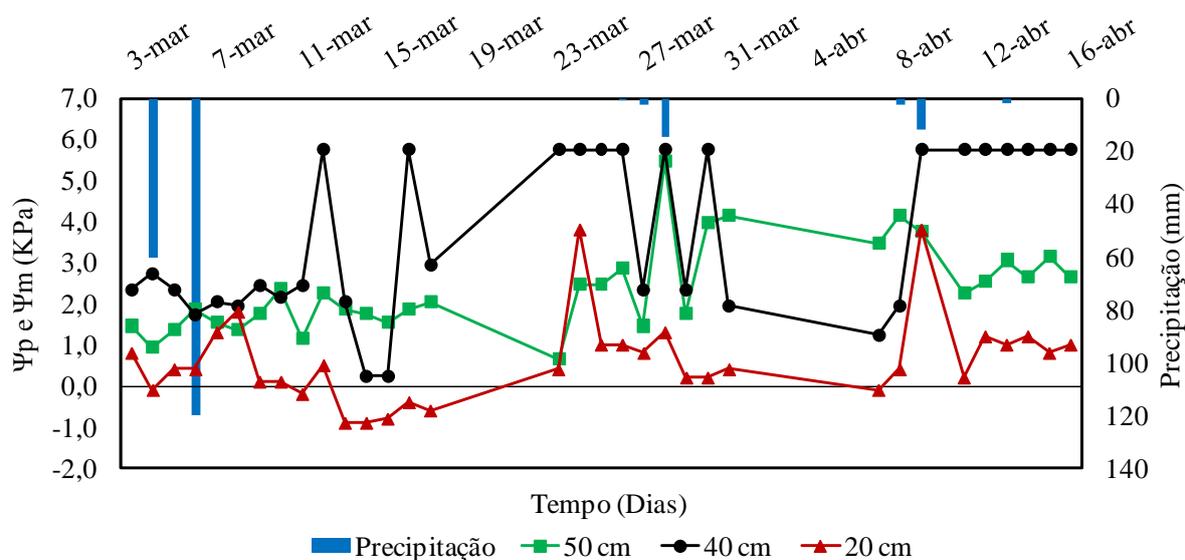


Figura 37 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (padrão-grama), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.

Observa-se ainda que na profundidade de 20 cm, houve período que ocorreu o secamento do solo com posterior reposição de água, contribuindo para um potencial de energia negativo no solo.

Assis Junior & Reichardt (1997) observaram, em um trabalho de campo, que a resposta do tensiômetro de mercúrio e do tensiômetro de punção digital foram semelhantes.

Observa-se na Figura 38, elevada dinâmica de variação para a profundidade de 40 cm, com maior potencial de pressão hidrostática com valor médio de 2,6 KPa, o que é de certo modo esperado, devido a diversos fatores: maior profundidade do solo com nível de lençol permanente no lisímetro, precipitações pluviométricas no período, homogeneidade do solo abaixo da zona radicular, estando menos sujeitas aos efeitos das trocas hídricas na superfície do solo.

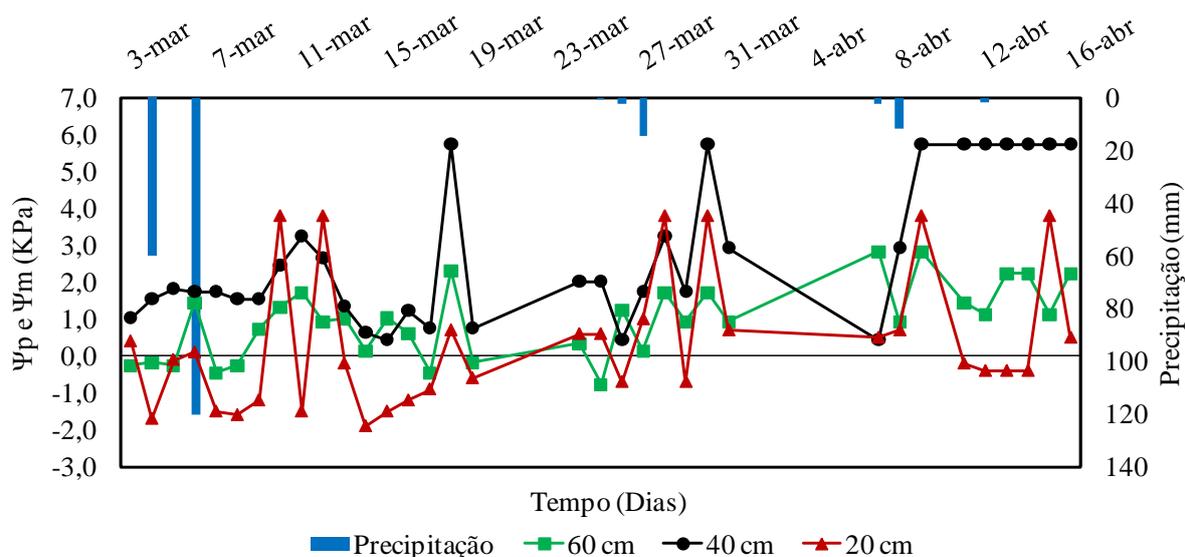


Figura 38 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (planta), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.

Verifica-se nas profundidades de 20 e 60 cm, que houve períodos que ocorreu o secamento do solo com posterior reposição de água, contribuindo para um potencial de matricial negativo no solo.

Potenciais mátricos a 60 cm de profundidade pode ser explicado pelo rebaixamento do lençol freático, tornando essa camada mais seca e com menor potencial de energia, favorecendo a adesão de água na matriz do solo.

Observa-se na Figura 39, elevada dinâmica de variação para a profundidade de 40 cm, com maior potencial de pressão hidrostática, com valor médio de 2,6 KPa, o que é de certo modo esperado, devido a diversos fatores: maior profundidade do solo com nível de lençol permanente no lisímetro, precipitações pluviométricas no período e ainda que é uma camada mais homogênea e encontra-se abaixo da zona radicular, estando menos sujeitas aos efeitos das trocas hídricas na superfície do solo.

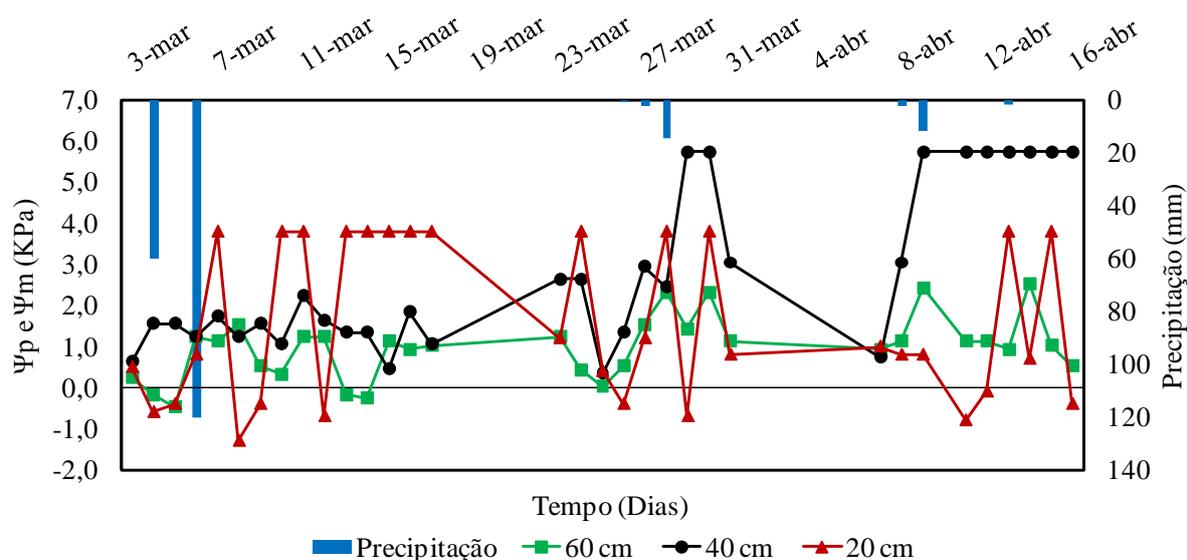


Figura 39 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de lençol freático (planta), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.

Na profundidade de 20 cm ocorreu uma maior amplitude no potencial de pressão hidrostática obtendo valor médio de 1,6 KPa, devido a uma maior lâmina na superfície do solo, com as ocorrências de precipitações pluviométricas. Houve também com o secamento do solo nessa camada períodos com potenciais mátricos atuantes.

Observando a profundidade de 60 cm, notam-se alguns períodos em que pode ter havido rebaixamento do lençol freático, tornando essa camada mais seca e com menor potencial de energia, favorecendo a adesão de água na matriz do solo, contribuindo para potenciais mátricos menores.

Observa-se na Figura 40, elevada dinâmica de variação para profundidade de 40 e 60 cm, apresentando maiores potenciais de pressão hidrostática com valores médios de 2,0 e 6,5 KPa, o que é de certo modo esperado, devido a drenagem constante nas camadas inferiores do lisímetro gerando um umedecimento freqüente, bem como as contribuições das precipitações pluviométricas.

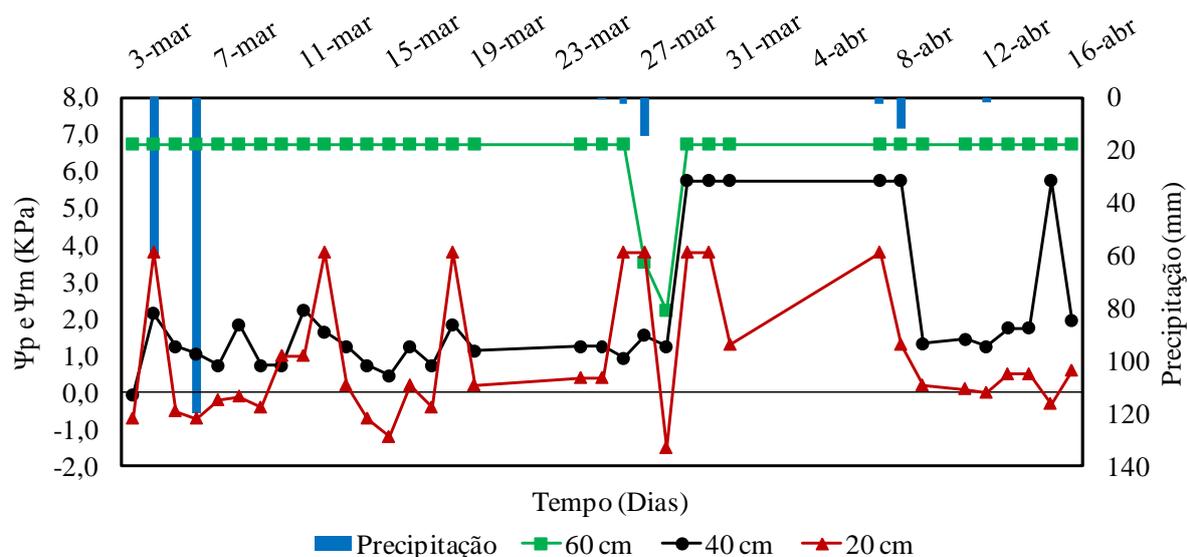


Figura 40 - Variação temporal dos potenciais mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de drenagem (planta), monitorado às 9:00 horas, Mutuca-PE.

Nota-se que na profundidade de 20 cm ocorreu também elevada dinâmica de variação com uma maior amplitude no potencial de pressão hidrostática, obtendo-se valor médio de 0,9 KPa, devido a uma maior lâmina na superfície do solo, com as ocorrências de precipitações pluviométricas. Houve também com o secamento do solo nessa camada, períodos com potenciais mátricos.

Observa-se na Figura 41, elevada dinâmica de variação para as profundidades de 40 e 60 cm, no qual obteve maiores potenciais de pressão hidrostática com valores médios de 2,8 e 6,7 KPa, devido a drenagem constante nas camadas inferiores do lisímetro gerando um umedecimento freqüente, bem como as contribuições das precipitações pluviométricas.

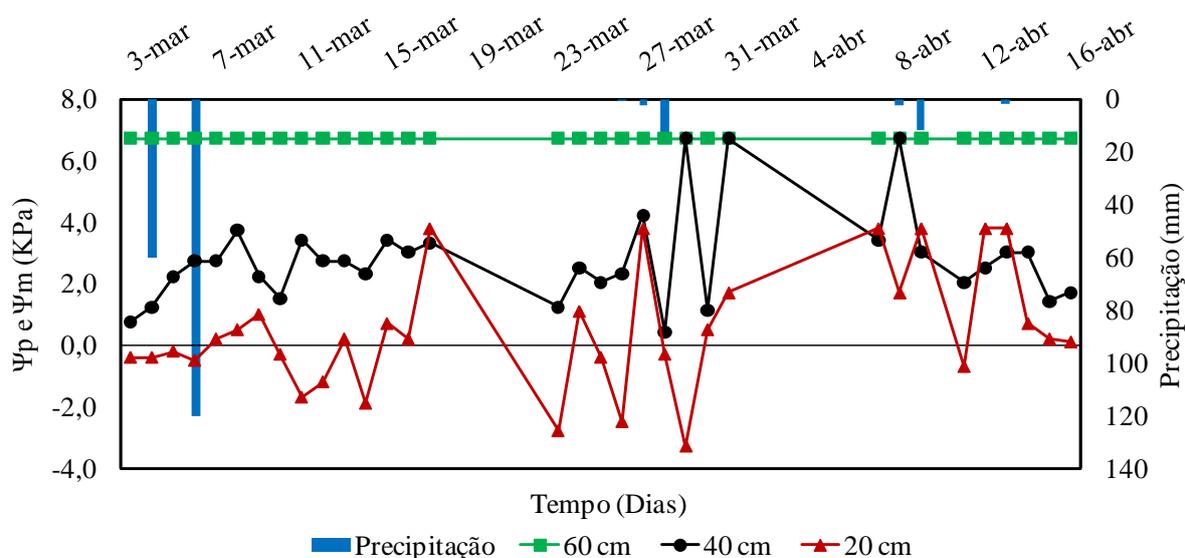


Figura 41 - Variação temporal dos potenciais de pressão e mátricos, nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo em lisímetro de drenagem (planta), monitorado às 16:00 horas, Mutuca-PE.

Verifica-se na camada de 20 cm de profundidade a variação dos potenciais de pressão (0,48 KPa) e mátricos da ordem de (-1,1 KPa), sendo os potenciais mátricos de maior variação no período do tempo. Isto denota a maior interferência dos processos de troca energética e de absorção pela raiz sobre as camadas superficiais, e indica que durante o período experimental a cultura esteve submetida a condições elevadas de umidade do solo, de modo a possibilitar uma condição potencial de perda de água via evapotranspiração.

Resultados semelhantes foram encontrados por Moraes et al. (2006) e Brito et al. (2009), apresentando valores de potencial mátrico medidos pelo tensiômetro de punção sempre maiores (menos negativos).

4.8 - Monitoramento da salinidade do solo nos lisímetros

Determinou-se a condutividade elétrica (CE) coletada a solução na cápsula extratora nas profundidades de 20, 40 e 60 cm em lisímetro de lençol freático de carga constante (grama), lisímetros de lençol freático de carga constante (planta) e lisímetro de drenagem (planta), irrigados com água residuária, conforme apresentado nas Figuras 42, 43, e 44 respectivamente.

Observa-se na Figura 42 que os valores observados na profundidade de 20 cm são muitos altos na maioria das leituras e em comparação aos valores observados nas

profundidades de 40 e 60 cm, com limites mínimos e máximos de 4,47 e 7,02 dS m^{-1} , respectivamente. Na profundidade de 40 cm da superfície do solo foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 1,49 e 4,50 dS m^{-1} , considerados médio e muito alto, respectivamente. Observando a camada de 60 cm da superfície do solo, foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 2,81 e 4,05 dS m^{-1} , considerados alto e muito alto, respectivamente, quanto ao risco da salinidade de acordo com Richards (1954).

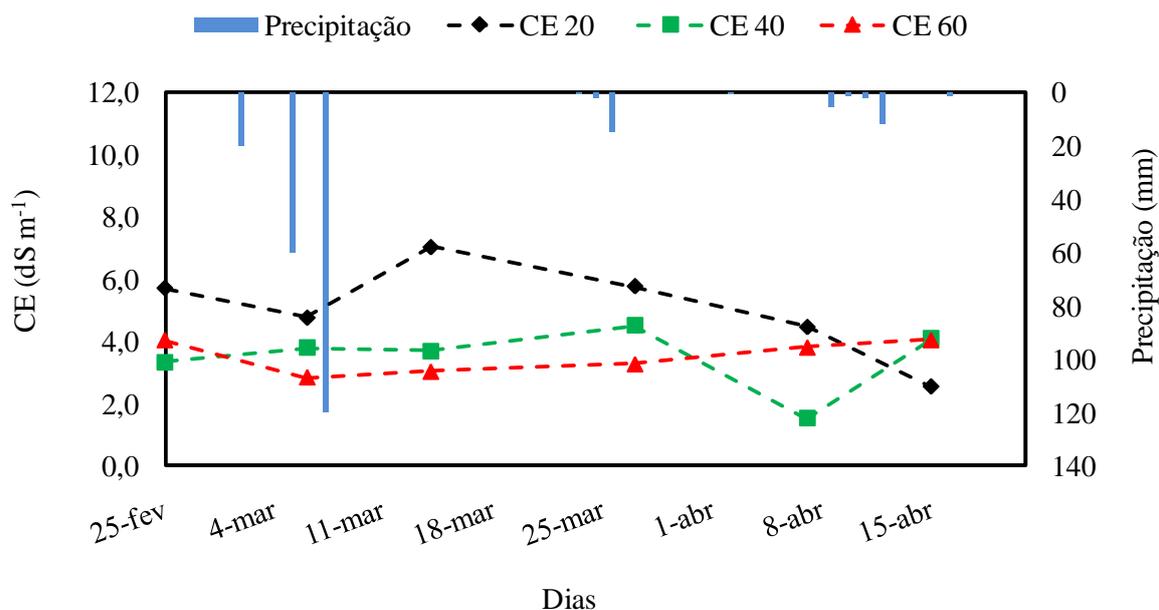


Figura 42 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de lençol freático (grama) em três profundidades, Mutuca-PE.

Verifica-se, ainda, que a maior concentração dos sais do efluente encontra-se na superfície do solo e diminui com a profundidade. Essa distribuição foi obtida em função do umedecimento do solo nos lisímetros ter sido feito de baixo para cima. Segundo Daker (1984), a referida distribuição é típica de solos umedecidos por movimento de água ascendente do lençol freático, seguido da evapotranspiração na sua superfície.

Ferreira et al. (2006), avaliando os efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado em lisímetros, também encontraram resultados semelhantes, corroborando com o presente estudo.

Nota-se também na Figura 42 a relevância das lixiviações promovidas pelos eventos pluviométricos, reduzindo a salinidade do perfil de solo ao longo do tempo.

Observa-se na Figura 43 que os valores reportado a profundidade de 20 cm são considerados muitos altos na maioria das leituras e em comparação aos valores observados

nas profundidades de 40 e 60 cm, com limites mínimos e máximos de 5,70 e 9,63 dS m^{-1} , respectivamente. Na profundidade de 40 cm foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 4,04 e 9,00 dS m^{-1} , considerados muitos altos, respectivamente. Observando a camada de 60 cm da superfície do solo foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 2,65 e 5,87 dS m^{-1} , considerados alto e muito alto, respectivamente, quanto ao risco da salinidade de acordo com Richards (1954).

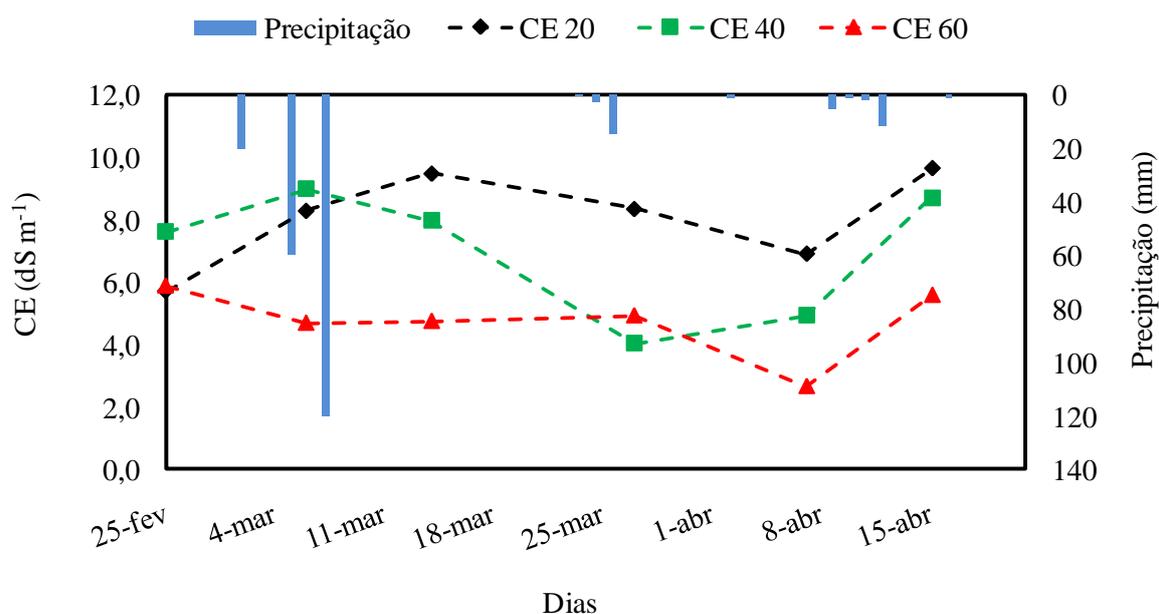


Figura 43 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de lençol freático (Planta) em três profundidades, Mutuca-PE.

Segundo Fanning & Fanning, (1989) em regiões com clima árido e semiárido ocorre uma maior taxa de evapotranspiração, o que favorece a ascensão capilar dos sais provocando maior acumulação de sais na camada de 20 cm de profundidade no lisímetro de lençol freático.

De modo geral, na profundidade de 20 cm, possivelmente em razão da evaporação superficial e da absorção pelo sistema radicular, ocorreu acréscimo da concentração salina do efluente no solo durante o experimento.

Observa-se na Figura 44 que os valores reportados à profundidade de 20 cm da superfície do solo são altos e muito altos na maioria das leituras e em comparação aos valores observados nas profundidades de 40 e 60 cm, com limites mínimos e máximos de 2,06 e 4,42 dS m^{-1} , respectivamente. Na profundidade de 40 cm foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 1,13 e 2,87 dS m^{-1} , considerados médio e alto, respectivamente. Observando

a profundidade de 60 cm foi encontrado valor mínimo e máximo correspondente a 2,87 e 4,24 dS m^{-1} , considerados alto e muito alto, respectivamente, quanto ao risco da salinidade de acordo com Richards (1954).

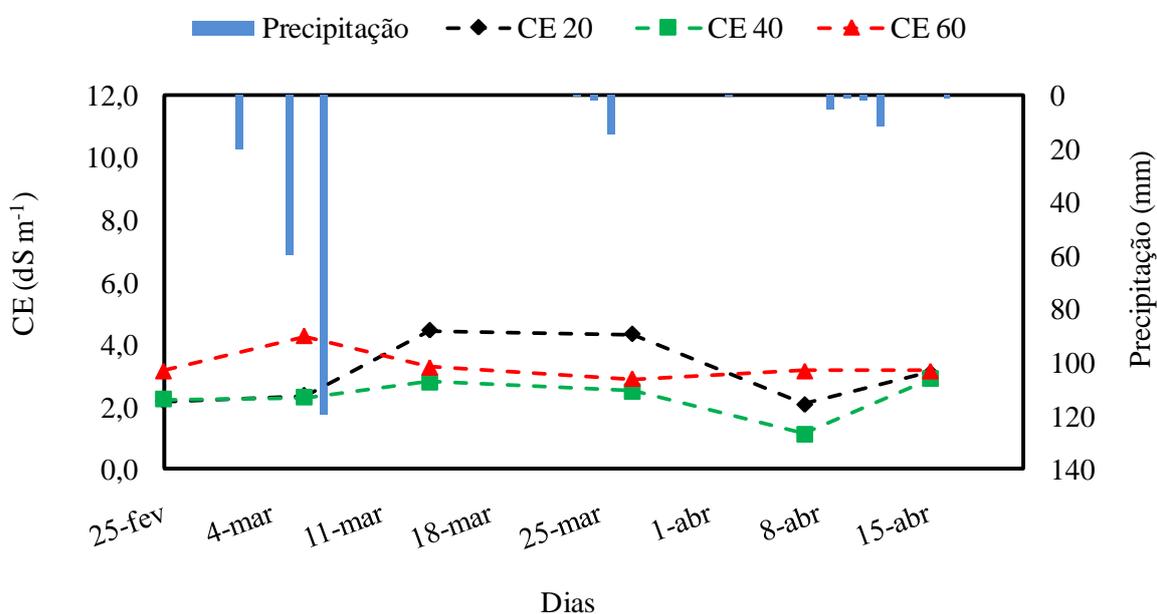


Figura 44 – Evolução da condutividade elétrica em lisímetro de drenagem (Planta) em três profundidades, Mutuca-PE.

Verifica-se que ocorre uma maior concentração de sais do efluente na profundidade de 20 cm, explicado pela alta demanda evaporativa da região.

Nota-se também que ocorre uma alta concentração de sais do efluente na camada de 60 cm do solo. De maneira geral, a concentração salina da água no solo tendeu a aumentar com o decorrer do tempo. Tal comportamento é semelhante ao que ocorre em áreas irrigadas, onde são usadas baixas frações de lixiviação, ou seja, a salinidade aumenta com a profundidade da zona radicular, com o decorrer do tempo de irrigação (Ayers & Westcot, 1991).

Na Tabela 7 pode-se observar os valores médios da condutividade elétrica nos lisímetros durante o período de experimentação.

Tabela 7 - Valores médios da condutividade elétrica (CE) em dS m^{-1} nos lisímetros.

Lisímetros	Profundidades (cm)	Médias
Lençol freático (grama)	60	5,04
	40	3,47
	20	3,50
Lençol freático (planta)	60	8,06
	40	7,05
	20	4,75
Drenagem (planta)	60	3,06
	40	2,30
	20	3,31

Observa-se na Tabela 7 que os valores médios referentes à CE encontradas para o solos nos lisímetros de lençol freático (grama) e lençol freático (planta) são considerados médios e altos, com valores médios de 5,04, 3,47 e 3,50 dS m^{-1} e 8,06, 7,05, 4,75 a 60, 40 e 20 cm de profundidade, respectivamente, segundo Mantovani et al. (2006).

Verifica-se que a maior concentração dos sais do efluente encontra-se na superfície do solo e diminui com a profundidade. Essa distribuição foi obtida em função do umedecimento do solo nos lisímetros ter sido feito de baixo para cima, como já discutido anteriormente.

Os dados apresentados na Tabela 7, referentes às médias de CE encontradas para o solo no lisímetro de drenagem demonstram que os valores reportados em todas as leituras foram considerados baixos, com valores médios de 3,06, 2,30 e 3,31 dS m^{-1} , a 60, 40 e 20 cm de profundidade, respectivamente. Estes dados corroboram com Dieter et al. (2007), em seu estudo utilizando quatro taxas de água residuária e duas taxas de adubação na cultura do milho, encontrando valores abaixo de 4 dS m^{-1} , que segundo Mantovani et al. (2006) permitem afirmar que o solo em questão não se classifica como salino.

Ainda segundo Dieter et al. (2007), as baixas concentrações de sais no solo reportadas nos dois estudos permite sugerir que a precipitação ocorrida for suficiente para promover a lixiviação dos sais adicionados ao solo, visto que se trata de um lisímetro de drenagem, no

qual ocorre a lixiviação desses sais de forma mais efetiva quando comparados aos níveis de sais do efluente no lisímetro de lençol freático.

A lavagem dos sais do perfil é essencial para adequada produtividade das culturas sensíveis em áreas com águas marginais, particularmente no semiárido. Bastos et al. (2009), em experimento de irrigação no semiárido Pernambucano, verificaram redução da condutividade elétrica no perfil 0-100 cm durante o cultivo, principalmente na zona radicular, aplicando-se lâminas de lixiviação incompleta.

4.8.1 - Monitoramento da salinidade das águas

Foram realizados monitoramentos da condutividade elétrica (CE) dos seguintes efluentes: CE do drenado do lisímetro de drenagem, CE da água de irrigação e CE da água de abastecimento local (Testemunha) em escala temporal, conforme visto na Figura 45.

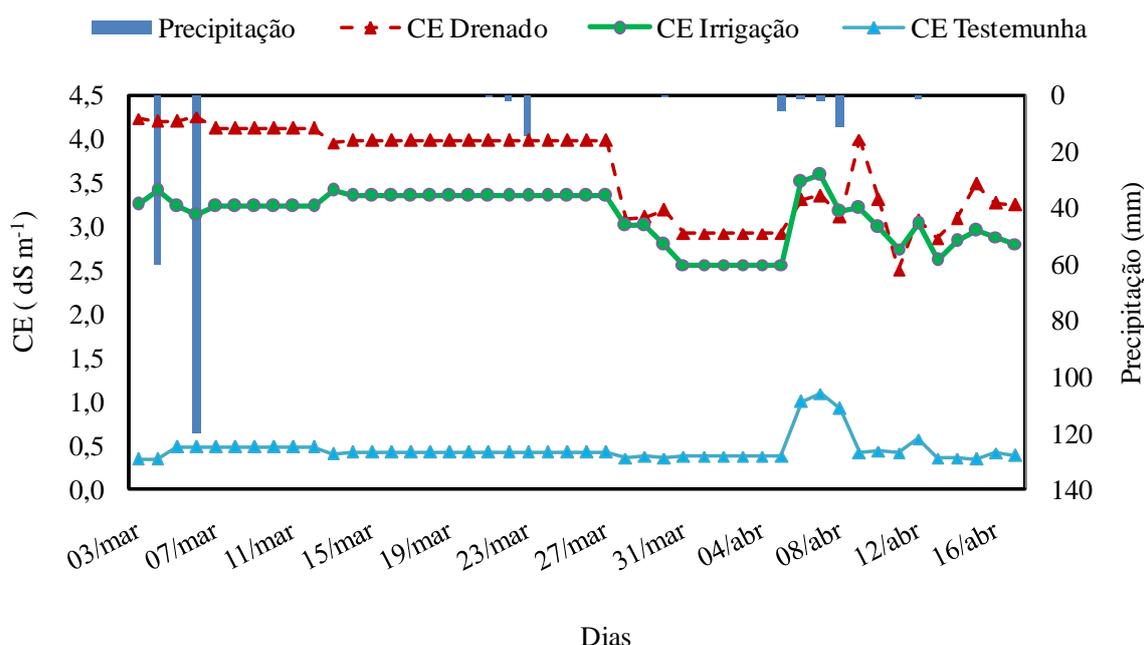


Figura 45 – Valores de condutividade elétrica medida em campo em diferentes efluentes da área experimental, Mutuca-PE.

Observa-se na Figura 45, a grande variação nas concentrações de sais da CE dos diferentes efluentes monitorados ao longo do tempo. Embora valores discrepantes tenham ocorrido, o monitoramento oferece importante informação no tocante à evolução da salinidade nos diferentes efluentes durante o experimento de campo.

Observa-se que os valores de condutividade elétrica no lixiviado do lisímetro de drenagem apresentaram valor médio de $3,62 \text{ dS m}^{-1}$. Para CE da água de irrigação, o valor médio corresponde a $3,11 \text{ dS m}^{-1}$. Em relação à testemunha, a concentração de sais foi correspondente a $0,45 \text{ dS m}^{-1}$.

Considerando as respectivas concentrações de sais, nota-se que o drenado no lisímetro produziu maior valor de CE, com incremento correspondente a 20% da água de irrigação, devido ao processo de lixiviação do solo, que carregou os sais presentes no lisímetro de drenagem, sendo considerada como água altamente salina, segundo classificação de Richards (1954).

A CE da água de irrigação também foi considerada altamente salina. Computando-se o valor médio da CE para a água de abastecimento local, considera-se a mesma como média salinidade, de acordo com Richards (1954), porém estando de acordo com os valores normalmente encontrados no semiárido.

De modo geral, esperam-se tais concentrações no efluente, como se trata de esgoto doméstico tratado, é notória a presença de sais na água que pode acarretar a salinidade ou sodicidade.

4.8.2 – Análise de crescimento da cultura

Verifica-se na Tabela 8, pela análise comparativa das médias através da análise descritiva, que a moringa apresentou uma maior altura de planta (AP) quando cultivada no lisímetro de lençol freático, com valor médio de 4,56 m em comparação com a moringa cultivada no lisímetro de drenagem, apresentou valor médio de 3,38 m aos 309 DAT.

Segundo Parrota (1993), a moringa apresenta sensibilidade em solos muito úmidos. Dessa maneira, como o lisímetro de drenagem estava sempre com umidade superior em relação ao lisímetro de lençol freático, devido a irrigações constantes e aplicações de lâminas de água crescentes com o passar do desenvolvimento da cultura (contrastando com o lisímetro de lençol freático que mantinha um nível de 50 cm de água que diminuía com o consumo da planta) a variável altura de planta (AP) no lisímetro de drenagem apresentou um menor crescimento em relação à planta cultivada no lisímetro de lençol freático.

Tabela 8 - Análise descritiva dos parâmetros biométricos na cultura da moringa.

Lisímetros	Parâmetros biométricos	240DAT	276DAT	288DAT	302DAT	309DAT	Médias	Desvio Padrão	CV (%)
Lençol	A.P	3,72	4,25	4,47	5,10	5,15	4,56	0,39	8,49
Freático	D.C	4,95	5,49	5,73	6,12	6,46	5,75	0,38	6,62
Drenagem	A.P	3,33	3,40	3,37	3,38	3,40	3,38	0,01	0,41
	D.C	6,49	7,09	7,30	7,33	7,60	7,16	0,20	2,73
Testemunha	A.P	2,10	2,10	2,30	2,40	2,51	2,28	0,15	6,65
	D.C	2,53	2,74	2,86	2,93	3,05	2,82	0,12	4,20

Okuda et al. (2000) acrescentaram ainda que o cultivo da moringa *oleífera* se deve à elevada capacidade de adaptação a condições climáticas e a solos áridos, contribuindo para rendimentos de produção de folhas, frutos e sementes.

A variável altura de planta (AP) aumentou, significativamente, quando irrigada com água residuária, contrastando com as plantas irrigadas com água de abastecimento local. Quando observada a altura de planta (AP) nas plantas de moringa irrigadas com água de abastecimento local, obteve-se um valor médio de 2,28 m correspondente aos 309 DAT. Figueiredo (2003), estudando o efeito de águas residuária na cultura do algodão colorido BRS marrom também chegou a resultados semelhantes, este fato é justificada pela elevada carga orgânica e presença de nutrientes prontamente disponíveis na água residuária.

Para Taiz & Zeiger (2004), muitos processos fisiológicos das plantas são afetados pelo déficit hídrico e, como o crescimento das plantas é controlado pela divisão celular, seguido de sua expansão, uma quantidade de água insuficiente mantendo células das zonas de crescimento em condições de flacidez, reduz o coeficiente de divisão celular e a expansão de todas as células impedindo, deste modo, o crescimento vegetativo das plantas.

Como as irrigações das plantas testemunhas eram apenas para manter as condições hídricas da cultura, aplicando-se uma lâmina constante durante o período de experimentação, pode-se justificar o efeito de estresse hídrico que influenciou no seu crescimento, comparada com as plantas de moringa dos lisímetros que estavam sendo monitorada a necessidade hídrica de acordo com o seu desenvolvimento.

Na Figura 45 é apresentado o comportamento da distribuição quantitativa para a variável altura de planta em escala temporal, observado em plantas irrigadas com água

residuária (lisímetro de lençol freático e drenagem) e plantas irrigadas com água de abastecimento local (Testemunha), considerando-se as diferentes fases de crescimento para cada período avaliado, aos 240, 276, 288, 302 e 309 dias após o transplante (DAT).

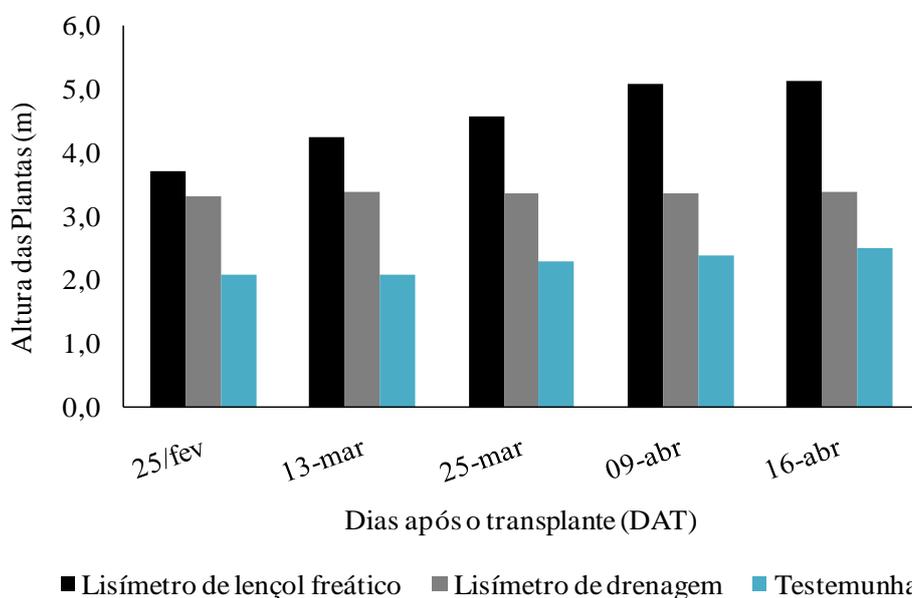


Figura 45 – Evolução do crescimento da moringa em altura de planta com presença e ausência de irrigação com água residuária.

Lima et al. (2005) constataram que o aumento das doses do resíduo de esgoto propiciou maior crescimento das mudas de mamoneira avaliadas aos 42 dias após a emergência DAE. Rodrigues et al. (2009) também constataram, utilizando água residuária, que após os 174 DAS houve um crescimento melhor da mamoneira com a aplicação do resíduo, assim como Souza et al. (2010) observaram que a mamoneira apresentou crescimento exponencial independente do tratamento aplicado com o esgoto doméstico tratado. Os autores atribuem tal diferença possivelmente ao aporte de nutrientes da água residuária contribuindo, desta forma, para um crescimento maior das plantas.

De maneira semelhante, Silva et al. (2011), em trabalho para estudar os efeitos do crescimento e produção do pinhão-mansão irrigado com efluente doméstico, encontraram um crescimento linear crescente aos 60 DAT até o último período estudado 396 DAT.

Examinando o comportamento da moringa quanto à variável diâmetro caulinar (DC), em função de dias após o transplante DAT nas diferentes plantas mensuradas, (Figura 46). Observa-se que a moringa obteve um maior diâmetro caulinar cultivada no lisímetro de

drenagem valor correspondente de 7,16 cm, demonstrando um aumento crescente aos 260 (DAT) até o último período estudado que corresponde aos 309 DAT.

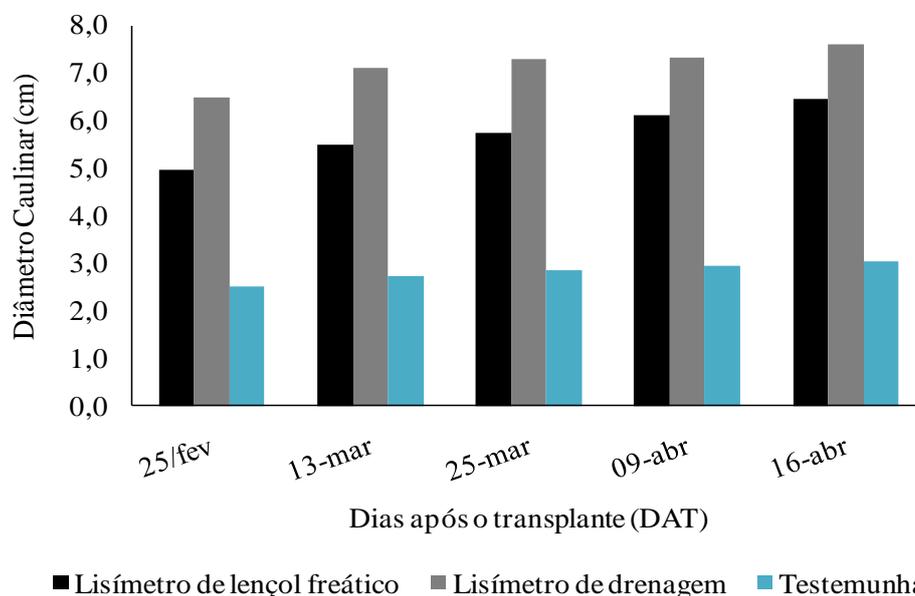


Figura 46 – Evolução do crescimento da moringa em diâmetro caulinar com presença e ausência de irrigação com água residuária.

Constata-se que a maior disponibilidade de água no solo favoreceu o crescimento em diâmetro caulinar na planta. Segundo Guimaraes et al. (2009), o diâmetro do caule é uma característica importante, uma vez que, quanto maior o seu valor, maior o vigor, a robustez e a resistência da planta.

Albuquerque et al. (2009), avaliando a influência de níveis de água disponível no solo no crescimento em diâmetro caulinar do pinhão-manso observaram, aos 150 DAS, os maiores diâmetros no tratamento com 100% de água disponível no solo.

Analisando o diâmetro caulinar do lisímetro de lençol freático, obteve-se um valor médio de 5,75 cm durante toda fase de desenvolvimento da cultura. A variação na disponibilidade de água no solo nesta condição pode ter influenciado na redução do diâmetro caulinar quando comparado com a planta do lisímetro de drenagem.

Xavier et al. (2009) observaram, em pesquisa com a cultivar mamona BRS Nordestina com águas residuária tratadas e água de abastecimento local de três indústrias de Campina Grande, PB, respondeu bem as análises de crescimento mensuradas contrastando com os

dados das plantas com água de abastecimento local que nem se quer iniciaram a floração, e ficaram raquíticas e desnutridas.

Resultados semelhantes foram encontrados nessa pesquisa com as plantas de moringa irrigadas apenas com a água de abastecimento local, que apresentou valor médio de diâmetro caulinar correspondente a 2,82 cm.

4.9 – Atividades de Extensão Rural

4.9.1 – Educação

A extensão universitária deve caminhar articulada com o ensino e a pesquisa atendendo a demanda das comunidades regionais e locais, desta forma, utilizaram-se como agentes multiplicadores de informação desta pesquisa, educadores da escola do distrito de Mutuca, Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite e os próprios alunos.

Visitas semanais realizadas à Unidade Experimental com intuito de explicar o funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto e a importância da água residuária para agricultura, em cuja oportunidade foi apresentado o projeto de campo e os estudantes visitantes puderam conhecer a área experimental, para a qual se propõe uma nova tecnologia no manejo adequado do uso da água residuária, conforme visto na Figura 47.

Sobre o perfil das crianças, 20 alunos eram do sexo feminino e 25 alunos do sexo masculino, totalizando 45 alunos, com caráter de 3^a, 4^a e 5^a série. A faixa etária variou de 7 anos a 15 anos de idade.



Figura 47 – Participação dos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite (A, B).

Na segunda etapa de planejamento foi construída uma maquete como réplica do que vem sendo desenvolvido na Unidade Experimental pelos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, partindo da necessidade de se incrementar acessibilidade à

informação, bem como o papel da Estação de Tratamento de Esgoto e o Reuso Agrícola no Meio Rural, conforme visto na Figura 48.



Figura 48 – Maquete construída com intuito de ensino-aprendizagem pelos alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, em Mutuca-PE.

Esta atividade foi realizada pelos alunos da 7^a e 9^a série da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, sendo o perfil correspondente a 5 alunos do sexo feminino e 7 alunos do sexo masculino, totalizando 12 alunos na faixa etária entre 13 anos e 17 anos de idade.

Estes embates, comuns na prática da extensão universitária com comunidades rurais, em que se busca inserir a produção do conhecimento e sua apropriação pelo grupo de estudantes como parte integrante de suas complementações e formações profissionais, contribuem sensivelmente para enriquecer e fortalecer o processo dialógico entre as partes envolvidas (Brasil, 2006)

4.9.2 – Meio Ambiente

A atividade realizada visou à recuperação das matas ciliares da principal nascente de água da comunidade, onde foram plantadas cerca de 100 mudas de Moringa. Esse evento mobilizou estudantes, professores e voluntários num grande mutirão, que contou com a presença de secretaria do estado, de modo que a prática foi acompanhada de palestras sobre a importância da água e seus diferentes usos no aumento da oferta de água para a comunidade.

Participaram desse encontro todos os professores da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite (Figura 49), representantes da Secretária do Meio Ambiente, alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite e do Instituto Federal de Pesca, totalizando 57 pessoas. As atividades desenvolvidas com os mesmos contemplaram apresentação oral sobre o tema do Dia Mundial da Água e apresentação didática de vídeos sobre a sua importância. No segundo momento houve

aplicação de questionários para os alunos da Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite. Soares et al. (2007) afirmam que a educação ambiental é o principal instrumento de transformação, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma consciência crítica em relação ao meio ambiente, gerando comprometimento e responsabilidade da população nas ações de saneamento e saúde.



Figura 49 – Capacitação sobre a importância da água, usos e desperdícios, na Escola Intermediária Henrique Monteiro Leite, Distrito de Mutuca-PE.

Soares (2009) afirma que diante da situação atual que se encontra a degradação do meio ambiente em todo o mundo, torna-se necessário a compreensão dos educadores, políticos e a sociedade organizada, uma conscientização para com os problemas ambientais, aquisição de conhecimentos, valores e atitudes voltadas à melhoria dos ecossistemas. Ainda segundo este autor, a questão ambiental representa uma síntese dos impasses que o atual modelo de civilização acarreta.

4.9.3 – Proteção Ambiental

Em relação ao aspecto ambiental vinculado à Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola, parte do cenário de escassez hídrica no semiárido Pernambucano, que vem sendo reaproveitado o esgoto doméstico de 1/3 do distrito de Mutuca que seriam jogados na nascente do Rio Ipojuca, ajudando a resolver dois problemas comuns às comunidades rurais do semiárido: a escassez de um recurso natural tão importante e a questão ambiental, já que a falta de saneamento básico é como uma sentença de morte para rios, riachos, açudes e mananciais do interior.

Transformar a água residuária em alimento e evitar a poluição dos recursos naturais faz da experiência de reaproveitamento da água em Mutuca-PE uma lição que pode servir para todo o semiárido nordestino, Figura 50.

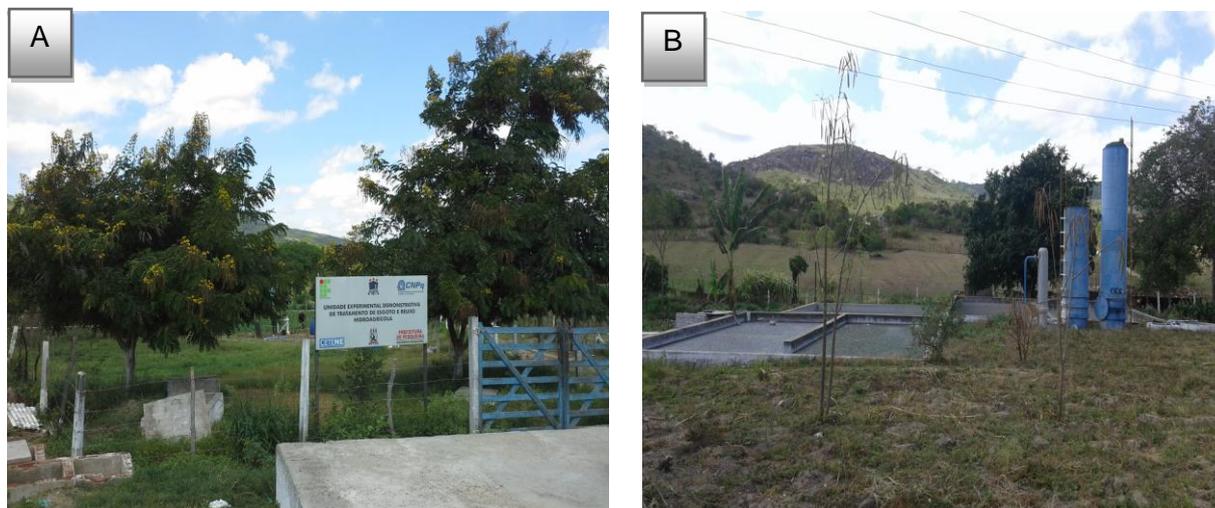


Figura 50 – Estação Demonstrativa de Tratamento de Esgoto e Reuso Hidroagrícola (A,B).

4.9.4 – Tecnologia e Produção

Esta atividade surgiu da necessidade de capacitar o responsável pela Unidade Experimental, Sr. Cícero Silva, como transferência de conhecimento e tecnologia, conforme visto na Figura 51.



Figura 51 – Capacitação na leitura de potencial hídrico da Moringa (A) e monitoramento do efluente drenado no lisímetro de drenagem (B), em Mutuca-PE.

A capacitação proposta nesse trabalho teve fundamento pedagógico o “saber fazer”, ela desempenhou um papel importante na transferência do saber da tecnologia aplicada no meio rural. Para tal, usou-se a metodologia de ensino-aprendizagem no ator local do distrito de

Mutuca, que deve ser entendida como um processo educativo e formativo que abrange mudanças no meio rural.

5.0 – CONCLUSÕES

O lisímetro de lençol freático padrão-grama calibrado na região semiárida de Pernambuco mediu representativamente a evapotranspiração de referência, quando comparado com os métodos do Tanque Classe A, Penman Monteith e Hargreaves-Samani em escalas de dias, apresentando um ótimo índice de desempenho.

Dentre os métodos de estimativa indireta, o método de Hargreaves-Samani apresentou uma superestimativa da evapotranspiração de referência em 18,33 % para a região semiárida de Pernambuco.

Dentre os métodos diretos e indiretos, as estimativas pelo método do padrão-grama superestimaram a evapotranspiração de referência quando comparada com os valores obtidos pelos métodos do Tanque Classe A, Penman Monteith e Hargreaves-Samani em escalas de dias.

Os valores medidos de ET_c acumulados para a cultura da moringa foram de 177,0 e 149,0 mm, para o lisímetro de drenagem e lençol freático de carga constante, respectivamente.

Os lisímetros de drenagem e de lençol freático permitiram determinar o K_c específico para a cultura da moringa, estabelecendo um consumo de água para cada fase.

Estimativa de Penman Monteith nos lisímetros de drenagem e lençol freático de carga constante foram encontrados valores médios de 0,75,1,75,1,73,1,62 e 0,85,1,1,0,94,0,92 para as fases I, II, III e IV respectivamente.

Os valores de Coeficiente de cultivo (K_c) da moringa pelo método lisimétrico padrão-grama nos lisímetros de drenagem e lençol freático, apresentaram valores médios de K_c correspondentes a 0,73,1,63,1,61,1,48 e 0,77,1,12,1,04,0,96 para as fases I, II, III e IV respectivamente.

A determinação do coeficiente da cultura pelo método de Penman Monteith apresentou resultados inferiores, quando medidos pelo lisímetro de lençol freático de carga constante em comparação aos medidos pelo lisímetro de drenagem.

A determinação do coeficiente da cultura pelo método de lisimétrico padrão-grama apresentou resultados inferiores, quando medidos pelo lisímetro de lençol freático de carga constante em comparação aos medidos pelo lisímetro de drenagem.

Os potenciais mátricos e de pressão influenciaram no coeficiente de cultivo da cultura manejado em lisímetros de lençol freático e drenagem.

Houve redução significativa no potencial hídrico da moringa na condição de irrigação com água residuária, em três dias avaliados.

Maiores variações no potencial mátrico ocorreram nas profundidades de 20 cm.

Ocorreram maiores variações nos potenciais de pressão nas profundidades de 50, 40 e 60 cm, devido à lâmina de água no lisímetro de lençol freático e irrigação constante no lisímetro de drenagem.

Ocorreram maiores concentrações de sais do efluente na camada de 20 cm.

Maiores concentrações de sais do efluente foram encontrados no lixiviado do lisímetro de drenagem.

A moringa cultivada nos lisímetros de lençol freático e no lisímetro de drenagem se desenvolveu bem com aplicação da água residuária.

Comprovou-se nesse trabalho a eficiência da parceria entre projetos de extensão rural, bem planejados, e escolas rurais e que, pelo uso de metodologias interdisciplinares, é possível se criar “atalhos” para acelerar os processos de desenvolvimento comunitário, sem comprometer os valores culturais e os potenciais produtivos das regiões de abrangência. A parceria firmada com a escola agrega uma qualidade diferenciada aos trabalhos, tornando-os mais pertinentes e eficientes, com perspectivas de alcançar a curto e médio prazo, tempos presentes e cidadãos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. *Lysimeters*. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56, Roma, p.300, 1998.
- ALENCAR, A. F. O. pensamento de Paulo Freire sobre a tecnologia: traçando novas perspectivas. V Colóquio Internacional de Paulo Freire. Recife, 19 a 22 de setembro de 2005.
- ALBUQUERQUE, W. G.; FREIRE, M. A. de O.; BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, C. A. V. de. Avaliação do crescimento do pinhão manso em função do tempo, quando submetido a níveis de água e adubação nitrogenada. *Revista de Biologia e Ciências da Terra, Campina Grande*, v. 9, n. 2, p. 68-73, 2009.
- ALBUQUERQUER, P. E.; DURÃES, F. O. M. Uso e manejo da irrigação. EMBRAPA. 2008. 528p.
- AMÉGLIO, T. et al. Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and Soil*, n. 207, p. 155-167, 1999.
- AMORIM, J. R. A. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, v. 37, n. 2, p.167-176, 2002.
- ARAÚJO, M. L. F.; OLIVEIRA, M. M. Formação de professores de Biologia em Educação Ambiental; contribuições, deficiências e estratégias. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*. v.20, p.256-272, jan-jun de 2008.
- ARAÚJO FILHO, P. F., CABRAL, J. J. S. P., AZEVEDO, J. R. G. Considerações sobre a variabilidade espacial da precipitação na bacia do riacho Gameleira em Pernambuco. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo-SP. Anais, 2007. CD Rom.*

AMAYA, D. R.; KERR, W. E.; GODOI, H. T.; OLIVEIRA, A.L.; SILVA, F.R. Moringa: hortaliça arborea rica em beta-caroteno. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.10, n.2, p.126, 1992.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, PB: UFPB, 1991.

ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, p. 83- 97, 1998.

ASSIS JUNIOR, R. N.; REICHARDT, K. Determinação do potencial mátrico da água no solo por tensiômetro de câmara de ar. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-Rom.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga. *Irriga, Botucatu-SP*, v.13, n.4, p.449-466, 2008.

BARRETO, A. N.; NASCIMENTO, J. J. V. R.; NOBREGA, J. A.; MEDEIROS, E. P.; BEZERRA, J. R. C. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, Salvador. Energia e ricinoquímica: anais. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2009.

BASTOS, D. C. O. Manejo da salinidade em irrigação localizada: análise da alternativa de lixiviação incompleta. 2004. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BASTOS, D. C. DE. O.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. .L. Avaliação de Alternativa de Irrigação Suplementar com Água Moderadamente Salina em Vale Aluvial no Semi-Árido: Experimentação e Modelagem. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n.3, Jul/Set 2009, 27-36.

BAPTISTA, A. T. A. et al. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com folha de Moringa *oleifera*. *Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*. Curitiba, v. 30, n. 1, p. 65-74, 2012.

BAKKER, G.; VAN DER PLOEG, M.J.; ROOIJ, G.H.; HOOGENHAM, C.W.; GOOREN, H.P.A.; HUISKES, C.; KOOPAL, L.K. & KRUIDHOF, H. New polymer tensiometers: Measuring matric pressure down to the wilting point. *Vadose Zone J.*, 6:196-202, 2007.

BLANC, E.; QUIRION, P.; STROBL, E. The climatic determinants of cotton yields: evidence from a plot in West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.1093-1100, 2008.

BLACKBURN, D. M. Efeito da drenagem subterrânea no balanço hidrossalino de um neossolo flúvico irrigado em Pesqueira- PE. 2002. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa, UFV, 2005, p.52-53.

BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 8.^a ed., Viçosa: UFV, 625p. 2009.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 2006. 625 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. Viçosa: Editora UFV. 8a edição. 265 p. 2006.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G.; MEDEIROS FILHO, S.; Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. *Horticultura Brasileira*, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semiárido Brasileiro. Disponível:<<http://www.integracao.gov.br/desenvolvimentoregional/publicacoes/delimitacao.asp>> Acesso em 15 julho 2014.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; MOTA, J. C. A.; MORAES, S. O. Desempenho do tensiômetro com diferentes sistemas de leitura. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.33, n.1, p.17-24, 2009.

BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia Rio Jacupiranga, SP. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande-PB, v. 11, n. 3, p.299-300, 2007.

BUCHTER, B.; HINS, C.; WYNDLER, H. & FLUHLER, H. Evaluation of temperature and bypass flow sensitivity of tensiometers in a field soil. Geoderma, 87:281-291, 1999.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.33, n. 7, p.1053-1060, 1998.

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

CAMPECHE, L.F.S.M. Construção, calibração e análise de funcionamento de Lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida “Tahiti” (*Citrus Latifolia* Tan.). Piracicaba, SP. 67p. Tese (Doutorado) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2002.

CAMPECHE, L. F. M. de S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. de P. R. da.; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.15, n.5, p.519–525, 2011.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; COSTA, J. R., CRUZ, F. A. A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica – RJ, utilizando lisímetro de pesagem. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, RS, v. 14, n.2, p. 187-195. 2006.

CARVALHO, C. M. de.; VIANA, T. V. de A.; MARINHO, A. B.; LIMA JÚNIOR, L. A. de.; VALNIR JÚNIOR, CORREIA, M. K. G. Monitoramento do potencial matricial de água no solo utilizando tensímetros digitais instalados em área de pinhão manso irrigado. IV Winotec-Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, Ceará, 2012.

CARRIJO, O. A.; SOUZA, R. B.; MAROUELLI, W. A., ANDRADE, R. J. Fertirrigação de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 13 p. (Circular Técnica, 32). 2004.

CAVALCANTI JUNIOR, E. G. et al. Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza-CE, v.4, n.2, p.87-92, 2010.

CHAVES, S. W. P., AZEVEDO, B. M., BEZERRA, F. M. L., MORAIS, N. B., VIANA, T. V. A., MEDEIROS, J. F. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. Revista Ciência Agronômica. Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 262-267, 2005.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): na algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. Remote Sensing of Environment, New York, v. 39, p. 239- 247, 1992.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter for wastewater reuse by drip irrigation. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.68, n.2, p.135-149, 2004.

CHEW, T. L.; BHATIA, S. (2009) Effect of catalyst additives on the production of biofuels from palm oil cracking in a transport riser reactor. Bioresource Technology, 100: 2540-2545.

CHIN, L. H.; HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L. Process optimization for biodiesel production from waste cooking palm oil (*Elaeis guineensis*) using response surface methodology. Energy e Fuels, v. 23: 1040-1044. 2009.

CISAGRO. COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS. Projeto de irrigação da Fazenda Nossa Senhora do Rosário. Pesqueira, 120 p. 1990.

COELHO, D. K. Efeitos na mamoneira da irrigação com águas salinas e adubação com polpa de mamona. Dissertação de Mestrado- Campina Grande-PB, Agosto.

COELHO, M. A.; SONCIN, N. B. *Geografia do Brasil*. São Paulo: Moderna, 1982. 368 p.

CORDIOLI, S. “Enfoque participativo no trabalho com grupos”. Em: BROSE, Markus org. (2001), op. cit., pag. 26-27, 34-35.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). Revista Acta Amazonica, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234. 2007.

COUTO L.; SANS.; L. M. A. Características Físico-Hídricas e Disponibilidade de Água no Solo. Circular Técnica. Embrapa. 2002.

CYSNE, J. R. B. Propagação in vitro de *Moringa oleifera* Lam. Fortaleza, 81p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

CURY LUNARDI, D. M. Efeito da condição de umidade da superfície do solo na evapotranspiração de referência medida e estimada. 2000. 103f. Tese (Livre Docência em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

CURY, D. M.; OMETTO, J. C.; KIMOTO, T. Demanda hídrica na cultura do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, 1987, Belém. Anais... Belém: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1987. p.163-75.

CURY, D. M.; VILLA NOVA, N. A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) do repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata* L.). Científica, São Paulo, v. 17, 109-19, 1989.

CURY LUNARDI, D. M.; LAPERUTA FILHO, J.; KROLL, L. B. Comparação entre valores de evapotranspiração estimada pelo método Penman-FAO e medidos com lisímetros. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 10, 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p.70.

CRUZ, R. N. DA.; AZEVEDO, C. A. V. DE.; FERNANDES, J. D.; MONTEIRO FILHO, A. F.; WANDERLEY, J. A. C. Adubação orgânica residual no crescimento e produção do gergelim irrigado com água residuária. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n.1, p.257-263, jan-mar, 2013.

DANTAS, J. P. et al. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 425- 430. 2002.

DAKER, A. A. Água na Agricultura: Irrigação e Drenagem. 6.ed. v.3. Rio de Janeiro: Freitas Basto, 1984. 543p.

DEMATTE, J. L. I. Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos da região amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 215p.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. 2007. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 42(3): 305-311.

DIETER, J.; SMANHOTTO, A.; PRIOR, M.; SILVESTRO, M. F.; DAL BOSCO, T. C.; PANSERA, W. A.; SAMPAIO, S. C. Avaliação de sais lixiviados em lisímetros oriundos da aplicação da água residuária de suinocultura. IN: Anais do XVI EAIC - 26 a 29 de Setembro de 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande, PB: UFPB, 1994. 306 p.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Crop water requirements. Rome: FAO, 204p. (Irrigation and Drainage Paper 24). 1977.

DOS SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J.; MONTENEGRO, A. A. A. (2008). Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.

DUARTE, A. de S. Reuso de água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.). 2006. 187 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba-SP, 2006.

DUARTE, R. Adorno/Horkheimer e a dialética do esclarecimento. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisas de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 2 ed., 2006, 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 212p. 1997.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Goiano Precoce. Piracicaba, 1980. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. Exigências hídricas e coeficientes culturais de batata (*Solanum tuberosum* L.). Piracicaba, 1987. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis and classification. New York, John Willey & Sons, 1989. 395p.

FARAHANI, H. J.; OWEIS, T. Y.; IZZI, G. Crop coefficient for drip-irrigated cotton in a mediterranean environment. Irrigation Science. v.26, p.375-383, 2008.

FERREIRA, P. V. Estatística experimental aplicada à agronomia. 3. ed. Maceió: UFAL, 2000. 604 p.

FERREIRA, C. A. G. Recuperação de áreas degradadas. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 202, p.127-130, 2000.

FERREIRA, O. E.; BELTRÃO, N. E. M.; KONIG, A. Efeitos da aplicação de água residuária e nitrogênio sobre o crescimento e produção do algodão herbáceo. Revista Brasileira oleaginosas e fibrosas, Campina Grande, v.9, n.1/3, p.893-902, jan./dez. 2005.

FERREIRA, P. A.; MOURA, R. F. DE.; SANTOS, D. B. DOS; FONTES, P. C. R.; MELO, R. F. DE. Efeitos da lixiviação e salinidade da água sobre um solo salinizado cultivado com beterraba Rev. bras. eng. agríc. ambiente. vol.10 no.3 Campina Grande July/Sept. 2006.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: Management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1991. 224p.

FERNANDES, L. C. Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha do Fundão-RJ. 2006. 142f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

FREIRE, P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996. – Coleção Leitura.

FREIRE, A. L. O.; SARAIVA, V. P.; MIRANDA, J. R. P.; BRUNO, G. B. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. Semina: Ciências Agrárias, v.31, p.1113-1114, 2010.

FIGUEIREDO, I. C. DE M.; LIMA, V. L. A. DE; BELTRÃO, N. E. DE M.; ARAÚJO, M. G. F. DE; SANTOS, T. S; AZEVEDO, C. A. V. Uso da água residuária tratada e do biossólido no algodão colorido: produção e seus componentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, Suplemento, p.288-291, 2005.

FUGLIE, L. J. The miracle tree: *Moringa oleifera*. Natural nutrition for the tropics. Church World Service, Dakar, 1999.

GAJEGO, E. B. Crescimento de plantas jovens de *Maclura tinctoria* e *Hymenaea courbaril* em diferentes condições de sombreamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., Ilhéus, BA. Resumos. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2001. 1 CD-ROM. 2001.

GERDES, G. O uso das sementes da árvore moringa para o tratamento da água turva.[S.l.]: Esplar, 13p. 1994.

GERDES, G. Como limpar e tratar água suja com sementes da moringa. Fortaleza: ESPLAR – Centro de Pesquisa e Assessoria, 18 p., (Boletim Técnico). 1997.

GUIRRA, F. 2008. Moringa e o biodiesel: 1001 Utilidades. Biodieselbr. 8, 30-34.

GOHN, M.G. Empoderamento e participação da comunidade em políticas sociais. Revista Saúde e Sociedade. v.13, n.12, São Paulo-SP, maio-agosto. p.20-31, 2004.

GUIMARÃES, A. S.; MACEDO, B. N. E.; COSTA, S. G. Fontes e doses crescentes de adubos orgânicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. Revista Agitat. Boa Vista, v. 04, n. 1, p. 17-22, 2009.

GONÇALVES, F. M., FEITOSA, H. O., CARVALHO, C. M., GOMES FILHO, R. R., VALNIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.3, n.2, p.71-77. 2009.

GOMES, J. W. S.; DIAS, N. da S.; OLIVEIRA, A. M.; BLANCO, F. F.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento e produção de tomate cereja em sistema hidropônico com rejeito de dessalinização. *Revista Ciência Agronômica*. v.42, p.850-856, 2011.

HESPANHOL, I. Health and Technical Aspects of the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture, Chapter 10, in: *Socioeconomic and Environmental Issues in Water Projects – Selected Readings*, Ed. Fritz Rodrigues, The Economic Developing Institute of the World Bank, The World Health Organization. 1994.

HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A., (1985), Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1(2):96-99.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil, Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de aquíferos. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n.4, Out/Dez, 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso da água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. In: *Encontro de las águas*, 3, 2001, Santiago, 2001. P. 1-32.

HILL, R.W., ALLEN, L.N. Water table lysimeter data interpretation. In: ALLEN, R.G., HOWELL, T.A., PRUITT, W.O., WALTER, I.A., JENSEN, M.E. *Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements*. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 254-63.

HILLEL, D. *Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations. Água no solo : características e comportamento*. New York: Academic Press, 1998. 413 p.

JACOBI, P. R. Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. *Revista Educação Ambiental e Pesquisa*. v.31, n. 2. São Paulo, p. 233-250, maio-agosto, 2005.

JADOSKI, S. O.; KLAR, A. E.; SALVADOR, E. D. Relações hídricas e fisiológicas em plantas de pimentão ao longo de um dia. *Revista Ambiente*, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 11-19. 2005.

JAHN, S. A. A.; MUSNAD, H. A.; BURGSTALLER, H. The tree that purifies water: cultivating, multipurpose Moringaceae in the Sudan. *Unasyuva*, v. 38, p. 23-28, 1986.

JENSEN, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G., Evapotranspiration and irrigation water requirements, ASCE manuals and reports on engineering practice No.70, ASCE, 1990.

JUNIOR COLETTI, A.; DALLACORT, R.; DALCHIAVON, F. C.; MARTINS, J. A.; SANTI, A.; INOUE, M. H. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da cultura do pinhão manso. *Revista Agrarian*, Dourados, v.5, n.18, p.373-383, 2012.

KELLER, J.; KARMELI D. Trickle irrigation design. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

KERR, W. E.; SILVA, F. R.; RESENDE, A.; GODOI, H. T.; KERR, L. S. *Moringa oleifera*: distribuição de sementes dessa hortaliça arbórea. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 16, n. 1, 1998. Trabalho apresentado no 38º Congresso Brasileiro de Olericultura, 1998.

KLOSOWSKI, E. S. Determinação do consumo de água em cultura de pimentão (*Capsicum annuum L.*) em ambiente protegido. Botucatu, 82p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999.

LARCHER, W. 2000. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos, Rima. São Paulo. 529 p.

LACERDA, N. B. DE.; SILVA J. R. C. Efeitos do manejo do solo e da adubação orgânica no rendimento do algodoeiro *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.11, n.2, p.167-172, Campina Grande, PB. 2007.

LACERDA, V. J. A. Incorporação da Educação Ambiental ao processo de formação continuada de professores para educação profissional. *Revista Eletrônica do Mestrado de Educação Ambiental*. v. 19, Rio Grande do Sul-RS, p. 181-190, Julho a dezembro de 2007.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. Tradução: PRADO, C. H. B. A. São Carlos, SP: RIMA, 2000. 531p.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. *Scientia Agricola*, v.66, n.2, p. 242-249, 2009.

LÉDO A. DA S. et al. Propagação sexuada in vitro de moringa (*Moringa oleífera Lam.*) - Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1961; 39). 2008.

LEITE, V. D.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DE SOUSA, J. T.; LOPES, W. S.; PRASAD, S.; SILVA, S. A. Tratamento de águas residuárias em lagoas de estabilização para aplicação na fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, p.71-75, 2005.

LECINA, S.; MARTÍNEZ-COB, A.; PÉREZ, P.J.; VILLALOBOS, F.J.; BASELGA, J.J. Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman–Monteith equation under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, vol. 97, 181-198, Maio, 2003.

LEON, S. G.; CAVALLINI, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de GHERY, H.R.; KONIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB. 108p. 1999.

LIMA, R. DE L. S. DE.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. L.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. DE M. Crescimento inicial de mudas de mamoneira em substrato contendo lodo de esgoto e casca de amendoim. *Revista de Oleaginosas e Fibrosas*, v.9, p.887-891, 2005.

LIMA, N. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; SILVA, E. F. F.; MONTENEGRO, A. A. A.; NASCIMENTO, A. H. C. O. Desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica com sensor de pressão hidrostática e sistema manométrico. *Irriga*, Botucatu, v. 18, n. 3, p. 540-557, julho-setembro, 2013.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, p.89-95, 2006.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de sob influência do teor de substrato e estresse salino. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LOUREIRO, C. F. Educar, participar e transformar em educação ambiental. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*. n. 1, Brasília, p.13-20, 2004.

MARINHO, F. J. L.; GHEY I, H. R; FERNANDES, P. D. Germinação e formação de mudas de coqueiro irrigadas com águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.3, p. 334-340, 2005.

MALHEIROS, S. M. M.; SILVA, Ê. F. de F.; MEDEIROS, P. R. F. de.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; SANTOS, A. N. Cultivo hidropônico de tomate cereja utilizando-se efluente tratado de uma indústria de sorvete. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*. vol.16, n.10, Campina Grande, Oct. 2012.

MACHADO, R. E. E.; MATTOS, A. Construção e instalação de um lisímetro com sistema de drenagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 147-151, 2001.

MADRONA, G. S. et al. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. *Water, Air and Soil Pollution*, v. 211, p. 409–415. 2010.

MAGALHÃES, W. S.; CAMPOS, R. T. Economia agrícola, recursos naturais e meio ambiente. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 28, n. especial, p. 417-429, 1997.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Nutrients and antiquality factors in different morphological parts the *Moringa oleifera* tree. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 128, p. 321 – 322, 1997.

MAÑAS, F. M.; VALERO, J. A. 1993. *Agronomía del riego*. La Universidad de Castilla-La Mancha. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España. 732 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F.. *Irrigação: princípios e métodos*. Viçosa, MG: Ed UFV, 2006.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade: Caracterização do clima e definição de alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA. 2^a ed. 212 p. (Série Biodiversidade, v. 26).

MARTINS, M. O. Aspectos fisiológicos do nim indiano sob déficit hídrico em condições de casa de vegetação. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. Cultivo de flores com o uso de água residuária e suplementação mineral. Engenharia Agrícola, v.30, p.1071-1080, 2010.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira Valência sob deficiência hídrica. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Brasília, v. 11, n. 1, p. 29-34, 1999.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. DE; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.2, p.275-279, 2003.

MIAMOTO, R.; RIVAS, R.; POMPELLI, M. F.; SANTOS, M. G. Avaliação do vigor de dois lotes de sementes de *Moringa oleifera* L. IV Congresso Brasileiro de Mamona & IV Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina grande: Embrapa Algodão, 2010. p.859-863.

MIRANDA, R. J. A. Laminas de irrigação com água residuária e adubação orgânica na cultura do algodão BRS Safira. 2009. 83 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB.

MOLINIER, M.; ALBUQUERQUE, C. H. C. & CARDIER, E. Análise de pluviometria e isoietas homogêneas do nordeste brasileiro. Recife, Sudene, 58p. (Hidrologia, 32). 1994.

MONTEIRO, J. M. A. Plantio de oleaginosas por agricultores familiares do semi-árido nordestino para produção de biodiesel como uma estratégia de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em planejamento energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ.

MONTEIRO, P. P. M.; RAMOS, F. A. Beneficiamento e quebra de dormência de sementes em cinco espécies florestais do cerrado. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 169-174, 1997.

MORAES, N.B.; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A.; OLIVEIRA, A.M.S. Avaliação de cápsulas de cerâmica de instrumentos de medida de tensão usados em tensiômetros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n.1, p.58-68, 2006.

MOURA, A. S. et al. Caracterização Físico-química da folha, flor e vagem da Moringa (*Moringa oleifera* Lamarck). In: I Encontro Nacional de Moringa, Aracajú. 2009. Anais... Aracajú. 2009.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. DE.; SILVA, B. B. DA; OLIVEIRA, L. M. M. DE. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. *Rev. bras. meteorol.* vol.28 no.2 São Paulo Junho 2013.

MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MARINHO, I.; SILVA, V. P.; ANDRADE, A.; SILVA, J. G. Uso de Água subterrânea salina em halófitas no semiárido nordestino. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 8 n. 2 Abr/Jun 2003, 75–84.

MUGA, H.E.; MICHELIC, J.R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*. v. 88, n.3, p. 437-447, aug, 2008.

MUNARIM, A. Cartilha Educação do Campo: Diretrizes Operacionais: Confederação Nacional dos Trabalhadores na Agricultura - CONTAG. 2ª Edição, 2011.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, v. 167, n. 3, p. 645-663, 2005.

NASCIMENTO, M. B. H. do; LIMA, V. L. A.; BELTRÃO, N. E. de M. B.; SOUZA, A. P. de; Utilização de água residuária na cultura da mamona: crescimento e desenvolvimento. In: I In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão, 1 CD-ROM. 2004.

NAVARRO, J. M.; GARRIDO, C.; MARTINEZ, V.; CARVAJAL, M. Water relations and xylem transport of nutrients in pepper plants grown under two different salts stress regimes. *Plant Growth Regulation*. v.41, p.237-245, 2003.

NKURUNZIZA, T. et al. The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. *Water Science and Technology*, v. 59, p. 1551–1558, 2009.

NETO, A. C. A. et al. Atividade larvicida de extrato salino de sementes de *Moringa oleifera* sobre *Aedes aegypti*. In: II Encontro nacional de moringa. 2010, Aracajú. Anais eletrônicos... Aracajú. 2010.

NEVES, F. F., SILVA, F. G. B.; CRESTANA, S. Comparação entre três métodos de evapotranspiração potencial aplicados a duas sub-bacias hidrográficas de Descalvado - SP. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais, 2005. CD Rom.

NISH, L. *et al.* Coagulação/Floculação com Sementes de *Moringa oleifera* Lam para Remoção de Cistos de *Giardia* spp. e Oocistos de *Cryptosporidium* spp. da água. In: Cleaner production initiatives and Challenges for a sustainable world. 3º ed., São Paulo. Workshop international. 2011.

NOBRE, C. A.; SALAZAR, L. F.; OYAMA, M.; SAMPAIO, G.; LAPOLA, D. Relatório No. 6: Mudanças Climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. In: Mudanças Climáticas globais sobre a biodiversidade: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. CPTEC/INPE. IAE/CTA. São Paulo, Brasil, 2007.

NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, A. L. F.; ANDRADE, L. O.; NASCIMENTO, E. C. S. Produção do girassol sob diferentes lâminas com efluentes domésticos e adubação orgânica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.7, p.747–754, 2010.

NOGUEIRA, R. J. M. C. ; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A. Curso diário e sazonal das trocas gasosas e do potencial hídrico foliar em aceroleiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 35, n. 7, p. 1331-1342, 2000.

OLIVEIRA, L. M. M. Avaliação da evapotranspiração de referência (ET_o) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 111p. 2007. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, L. M. M. et al. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Recife, v.3, n.1, p.58-67, 2008.

OLIVEIRA, I. C. et al. Avaliação centesimal da semente de moringa oleifera Lam. In: II Seminário Iniciação Científica – IFTM, Campus Uberaba, MG. 20 de outubro de 2009.

OREN, R.; SPERRY, J. S.; KATUL, G. G.; PATAKI, D. E.; EWERS, B. E.; PHILLIPS, N.; SCHAFFER, K. V. R. 1999. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. *Plant, Cell and Environment*, 22 (12): 1515-1526.

OKUDA, T. B.; NISHIJIMA, A. U. W.; OKADA, M. (2000). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. Faculty of Engineering, Hiroshima University 1-4-1 Kagamiyama.

PAGANINI, W. S. Reuso da água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. das. Reuso de água. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

PENMAN, H. L.; ANGUS, D. E.; VANGABEL, C. H. M. Microclimatic factors affecting evaporation and transpirations. In: HAGAN, R. M.; HAISE, W. R.; EDMINSTER, T. W. (Ed.) *Irrigation of agricultural lands*. Madison: American Society of Agronomy, P. 483-503. 1967.

PARROTTA, J. A. *Moringa oleifera Lam.* Resedá, horseradish tree. SO-ITF-SM-61. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p. 1993.

PEREIRA, D. F.; VASCONCELOS, V. M.; VIEIRA, A. C.; ARANDA, D. A. G.; da SILVA, G. F. Estudo da estabilidade à oxidação do biodiesel a partir da moringa. II Encontro Nacional de Moringa, Aracaju – SE. 2010.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C.; *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 238p. 2002.

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

PERES, J. R. R.; BELTRÃO, N. E. M. (2006) Oleaginosas para biodiesel: situação atual e potencial. In: FERREIRA J. R.; CRISTO, C. M. P. N. coordenadores. O futuro da indústria: biodiesel. – Brasília: MDIC-STI/IEL. 145p. Disponível em: <http://www.biodiesel.gov.br/>. Acesso em 05/09/2014.

PEREZ, S. C. J. G. A.; MORAES, J. A. P. V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.3, n.1, p.27-37. 1991.

PINTO, N. O.; HERMES, L. C. Sistema Simplificado para Melhoria da Qualidade da Água Consumida nas Comunidades Rurais do Semi-Árido do Brasil. Documento 55. Jaguariúna: Embrapa, 2006.

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

PIZARRO, J. C. A. Caracteres fisiológicos e bioquímicos da tolerância à salinidade em clones de cajueiro anão-precoce. 2006. 137f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceara, Fortaleza.

POMPELLI, M. F.; OROZCO, A. J. J.; OLIVEIRA, M. T.; RODRIGUES, B. R. M.; BARBOSA, M. O.; SANTOS, M. G.; OLIVEIRA, A. F. M.; ALMEIDA-CORTEZ, J. C. Global energy crisis and the Brazilian role in the bio-fuels issue. Agronomía Colombiana 29(2), 231-240, 2011.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L. Fatores Climáticos. IN: FONTES, P. C. R. (Ed) Olericultura: teoria e prática. Viçosa: Editora UFV, p. 17-30. 2005.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres: Potafos. 343 p. SEVERINO, L. S.; CARDOSO, G. D.; VALE, L. S. do; SANTOS, J. W. dos. Método para determinação da área foliar da mamoneira. Campina Grande. 1991.

RAMOS, L. M.; COSTA, R. S.; MORO, F. V.; SILVA, R. C. Morfologia de frutos e sementes e morfofunção de plântulas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.). Comunicata Scientiae, v.1, n. 2, p.156-160, 2010.

RANGEL, M. S. *Moringa oleifera*: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil. 2003. Disponível em:

<<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso em: 07 fev. 2014.

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. DA S.; GONZAGA, M. I. DA S.; GHEYI, H. R.; Sousa Neto, O. N. de. Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. Caatinga, v.23, p.97-102, 2010.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 12:211-216, 1988.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Sodicity and soil structure. Australian Journal of Agricultural Research, v.29, p.935-952, 1991.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington D.C.: US Department of Agriculture, 1954. 160p.

RIBEIRO, G. M.; MAIA, C. E.; MEDEIROS, J. F. Uso da regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, p.15-22, 2005.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? Agricultural Water Management, Amsterdam, v.80, p.5-22, 2006.

ROCHA, A. F.; SILVA, J. O.; BARROS, F. M. Reuso de águas residuárias na agricultura: a experiência israelense e brasileira. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

RODRIGUES, M. F. G. Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. Campina Grande: 2003. 132p. Tese Doutorado.

RODRIGUES, A. B. Desafios para extensão rural: o social na transição agroecológica. Revista de Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Porto Alegre, v.3, n.3, Jul/Set 2002.

ROLOFF, A. et al. *Moringa oleifera Lam*, 1785. Enzyklopädie der Holzgewächse Handbuch und Atlas der Dendrologie, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2009.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. The use of saline waters for crop production. Rome: FAO, 133 p. 1992.

SANTANA, C. R. et al. Caracterização Físico-Química da Moringa (*Moringa oleifera* Lam), Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.12, n.1, p.55-60, 2010.

SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.632- 643, 2004.

SANTOS, F. X. Lisímetro de pesagem hidráulica e evapotranspiração de referência por diferentes métodos no agreste pernambucano. 2004. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SANTOS, M. A. L. Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. Piracicaba, 100p. Tese de Doutorado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2005.

SANTOS, M. G.; ALMEIDA-CORTÊS J.; POMPELLI, M. F.; Souza, E. S.; HARAND, W. Relações hídricas e aspectos ecofisiológicos de espécies perenes com potencial uso para biocombustíveis no semiárido nordestino. Proc. CNPq-483550/2010-8).

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.1, p.115-124, jan./mar. 2008.

SANTOS, F. X. Evapotranspiração de cultura e influência de diferentes lâminas e frequências de irrigação no crescimento e produtividade da cultura da cenoura. Recife, 81 pag. Tese de Doutorado – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. 2008.

SANTOS, A. R. F. Desenvolvimento inicial de *Moringa oleifera* Lam. sob condições de estresse. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão.

SANTOS, F. X.; MONTENEGRO, A. A. A. Determinação do consumo hídrico da cenoura utilizando lisímetros de drenagem, no agreste pernambucano. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 4, n. 3, p. 304-310, jul/set. 2009.

SAUSEN, T. L. Respostas fisiológicas de *Ricinus communis* à redução na disponibilidade de água no solo. 2007. 61 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SHAEFFER, R.; SZKLO, A. S.; LUCENA, A. F. P.; SOUZA, R. R.; BORBA, B. S. M. C.; COSTA, I. V. L.; PEREIRA JUNIOR, A. O.; CUNHA, S. H. F. Mudanças climáticas e segurança energética no Brasil. Coord. Dominique Ribeiro. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 67 p. 2008.

SAS INSTITUTE. SAS System: SAS/STAT. version 8.0 (Software). Cary. 1999.

SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração: necessidades de água para as plantas cultivada. Brasília, DF: ABEAS, 181p. (Curso de especialização por tutoria à distância). 1998.

SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J. H. & PIRES, R. C. M. Irrigação – Série Engenharia Agrícola. Piracicaba, SP: FUNEP, 410 p. 2001.

SILVA, T. J. A.; MACHADO, C. C.; SILVA, E. M. B.; COELHO, R. D. Influência do manejo da irrigação no meloeiro rendilhado cultivado em ambiente protegido. Eng. Agríc. v.25, n.3, Jaboticabal, Sept./Dec. 2005.

SILVA, T. C. S.; NUNES, T. P.; COSTA, D. G.; LIMA, L. A. L. C.; SILVA, G. F. da; OLIVEIRA JUNIOR, A. M. de. Utilização de sementes de *Moringa oleifera* Lam como alternativa para produção de biodiesel. Revista Geitec – Gestão, Inovação e Tecnologias, São Cristóvão/SE, Vol. 3/n. 2/ p.012-025, 2013.

SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. “Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG”. Biosci. J., Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101. 2011.

SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; DANTAS NETO, J.; NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; VIÉGAS, R. A. Crescimento e produção do pinhão manso irrigado com água residuária sob condições de estresse hídrico. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.621- 629, 2011.

SILVA, T. J. A.; MONTENEGRO, A. A.; RODRIGUES, J. J.; BONFIM, E. M. S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina-PE. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, SP, v.23, n.3, p.511- 520, 2003.

SILVA, T. J. A. Aplicação de evapotranspirômetro de pesagem no estudo de relações entre a evapotranspiração de referência medida e estimada no semi-árido Nordeste. 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2000.

SILVA, T. J. A. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do Balanço de Radiação e lisimetria de pesagem hidráulica.2005.98 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

SILVA, M. A. V. et al. Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. Revista Árvore, v. 32, n.2, p. 335-344, 2008.

SILVA, L. D.; MONTENEGRO, A.A.A.; MAGALHÃES, A. G.; MONTEIRO. A. L. N.; Medeiros, C. D. B. Avaliação do potencial hídrico da moringa (*moringa oleífera lam.*) sob diferentes condições de cultivo. XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – UFRPE: Recife, 09 a 13 de dezembro.

SOUZA, J. L., SILVA, M. A. V. Evapotranspiração da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgare L.*). In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 4, 1985, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1985. p.24-32.

SOUZA, N. M. Educação ambiental; dilemas da prática contemporânea. Rio de Janeiro-RJ: Universidade Estácio de Sá, 282p. 2000.

SANTOS JÚNIOR, J. A.; BARROS JÚNIOR, G. SANTOS, J. K. L.; BRITO, E. T. F. S. Uso racional da água: Ações interdisciplinares em escola rural do semiárido brasileiro. Ambiente & Água, v.8, p.263-271, 2013.

SOUZA, J. A. R. DE; MOREIRA, D. A; MARTINS, I. P.; CARVALHO, C. V. DE M. E; CARVALHO, W. B. DE. Sanidade de frutos de pimentão fertirrigados com água residuária de suinocultura. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v.8, p.124-134, 2013.

SOUZA, R. M. DE; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S., SOARES, F. A. L. Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. *Caatinga*, v.23, p.125-133, 2010.

SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum L.*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.10, n.1, p.89-96, 2006.

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

SOUZA, N. C.; MOTA, S. B.; BEZERRA, F. M. L.; AQUINO, B. F.; SANTOS, A. B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.14, p.478-484, 2010.

SOUSA, A. E. C. et al. Teores de nutrientes foliares e respostas fisiológicas em pinhão manso submetido a estresse salino e adubação fosfatada. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 144-152, 2012.

SOUZA, C. B. de. Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita - PB. Campina Grande: UFPB, 2003. 124p. Tese Doutorado.

SORRENTINO, M.; TRAJBER, R.; MENDONÇA, P.; FERRARO JR., L. A. Educação ambiental como política pública. *Revista Educação e Pesquisa*. v 31, n 2. São Paulo, p. 285-299, maio-agosto, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 449-484.

TAMUNAIDU, P. Catalytic crackinc of palm oil for the production of biofuels: optimization studies. *Bioresource Techology*, 98: 3593-3601. 2007.

TEIXEIRA, C. M. L. L.; KIRSTEN, F. V.; TEIXEIRA, P.C.N. Evaluation of Moringa oleifera seed flour as a flocculating agent for potential biodiesel producer microalgae. *Journal of Applied Phycology*, v. 24, p. 557-563, 2012.

TUNDISI, J. G. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RIMA, 2003. 248p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, p.892-898, 1980.

VAN DER HOEK, W.; HASSAN, U.M.; ENSINK, J.H.J.; FEENSTRA, S.; RASCHID-SALLY, L.; MUNIR, S.; ASLAM, R.; ALIM, N.; HUSSAIN, R.; MATSUNO, Y. Urban wastewater: a valuable resource for agriculture. A case study from Horoonabad, Pakistan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute, 29 p. (Research Report, 63). 2002.

VERSLUES, P. E, BRAY, E. A (2006) Role of abscisic acid (ABA) and *Arabidopsis thaliana* ABA-insensitive loci in low water potential-induced ABA and proline accumulation. *J Exp Bot* 57: 201–212.

VIANA, T. V. A. Evapotranspiração obtida com o sistema razão de Bowen e um lisímetro de pesagem em ambiente protegido. Piracicaba, SP, 138p. Tese (Doutorado) - Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2000.

VIEIRA, P. V. D.; FREITAS, P. S. L. de.; HASHIGUTI, H. T.; SILVA A. L. B. R. da.; BRESCANSIN, M. G.; OLIVEIRA, J. M. de. Utilização de lisímetros de drenagem para determinação da evapotranspiração da cultura do trigo. *Anais Eletrônico...VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar*, 2013.

XAVIER, J. F. DE.; AZEVEDO, C. A. V.; BELTRÃO, N. E. M. DE.; ANDRADE, A. R. S.; LIMA, V. L. A. DE. Crescimento da mamoneira sob diferentes tipos de águas residuárias e níveis de água no solo. *Ambi-Água*. Taubaté, v. 4, n. 3, p. 196-210, 2009.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v. 90, n. C5, p. 8995-9005. 1985.

ZAKRZEWSKI, S. B. Por uma educação ambiental crítica e emancipatória no meio rural. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*. n zero, Brasília, p. 79-86, 2004.