

JORGE TORRES DE ARAÚJO PRIMO

DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO E EFICIÊNCIA DO USO DE
ÁGUA EM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Serra Talhada-PE

2013

JORGE TORRES DE ARAÚJO PRIMO

DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO E EFICIÊNCIA DO USO DE
ÁGUA EM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Produção Vegetal, para obtenção do título
de Mestre.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

CO-ORIENTADORES: Pesq. Dr. Sérvulo Mercier Siqueira e Silva

Pesq. Dr. Magna Soelma Beserra de Moura

Serra Talhada-PE

2013

Ficha catalográfica

P953d Primo, Jorge Torres de Araújo.

Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano / Jorge Torres de Araújo Primo. – 2013.

106 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2013.

Referências.

1. Cochonilha do Carmim. 2. Evapotranspiração. 3. Física do solo. 4. *Nopalea* sp. I. Silva, Thieres George Freire da, orientador. II. Silva, Sérvulo Mercier Siqueira e, Co-orientador. III. Moura, Magna Soelma Beserra de, Co-orientadora. IV. Título.

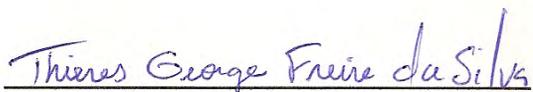
CDD 631

JORGE TORRES DE ARAÚJO PRIMO

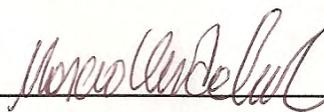
DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO E EFICIÊNCIA DO USO DE
ÁGUA EM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA NO
SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Unidade
Acadêmica de Serra Talhada, como parte das
exigências do Programa de Pós-Graduação
em Produção Vegetal, para obtenção do título
de Mestre em Produção Vegetal.

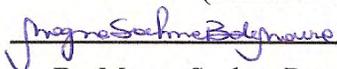
APROVADA: 04 de Março de 2013



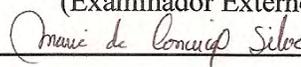
Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
(UAST/UFRPE)
(Orientador)



Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha
(UFRPE/Recife)
(Examinador Externo)



Dr. Magna Soelma Beserra de Moura
(Embrapa Semiárido)
(Co-orientadora, Examinador Interno)



Dr. Maria da Conceição Silva
(IPA / E. E. Arcoverde)
(Examinador Externo)

Serra Talhada-PE

2013

À minha querida e amada mãe, Noemi Torres Primo de Araújo, pelo incentivo à conclusão dos meus estudos e pelas infindáveis orações que sem dúvida guiaram estes caminhos, sendo esta mais uma das tantas vezes que eu recorri à sua ajuda.

Ao meu pai, Adalbério Torres de Araújo (*In memoriam*), homem forte e honesto; características essas que serão fonte de inspiração pelo resto de minha vida.

Aos meus irmãos: Oneide, Ciro, Claudio, Adriana, Eliane, Lilian e Alcione (*In memoriam*).

Ao meu cunhado Martiniano a quem eu devo muito pelas grandes ajudas.

Aos meus sobrinhos: Natália, Amanda e Victor.

Aos meus primos, em particular a João Belfort, a quem devo muito agradecimento.

À minha família, dedico o meu trabalho, minhas alegrias, conquistas e também as minhas desculpas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, pela oportunidade, assistência e dedicação durante o curso.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA pela concessão da área experimental para a realização desse trabalho.

À Embrapa Semiárido pela concessão da sonda capacitiva e as análises de planta e de solo realizadas ao longo do período experimental.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de nível Superior – CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Ao Prof. Dr. Thieres pela dedicação, amizade, compreensão e sábia orientação para alcance da realização deste trabalho.

Ao Dr. Sérvulo pela amizade e colaboração durante todo percurso deste trabalho.

Aos meus colegas da Pós-graduação em Produção Vegetal: Eduardo Costa, Edson, Felipe, Mayara, Célia, Diego e Henrique.

BIOGRAFIA

ARAÚJO PRIMO, JORGE TORRES DE, filho de Adalbério Torres de Araújo e Noemi Torres Primo de Araújo, nasceu no dia 23 de abril de 1963, em Recife - PE. Coursou o nível fundamental no Colégio Gersino de Pontes e o nível médio no Colégio e Curso União, na mesma cidade. Em agosto de 1987, ingressou no Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Graduou-se engenheiro-agrônomo em março de 1992. Em março de 2011 iniciou o Curso de Mestrado em Produção Vegetal na Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST, em Serra Talhada – PE, concluindo em fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	14
1- INTRODUÇÃO GERAL	17
2- REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1: CALIBRAÇÃO DE SONDAS CAPACITIVAS, PROPRIEDADES FÍSICO-HÍDRICAS E VARIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO CULTIVADO COM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA	22
RESUMO	22
ABSTRACT	22
1- INTRODUÇÃO	23
2- MATERIAL E MÉTODOS	25
3- RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4- CONCLUSÕES	40
5- REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2: DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA RESISTENTES A COCHONILHA DO CARMIM EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO	44
RESUMO	44
ABSTRACT	44
1- INTRODUÇÃO	45
2- MATERIAL E MÉTODOS	47
3- RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4- CONCLUSÕES	64
5- REFERÊNCIAS	65

CAPÍTULO 3: PARÂMETROS DA CULTURA E INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	70
RESUMO.....	70
ABSTRACT.....	70
1- INTRODUÇÃO.....	71
2- MATERIAL E MÉTODOS.....	73
3- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4- CONCLUSÕES.....	95
5- REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICE.....	102

RESUMO

ARAÚJO PRIMO, Jorge Torres de. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no Semiárido Pernambucano**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – URFPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST), Serra Talhada-PE. Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva. Co-orientadores: Pesq. Dr. Sérvulo Mercier Siqueira e Silva e Magna Soelma Beserra de Moura

Objetivou-se comparar a dinâmica de água no solo, a evapotranspiração e os indicadores de eficiência do uso de água e de nutrientes de clones de palma forrageira, resistentes à cochonilha do Carmim, durante o ciclo produtivo em sequeiro, nas condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro. Para isso, foram monitorados dados do conteúdo de água no solo, meteorológicos e biométricos ao longo do tempo, e de biomassa e nutrientes no final do ciclo da cultura. Foram quantificados os componentes do balanço de água no solo nos tratamentos experimentais (IPA-200205/IPA-Sertânia do gênero *Nopalea*; IPA-100004/Miúda do gênero *Nopalea*; e, IPA-200016/Orelha de elefante Mexicana do gênero *Opuntia*), utilizando os dados de uma sonda capacitiva e as propriedades físico-hídricas do solo, obtendo-se por resíduo a evapotranspiração real da cultura (ETr) e, em seguida, a fração evaporativa (FE). As medidas biométricas foram utilizadas para analisar o crescimento dos clones avaliados. Além disso, determinou-se as características químico-bromatológicas dos clones. Por meio dos dados de biomassa, nutrientes, precipitação pluviométrica e ETr foram determinados os seguintes indicadores: produtividade da água da cultura, produtividade econômica da água e a eficiência do uso de nutrientes. As variáveis foram submetidas à análise de variância e quando observada diferença significativa realizou-se comparação por meio do teste de médias de Tukey. Nas condições de sequeiro, o armazenamento de água no solo variou em função dos eventos de precipitação (P) e da capacidade de extração de água dos clones. A ETr acumulada e os demais componentes do balanço de água no solo cultivado com os três clones de palma forrageira não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$), apenas durante alguns períodos representativos do ciclo. As taxas diárias médias de ETr foram na ordem de $2,22 \pm 0,20$ mm dia⁻¹, enquanto que a fração evaporativa foi de $0,47 \pm 0,05$. A Orelha de Elefante Mexicana apresentou-se como o clone mais eficiente para o Semiárido brasileiro, em termos de ETr (11,21 kg

MV m⁻³) e de P (10,48 kg MV m⁻³). A Miúda pode ser classificada, entre as avaliadas, como o clone menos eficiente. Não se verificaram diferenças significativas em termos de composição químico-bromatológica dos cladódios, de produtividade econômica da água e da eficiência do uso de nutrientes, com exceção da eficiência do uso do elemento magnésio com base na ETr, que foi maior para a Orelha de Elefante Mexicana (11,14 g Mg m⁻³) e IPA Sertânia (7,74 g Mg m⁻³), e do elemento sódio com base na P, que foi superior nos clones Orelha de Elefante Mexicana (485,43 mg Na m⁻³) e Miúda (338,36 g Na m⁻³).

Palavras-chave: Cochonilha do Carmim, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., Requerimento hídrico.

ABSTRACT

ARAÚJO PRIMO, Jorge Torres de. **Soil water dynamics and water use efficiency indicators in cactus pear clones in Semiarid of the State of Pernambuco.** 2013. 98 f. Dissertation (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST), Serra Talhada – PE. Adviser: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva. Co-adviser: Pesq. Dr. Sérvulo Mercier Siqueira e Silva e Magna Soelma Beserra de Moura.

The objective was to compare the soil water dynamics, evapotranspiration and water and nutrients use efficiency of the clones of cactus pear, resistant to Carmine Cochineal, during the production cycle in rainfed conditions in Brazilian semi-arid. For this, it was monitored water content in the soil, meteorological variables and biometric over time, and biomass and nutrients data at the end of the crop cycle. Soil water components were quantified for the experimental treatments (IPA-200205/ 'IPA-Sertânia' of the *Nopalea* sp. genre; IPA-100004/'Miúda' of the *Nopalea* sp. of the genre; and, IPA-200016/ 'Orelha de Elefante Mexican', genus *Opuntia* sp.), using data from a capacitive probe and the soil water physical properties, obtaining by residue the crop real evapotranspiration (ETr) and then the evaporative fraction (EF). With biometrics, they were compared the growth of the clones, in terms of the characteristics of the plant and cladodes. In addition, it was determined the characteristics qualitative characteristics of the clones. Through biomass and nutrient data, precipitation and ETr were determined the indicators: crop water productivity, water economic productivity and nutrient use efficiency. At the end there was realized the comparison of these variables between treatments by analysis of variance and Tukey mean test. Rainfed conditions, water storage in soil varied depending on the rainfall events (P) and water extraction capacity of clones. The accumulated ETr and the other components of the water balance in the soil cultivated with the three cactus pear clones showed no significant differences ($P < 0.05$), only for a few representative periods of the cycle. The average daily rates were in the order of $2.22 \pm 0.20 \text{ mm day}^{-1}$, while the evaporative fraction was 0.47 ± 0.05 . The Orelha de Elefante Mexicana was the clone that presented more efficient to the Brazilian semi-arid region, in terms of ETr ($11.21 \text{ kg MV m}^{-3}$) and P ($10.48 \text{ kg MV m}^{-3}$). The Miúda clone may be classified among the evaluated as the less efficient clone. There were no significant differences in terms of chemical

composition of the cladodes, water economic productivity and nutrient use efficiency, with the exception of the use efficiency of the magnesium element on the basis of ETr, which was higher for the Orelha de Elefante Mexicana (11.14 g Mg m⁻³) and IPA Sertânia (7.74 g Mg m⁻³), and sodium element based on P, which was higher in clones Orelha de Elefante Mexicana (485.43 mg Na m⁻³) and Miúda (338,36 g Na m⁻³).

Keywords: Carmine cochineal, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., Water requirement.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Umidade volumétrica e frequência relativa em cinco condições de umidade (saturada, úmida, subúmida, semiseca e seca) e densidade aparente do solo ao longo do perfil (0,1 - 0,7 m) em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano..... 32
- Figura 2 - Curvas de calibração de três sondas capacitivas (Diviner@2000) para um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano..... 33
- Figura 3 - Evolução do conteúdo de água ao longo do tempo (A) e do perfil (B) de um Argissolo cultivado com três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.), em sequeiro, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano..... 37
- Figura 4 - Gradiente do potencial total de água e armazenamento de água para uma profundidade de 0,60 m de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.), em Serra Talhada, Semiárido pernambucano, totalizando 499 dias, representados em nove períodos..... 39

CAPÍTULO 2

- Figura 1 - Dados meteorológicos ao longo do ciclo produtivo de clones de palma forrageira, em sequeiro, no município de Serra Talhada, Semiárido pernambucano..... 54
- Figura 2 - Incremento do índice de área do cladódio por período experimental de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano..... 63
- Figura 3 - Fração evaporativa (FE), precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ET_o) por período experimental de três

clones de palma forrageira (IPA Sertânia – <i>Nopalea</i> sp., Miúda - <i>Nopalea</i> sp., Orelha de Elefante Mexicana – <i>Opuntia</i> sp.) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano.....	64
---	----

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Condições meteorológicas e normais climatológicas (NC) das variáveis meteorológicas e da demanda atmosférica ao longo do ciclo produtivo dos clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano.....	80
---	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 -	Características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano.....	25
Tabela 2 -	Calibração de sondas capacitivas utilizadas para o monitoramento umidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano, em comparação com aquelas relatadas na literatura.....	34
Tabela 3 -	Parâmetros da equação de ajuste da condutividade hidráulica ($m\ h^{-1}$) ($K(\theta) = K_o.exp[\gamma.(\theta-\theta_o)]$) em função do conteúdo de água ($m^3\ m^{-3}$), ao longo do perfil de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano.....	35
Tabela 4 -	Parâmetros de ajuste da equação exponencial de ajuste do potencial total de água (m) ($\psi_t = -\alpha.exp(-\beta.\theta)$) em função do conteúdo de água ($m^3\ m^{-3}$), ao longo do perfil de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano.	35

CAPÍTULO 2

Tabela 1 -	Precipitação pluviométrica (P), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), escoamento superficial (R), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada (ETr(ac.)) e evapotranspiração média diária (ETr(dia)) da palma IPA Sertânia, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano.....	55
Tabela 2 -	Precipitação pluviométrica (P), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), escoamento superficial (R), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada e evapotranspiração média diária da palma Miúda, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano.....	56
Tabela 3 -	Precipitação pluviométrica (P), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), escoamento superficial (R), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada e evapotranspiração média diária da palma Orelha de Elefante Mexicana, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano.	57

Tabela 4 -	Comparação dos componentes do balanço de água no solo entre os três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano dentro dos 9 períodos representativos do período experimental.....	58
Tabela 5 -	Comparação dos valores acumulados dos componentes do balanço de água no solo (DP – Drenagem profunda, AC – ascensão capilar, ΔA – variação do armazenamento de água no solo, $ETr_{(ac.)}$ – evapotranspiração real acumulada e $ETr_{(dia)}$ – evapotranspiração média diária) dos clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana), durante o período experimental de 499 dias, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano.	59

CAPÍTULO 3

Tabela 1 -	Características químicas do solo da área experimental cultivado com clones palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido pernambucano.....	74
Tabela 2 -	Comparação de características de crescimento entre clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro, no semiárido pernambucano.....	80
Tabela 3 -	Características de crescimento dos cladódios de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, nas condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	83
Tabela 4 -	Parâmetros hídricos e de desempenho produtivo de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	85
Tabela 5 -	Composição mineral dos cladódios em três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	87

Tabela 6 - Composição bromatologica de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, nas condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	90
Tabela 7 - Produtividade da água da cultura (PA_C) em base seca e fresca, produtividade econômica da água (PEA) com base na água precipitada (Prec.) e evapotranspirada (ETr) e déficit econômica da água (ΔEA) de três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	92
Tabela 8 - Eficiência do uso de nutrientes (EUN) com base na água precipitada (Prec.) e evapotranspirada (ETr) de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), cultivados, resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano.....	93

1- INTRODUÇÃO GERAL

O Semiárido brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 900.000 km², cerca de 10% do território nacional, compreendendo os estados do Nordeste, exceto o Maranhão, além do Norte de Minas Gerais. Apresenta um clima quente e seco, com duas estações bem definidas, a seca e a úmida, sendo que, a maior parte das chuvas se concentra no período de três a quatro meses, acarretando um balanço hídrico negativo na maioria dos meses do ano, e elevado índice de aridez. A precipitação anual é de, em média, 700 mm, com grande variação temporal e espacial, de modo que a distribuição das chuvas ao longo da estação chuvosa e em diferentes anos é extremamente irregular (ARAÚJO FILHO, 1995; MOURA et al., 2007).

A baixa disponibilidade hídrica associada à sazonalidade da produção de alimentos são alguns dos motivos para qual o Semiárido brasileiro, possui a pecuária e a produção de alimentos em base familiar como as suas principais atividades (NASCIMENTO, 2008). Além disso, a carência de forragem oriunda da vegetação nativa condiciona o produtor a depender de concentrados e de volumosos conservados, de plantas forrageiras (fenos e silagens) e restos de culturas, para que possa alimentar o seu rebanho (LIMA et al., 2004). Diante disso, a palma passa a ser um relevante recurso para a alimentação animal com alta capacidade de oferta de forragem, quando comparada à vegetação nativa, principalmente devido a sua rusticidade e potencial de produção em condições de pouca disponibilidade de água (SALES et al., 2009). Essa potencialidade está associada a sua ampla capacidade de adaptação, por causa das suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (NOBEL; BOBICH, 2002). Todavia, a palma é uma planta que também possui múltiplas outras utilidades, podendo ser utilizada inclusive na alimentação humana, na produção de medicamentos, cosméticos e corantes, na conservação e recuperação de solos, cercas vivas e em paisagismo (OLIVEIRA et al., 2010).

Entre as mesorregiões do Estado de Pernambuco, o Agreste e do Sertão possuem as maiores áreas de cultivo de palma forrageira, podendo atingir elevadas produções de biomassa, sobretudo quando submetidas a práticas agronômicas adequadas e quando se utiliza clones com alto potencial produtivo (OLIVEIRA et al., 2010). Nessa região, a água é um recurso limitado de fundamental relevância para a produção das culturas agrícolas; entretanto, é possível incrementar a eficiências das mesmas, por meio da adequação do uso de água no sistema de produção, que pode alterar ou mesmo induzir o aumento da produtividade das plantas (DI PAOLO; RINALDI, 2008; JALOTA et al., 2006).

Para se atingir tal incremento, inicialmente torna-se importante conhecer a evapotranspiração real da cultura (ET_r), logo que esta permite avaliar a eficiência do sistema produtivo. Para se determinar a ET_r, um dos métodos mais utilizados é do balanço de água no solo, que contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle, utilizando medidas de umidade volumétrica e de propriedades físico-hídricas do solo. Além disso, também é possível analisar a variação do armazenamento de água no solo (CRUZ et al., 2005; LIMA et al., 2006).

A disponibilidade de água está diretamente relacionada ao rendimento das plantas, sendo que para avaliar tal relação, usa-se o indicador denominado eficiência do uso de água. A partir dele é possível analisar a resposta produtiva ao suprimento de água ou ao volume evapotranspirado pela cultura (IGBADUN et al., 2006), a fim de se determinar as condições de disponibilidade de água favoráveis para o cultivo de uma determinada espécie (KO; PICCINNI, 2009). Em condições de sequeiro, a quantificação dessa eficiência permite selecionar variedades mais tolerantes ao estresse hídrico. Por outro lado, em áreas irrigadas, o seu conhecimento é fundamental para o manejo da frequência e duração dos intervalos de reposição de água no solo, bem como para análise da viabilidade econômica da utilização de tecnologias de irrigação e de seus efeitos sobre o rendimento das culturas (ALI et al., 2007; KARAM et al., 2007).

Na literatura, informações sobre a evapotranspiração e indicadores de eficiência da palma forrageira são raras (CONSOLI et al., 2013; HAN; FELKER, 1997), especialmente nas condições do Semiárido brasileiro, o que fortalece a necessidade de suas determinações visando melhorar compreensão das respostas produtivas desta espécie no clima e solo locais. Por sua vez, essas informações podem variar em função de fatores como espécie vegetal, variedade, fases fenológicas, clima, solo, técnicas de manejo, sistemas de produção e época do ano (AZEVEDO et al., 2007; LÓPEZ-URREA et al., 2009; SUYKER; VERMA, 2009).

Com base no exposto, objetivou-se com esse estudo analisar a dinâmica da água no solo, a demanda hídrica e as eficiências do uso de água e de nutrientes de três clones de palma forrageira, resistentes à cochonilha do carmim, cultivado em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. Especificamente, pretendeu-se obter a variação sazonal dos componentes do balanço de água no solo; comparar as suas taxas de evapotranspiração real acumulada, o desempenho produtivo, a composição mineral e as características bromatológicas; avaliar a produtividade da água da cultura, produtividade econômica e a

eficiência do uso de nutrientes com base na água evapotranspirada e recebida pelo sistema de produção, via precipitação.

2- REFERÊNCIAS

ALI, M. H.; HOQUE M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. **Agricultural Water Management**, v.92, p.151-161, 2007.

ARAÚJO FILHO, J. A. **Manipulação da vegetação lenhosa da caatinga para fins pastoris**. Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1995. 18p. (EMBRAPA-CNPC. Circular Técnica, 11).

AZEVEDO, P. V.; SOUZA, C. B. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. de P. R. da. Water requirements of the pineapple crop grown in tropical environments, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.88, p. 201-208, 2007.

CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Submitted September 18, 2012; January 31, 2013; posted ahead of print February 2, 2013. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. DE; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.1-10, 2005.

DI PAOLO, E.; RINALDI, M. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. **Field Crops Research**, v.105, p.202-210, 2008.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v.36, p.133-148, 1997.

IGBADUN, H. E., MAHOO, H. F.; TARIMO, ANDREW K. P. R.; BAANDA A. S. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. **Agricultural Water Management**, v.85, p.141-150, 2006.

JALOTA, S. K.; SOOD, A.; CHAHAL, G. B. S.; CHOUDHURY, B. U. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) wheat (*Triticum aestivum* L.) system as

influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural water management**, v.84, p.137-146, 2006.

KARAM, F.; LAHOUD, R.; MASAAD, R.; KABALAN, R.; BREIDI, J.; CHALITA, C.; ROUPHAEL, Y. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural water management**, v.90, p.213-223, 2007.

KO, J.; PICCINNI, G. Corn yield responses under crop evapotranspiration-based irrigation management. **Agricultural Water Management**, v.96, p.799-808, 2009.

LIMA, C. D. S.; GOMES, H. de S.; DETONI, C. E. Adição de uréia e da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no enriquecimento protéico da palma forrageira (*Opuntiaficus indica* L.) cv. miúda. **Magistra**, v.16, n.1, p.01-08, 2004.

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

LÓPEZ-URREA, R.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. M. DE S.;MONTORO, A.; LÓPEZ-FUSTER, P. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1031-1036, 2009.

MOURA, M. S. B. de et al. **Clima e água de chuva no semi-árido**. In: BRITO, L. T. de L. B.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Org.). Potencialidades de água de chuva no semi-árido brasileiro. 1ed. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2007. p.7-179.

NASCIMENTO, J. P. do. **Caracterização morfométrica e estimativa da produção de *Opuntia ficus-indica* Mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no semi-árido da Paraíba**. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB, 2008.

NOBEL, P. S.; BOBICH, E. G. **Environmental biology**. In: P. Nobel (ed.) Cacti: Biology and Uses. University of California Press, Berkeley, California, 2002. 280 p.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; FILHO, F. C. de ANDRADE; JÚNIOR, E. B. PEREIRA. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v.5, n.4, 2010.

SALES, A. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, D. S.; VIEIRA, M. L. de M. et al. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the Semi-Arid in Paraíba State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.811, p.395-400, 2009.

SUYKER, A. E.; VERMA, S. B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.149, p.443-452, 2009.

CAPÍTULO 1:
**CALIBRAÇÃO DE SONDAS CAPACITIVAS, PROPRIEDADES FÍSICO-
HÍDRICAS E VARIAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO
CULTIVADO COM CLONES DE PALMA FORRAGEIRA**

RESUMO: Objetivou-se realizar a calibração de três sondas capacitivas, visando utilizá-las na caracterização físico-hídrica e na análise da variação espacial e temporal da umidade do solo e do armazenamento de água em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três clones de palma forrageira, em condições de sequeiro no Semiárido pernambucano. O estudo foi executado em uma área experimental situada em Serra Talhada, PE. Para isso, inicialmente foi realizada a calibração de três sondas capacitivas, a fim de se monitorar a umidade volumétrica do solo. Aplicou-se o método do perfil instantâneo para determinação das características físico-hídricas do solo. Em seguida, analisou-se a variação espaço-temporal da umidade volumétrica e do armazenamento de água no solo. Com os resultados, verificou-se que, as medidas de frequência relativa das sondas capacitivas apresentaram elevada correlação com os dados de umidade volumétrica ($R^2 > 0,87$), de modo que a tornou aplicável ao solo da área experimental. A partir do método do perfil instantâneo foi possível determinar as propriedades físico-hídricas, de modo a ser utilizadas na quantificação da dinâmica de água no solo. Em condições de sequeiro, o conteúdo e armazenamento de água no solo variaram em função dos eventos de precipitação e da capacidade de extração de água pelos clones de palma forrageira.

PALAVRAS-CHAVE: Diviner@2000, frequência relativa, umidade volumétrica

**FIELD CALIBRATION OF CAPACITIVE PROBES, PHYSICAL-HYDRIC
PROPRIETY AND VARIATION OF WATER STORAGE IN SOIL CULTIVATED
WITH CACTUS PEAR CLONES**

ABSTRACT: The objective was to carry out calibration of three capacitive probes, to use them in physical-hydric characterization and spatial and temporal analysis of the variability of soil moisture and water storage in an Uduft soil grown with three clones of cactus pear, in rainfed conditions in Semi-arid. The study was executed in an experimental area located in Serra Talhada district, State of Pernambuco. To do this, initially was held three capacitive probes calibration, in order to monitor the soil moisture volume. It was applied the

instantaneous profile method for determination of physical characteristics-soil water. It was analyzed the spatio-temporal variation of volumetric moisture and water storage in the soil. With the results, it was found that the measures of relative frequency capacitive probes showed high correlation with the volumetric moisture data ($R^2 > 0.87$), so that made it applicable to the soil of the experimental area. From the instantaneous profile method it was possible to determine the water physical proprieties, in order to be used in the quantification of soil water dynamics. In rainfed conditions, water content and storage in the soil vary according to rainfall events and water extraction capacity by the clones of the cactus pear.

KEY-WORDS: Diviner@2000, relative frequency, volumetric moisture

1 – INTRODUÇÃO

A palma forrageira por tradicionalmente ser uma cultura semiperene de colheita bienal, ao longo do seu ciclo produtivo pode sofrer modificações no crescimento e no desenvolvimento em respostas às alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente. Apesar de possuir grande capacidade de aclimatação em regiões semiáridas, é uma espécie que apresenta melhor crescimento e rendimento em locais em que a faixa de precipitação se concentra entre 368,4 mm e 812,4 mm e a temperatura média anual deve variar entre 16,1°C e 25,4°C. Além das exigências de disponibilidade de água e térmicas, a umidade relativa do ar é outro fator de grande influência no desenvolvimento da palma, sendo a sua faixa ideal entre 55% e 60% no período noturno (SOUZA et al., 2008). Normalmente, solos com profundidade de 0,60 a 0,70 m são os mais indicados para o desenvolvimento de seu sistema radicular. Além disso, a mesma apresenta pouca tolerância a solos mal drenados e com percentual de argila superior a 20%. Ainda, devem ser evitados solos salinizados que contribuem para o mau desenvolvimento da cultura (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006; OLIVEIRA, 2008).

Essas características de clima e solo atreladas às exigências da palma forrageira conferem uma ampla variação do armazenamento de água no solo (ΔA), que é um dos processos que mais podem refletir a interação do ambiente com a cultura. É um dado que condiciona a umidade do solo (θ), e sofrerá influência de aspectos relacionados à topografia, propriedades físicas do solo, cobertura vegetal e a condições meteorológicas locais. Por sua vez, θ é uma informação bastante utilizada em estudos que envolvem a

infiltração de água no solo, estimativa da condutividade hidráulica, drenagem, irrigação, evapotranspiração e entre outros (SANTOS et al., 2011). A ΔA também é um conhecimento de muita importância para se entender fenômenos hidrológicos que variam em escala espaço-temporal, em decorrência da ação de outros fatores de natureza climática, ecológica, geológica, etc (ROSSATO et al., 2004).

Assim, para a análise da ΔA é necessário o monitoramento da umidade do solo, que pode ser obtida por meio de métodos direto e indiretos. A gravimetria é considerada o método direto padrão, enquanto que os métodos indiretos são àqueles que dependem de propriedades físicas associadas à solução dos solos para se determinar a umidade volumétrica. Exemplos desse tipo de método se baseiam na reflectometria no domínio do tempo (TDR), a contabilização da passagem de nêutrons, a resistência elétrica e a frequência no domínio do tempo (FDR) (ANDRADE JUNIOR et al., 2007).

A FDR, denominadas comercialmente ‘sonda capacitiva’ (i.e. Diviner@2000, Sentek Pty Ltd., Australia), possuiu como vantagens a segurança ao operador, fornecimento de leituras rápidas e precisas em profundidade, facilidade de operação e a possibilidade de acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (ANDRADE JÚNIOR et al., 2007). Embora, os fornecedores disponibilizem uma equação universal de estimativa do conteúdo de água no solo em função da frequência relativa obtida pelo sensor, a calibração local pode melhorar a precisão das medições (SILVA et al., 2008). As sondas Diviner@2000 são citadas em vários estudos de dinâmica de água no solo (MARTÍN-VERTEDOR et al., 2011; ZHANG et al., 2010).

Nesse tipo de estudo, θ também é utilizada numa das etapas mais importantes, que se trata da estimativa dos fluxos (Q). Q pode ser ascendente (ascensão capilar) ou descendente (drenagem profunda), porém dependem da determinação da condutividade de água do solo numa condição de solo não saturado, $K(\theta)$. Para isso, tem-se o método do perfil instantâneo, que possui a vantagem de estabelecer a relação da $K(\theta)$ em função θ , utilizando-se medidas simultâneas de potencial matricial e de θ , em campo, em diferentes tempos e profundidades. Esse método tem sido aplicado com muito sucesso em vários estudos (GHIBERTO et al., 2011; MARTINS, 2009; SILVA, 2005). No cálculo de Q , prevê-se também o uso do potencial total de água no solo (ψ_t), para determinação do gradiente ($\Delta\psi_t/\Delta z$). Em campo, ψ_t comumente é determinado, mediante medidas tensiométricas e valores de z . Todavia, naqueles casos em que se usam equipamentos de medida indireta de umidade do solo (exemplo, sonda de nêutrons, FDR e TDR), ψ_t pode

ser obtida por curvas semi-empíricas em função de θ . DOURADO-NETO et al. (2000) citam várias equações, dentre elas Campbell (1974) e Exponencial.

Com base no exposto, objetivou-se realizar a calibração de três sondas capacitivas, visando utilizá-las na caracterização físico-hídrica e na análise da variação espacial e temporal da umidade do solo e do armazenamento de água em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três clones de palma forrageira, em condições de sequeiro no Semiárido pernambucano.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Características da área experimental

O estudo foi executado numa área experimental de palma forrageira do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, localizada no Semiárido do estado de Pernambuco (7°59'S, 38°15'O e 431 m). O solo da área experimental é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso conforme a classificação da EMBRAPA (1999).

Na Tabela 1 são demonstradas as características físicas do solo.

Tabela 1. Características físicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Profundidade	da	ds	Pt	Areia	Silte	Argila
M	Kg m ⁻³	Kg m ⁻³	%	g/Kg	g/Kg	g/Kg
0,0-0,10	1,54	2,52	38,93	727,18	227,20	45,63
0,10-0,20	1,58	2,55	37,95	712,73	241,55	45,80
0,20-0,30	1,56	2,58	39,30	708,18	251,43	40,38
0,30-0,40	1,50	2,58	41,80	637,43	277,18	85,48
0,40-0,50	1,49	2,58	42,47	669,95	242,05	87,98
0,50-0,60	1,51	2,59	41,58	646,60	275,90	77,48
Média	1,53	2,57	40,34	683,68	252,55	63,79
Desvio Médio	0,03	0,02	1,61	32,35	15,99	19,86
C.V.(%)	1,96	0,82	4,00	4,73	6,33	31,12

da – densidade aparente do solo; ds – densidade da partícula do solo; Pt – porosidade total.

O perfil é caracterizado pela grande presença de cascalhos, resultando em uma elevada densidade aparente do solo ($> 1,49 \text{ kg m}^{-3}$), que juntamente com as demais propriedades são bastante uniformes com a profundidade, conforme os baixos valores do coeficiente de variação mostrados na Tabela 1. A única exceção é a granulometria de argila, que a partir da camada de 0,30 m tende a aumentar ligeiramente. Para o perfil, a porosidade do solo é mediana ($< 42,47\%$), apresentando uma breve redução entre as duas primeiras camadas (0,0 – 0,1 m e 0,1 – 0,20 m), seguida de um aumento abrupto até a profundidade de 0,50 m e uma nova diminuição na próxima camada (0,50 – 0,60 m). Essas propriedades conferem ao solo um baixo movimento de água, como será discutido posteriormente, além disso, pode oferecer resistência ao enraizamento da cultura. A capacidade de água disponível, até a camada de 0,60 m de profundidade, é na ordem de 256 mm.

A área experimental (Figuras 1A e 2A) foi implantada em fevereiro de 2010, com três clones de palma forrageira (IPA-200205/IPA-Sertânia do gênero *Nopalea*; IPA-100004/Miúda do gênero *Nopalea*; e, IPA-200016/Orelha de elefante Mexicana do gênero *Opuntia*) em espaçamento de 1,6 m x 0,2 m em curvas de nível, compreendendo uma densidade equivalente de 31.250 plantas por hectare. A área foi subdividida em parcelas experimentais, contendo quatro fileiras, cada uma com vinte plantas, ocupando uma área de $25,6 \text{ m}^2$ e área útil de $10,24 \text{ m}^2$ com 32 plantas úteis. Foram realizadas capinas manuais, aplicação de herbicida e de inseticidas quando necessários para manutenção da área livre de plantas espontâneas e de pragas, respectivamente. O herbicida aplicado foi o Diuron a 0,5% e o inseticida folisuper a 0,2% para realizar o controle fitossanitário. Durante o período experimental foi realizada a adubação equivalente de $130 \text{ kg de N ha}^{-1}$, fracionada em três datas.

O ciclo produtivo, compreendido entre fevereiro de 2010 e março de 2012, foi conduzido em condições de sequeiro, de modo que foram utilizadas nove parcelas experimentais (Figura 3A). Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, sendo os tratamentos compostos pelos três clones.

2.2. Calibração de sondas capacitivas

Essa etapa foi realizada adjacente à área de cultivo dos clones de palma forrageira. Foram utilizadas três sondas capacitivas Diviner 2000® (Sentek Pty Ltda., Austrália), em que maiores detalhes sobre o seu princípio físico de funcionamento podem ser obtidos em

SENTEK (2000; 2001). Para isso, inicialmente foram instalados conforme manual do fabricante tubos de acesso, durante os meses de setembro e outubro de 2010. Nessa etapa foram usados equipamentos e ferramentas para instalação, como: haste de silicone, martelo de borracha, trado de ferro e anéis de latão biselado em uma das extremidades, visando garantir a máxima verticalidade de inserção do tubo de acesso no solo, assim como favorecer o máximo contato do solo com a superfície externa do tubo, a fim de se evitar a formação de bolsões de ar. As calibrações das sondas capacitivas foram realizadas por meio da adaptação de metodologia citada pelo fabricante (SENTEK, 2000) e em outros trabalhos da literatura (ANDRADE JÚNIOR et al., 2007). As três sondas capacitivas foram denominadas como Sonda 0, Sonda I e Sonda II. Assim, além de estabelecer três níveis de umidade no solo (seco, úmido e saturado) foram adotados mais dois níveis, semisecco e subúmido, representando o conteúdo de água no solo superior a condição seca e inferior à condição úmida, respectivamente, visando contemplar toda a faixa de umidade do solo. Dois tubos foram considerados para cada condição “seca”, “úmida” e “saturada” e um para cada condição “semiseca” e “subúmida”, totalizando oito tubos de acessos. Após 25 dias das instalações dos tubos foram abertas, manualmente, três trincheiras, com dimensões de 4,0 m x 1,5 m x 1,0 m de profundidade (Figura 4A), sendo uma para dois tubos da condição “seca” e o da condição “semiseca”, uma para os dois tubos da condição “úmida” e o da condição “subúmida” e outra para os dois tubos da condição “saturada”.

A condição de saturação foi estabelecida no mês de setembro de 2012, quando os níveis pluviométricos foram praticamente nulos, e que sucederam vários meses sem eventos de chuva. Por meio de um anel de infiltração com diâmetro de 0,50m e 0,50m de altura, com exceção dos dois tubos com condição seca, os demais receberam 460 L até a frente de molhamento atingir 1,0 metro de profundidade, observado ao longo da trincheira. No dia seguinte à aplicação de água, foram feitas as leituras com a sonda e a coleta das amostras de solo junto aos tubos da condição “saturada”. Por sua vez, para os tubos do nível úmido, as leituras e amostragens foram realizadas sete dias após a colocação da água no solo. Para a condição “subúmida” foi necessário esperar dezoito dias, enquanto que para a condição “semiseca” vinte e oito dias, devido à baixa condutividade de água no solo. Como os procedimentos de calibração foram realizados com início no período seco do ano, para os dois tubos do nível “seco” se procederam apenas às leituras e coleta do solo.

Em cada tubo de acesso foram realizadas 3 leituras de FR, gerando-se uma média para cada uma das camadas (de 0,1 a 0,8 m, a cada 0,10 m). Em seguida, procedeu-se a coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade aparente do

solo. Para isso uma amostra de solo deformada e duas indeformadas (anel volumétrico 55 x 45 mm) foram retiradas em áreas adjacentes ao tubo e colocadas em uma lata de alumínio (81 x 75 mm) com tampa. As amostras foram pesadas, secas em estufa (105 °C) e pesadas novamente, após 48 h. A umidade volumétrica (θ_v , $m^3 m^{-3}$) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela densidade do solo ($kg m^{-3}$). Os valores de θ_v e as correspondentes leituras de FR foram submetidos à análise de regressão ($\theta_v = a.FR^b + c$) e a sua significância e de seus parâmetros foi avaliada mediante teste t Student e F, aos níveis de 5% de significância.

2.3. Determinação das propriedades físico-hídricas do solo

As propriedades físico-hídricas do solo foram representadas no presente estudo pela condutividade hidráulica do solo saturado e do solo não saturado e do potencial total de água no solo, ao longo do perfil do solo. Para isso, aplicou-se, em campo, o método do perfil instantâneo, logo que o mesmo, além de permitir a determinação dos componentes da equação de Richard, é o que mais proporciona as condições reais das propriedades físico-hídricas do solo, conforme Libardi (2005). Para aplicação do método do perfil instantâneo foi preparada uma área plana e livre da vegetação, adjacente aos blocos experimentais, de modo a inserir uma estruturada de chapa galvanizada (2 mm de espessura) de 1,0 m de altura, 2,0 m de largura e 2,0 m de comprimento, no solo a uma profundidade de até 0,7 m para evitar fluxo lateral no período de inundação e de redistribuição de água (Figura 5A). Dentro da área dos 4 m² foram instalados oito tensiômetros nas profundidades de 0,10 a 0,8 m, a cada 0,1 m de intervalo, com o recipiente de mercúrio posicionado a 0,36 m da superfície do solo. A saturação do perfil foi iniciada, colocando-se água na área dos 4 m², por meio de um cano de “PVC”, oriundo do prolongamento do sistema de irrigação da área experimental, até o momento em que se verificou uma constância das leituras dos tensiômetros. A partir da interrupção do fornecimento de água, a área dos 4m² foi coberta com uma lona plástica lisa de cor preta para se evitar o fluxo vertical da água no solo exercido pelo efeito da evaporação. As medidas dos tensiômetros, ao longo do tempo de redistribuição de água no solo, foram utilizadas para o cálculo do potencial total do solo (ψ_t).

Assim, por meio de medidas simultâneas do conteúdo de água no solo e do potencial total de água durante o período de redistribuição foi possível calcular a densidade de fluxo e o gradiente de potencial total, de modo a se obter a condutividade hidráulica e,

consequente, a relação com a umidade do solo. Para isso, inicialmente encontrou-se a solução da equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial \psi t}{\partial z} \right)$$

em que, θ é a umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$), t é o tempo de redistribuição (horas), z é a coordenada vertical de posição (m), K é a condutividade hidráulica do solo ψt é o potencial total de água no solo.

No cálculo de K foram resolvidos os seguintes problemas de valor de contorno:

$$\begin{array}{lll} t = 0 & L > 0 & \theta = \theta(L) \\ t > 0 & L \rightarrow +\infty & \theta = \theta_i \\ t = 0 & L = 0 & K(\theta) \frac{\partial \psi t}{\partial z} = 0 \end{array}$$

sendo, L é a profundidade do solo θ_i o conteúdo de água inicial no solo.

Considerando a segunda condição de contorno e relacionando-se à camada L , obteve-se:

$$K(\theta) = \frac{-dA_L}{\left. \frac{d\psi}{dz} \right|_L dt}$$

em que, A_L é a armazenagem de água no solo na camada de 0 a L de profundidade.

Com os valores de A_L e t e ψt e z foram obtidos os melhores ajustes matemáticos a partir de equações quadráticas, de modo a se obter os gradientes da função acima. A resolução dos valores de $K(\theta)$ foi relacionada com as medidas do conteúdo de água no solo, de modo que a função foi expressa por:

$$K(\theta) = K_0 \cdot e^{\gamma(\theta - \theta_0)}$$

onde, K_0 é a condutividade hidráulica no solo saturado, θ_0 é o valor da umidade de saturação e γ é o coeficiente angular da reta $\ln K$ em função de θ .

2.4. Monitoramento da umidade e armazenamento do solo cultivado com três clones

Para o monitoramento da umidade do solo (θ) foram instalados nove tubos de acesso, um em cada repetição dos clones, a uma distância de 0,10 m das fileiras de cultivo. A partir da instalação dos tubos de acesso e da sonda capacitiva calibrada localmente foi possível a realização de leituras do conteúdo de água no solo a cada 0,10 m, em intervalos de tempo de três dias. O monitoramento da umidade foi iniciado em 20 de outubro de 2011 e finalizado em 02 de março de 2012, totalizando 499 dias e 189 dias de leituras. Os dados de umidade do solo foram tratados em escala temporal e em escala espacial para cada uma das profundidades do solo. O armazenamento de água no solo (A) foi obtido por meio da integração dos valores de todas as profundidades e a variação do armazenamento (ΔA) pela diferença dos valores acumulados em intervalos de quatorze dias. Os resultados foram integralizados para nove períodos representativos do ciclo da cultura, visando a melhor interpretação dos dados. Tanto os dados de θ quanto de A e ΔA para os clones foram comparados entre si por meio de teste t de Student, ao nível de 5% de significância.

2.5. Monitoramento da precipitação

Os dados de umidade volumétrica do solo foram expressos graficamente em comparação com os dados de precipitação registrados por meio de uma PCD (plataforma de coleta de dados automatizada), pertencente à Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC/ITEP, localizada aproximadamente a 700 m da área. Os dados foram obtidos no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (www.cptec.inpe.br).

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Calibração das sondas capacitivas

As leituras de umidade volumétrica (θ) e frequência relativa médias das três sondas capacitivas (FR) para cada profundidade nas cinco condições de umidade propostas (saturada, úmida, subúmida, semiseca e seca) são demonstradas na Figura 1. Os valores de umidade volumétrica variaram de $0,0621 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade de 0,10 m para a condição seca, até $0,3236 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, na profundidade de 0,7 m, na condição saturada, correspondendo a valores de FR de $0,4744 \pm 0,0146$ e $0,8166 \pm 0,0161$, respectivamente.

Os valores de umidade volumétrica ao longo do perfil obedeceram as suas respectivas condições impostas de umedecimento do solo, mas, de modo geral os maiores valores foram constatados com a profundidade ($< 0,40 \text{ m}$), em resposta ao avanço da frente de molhamento. Nas condições “úmida” e “subúmida”, mesmo as amostras sendo obtidas em dias distintos (sete e dezoito dias após a plena infiltração dos 460 L de água), os valores de umidade estiveram bastante próximos, diferindo-se apenas nas primeiras camadas do solo. Esse resultado pode estar associada à baixa condutividade hidráulica do solo, que tende a diminuir com a profundidade.

A tendência dos valores de FR obedeceu àqueles de umidade (Figura 1B). Percebe-se que as leituras de FR entre as sondas capacitivas apresentaram pequeno desvio entre si, confirmando as informações citadas pelo fabricante, onde a normalização das leituras de frequência permite obter maior exatidão nas leituras de umidade do solo, uma vez que sondas diferentes tendem realizar leituras distintas em condições específicas como o ar e a água. As densidades aparentes do solo foram iguais a 1,71, 1,66, 1,64, 1,66 e $1,62 \text{ kg m}^{-3}$, para os cinco níveis de umedecimento do solo (saturada, úmida, subúmida, semiseca e seca), respectivamente, resultando numa média de $1,66 \pm 0,06 \text{ kg m}^{-3}$. Essas diferenças podem estar relacionadas às dificuldades de amostragens indeformadas do solo, logo que a presença de cascalhos é preponderante ao longo do perfil. Na Figura 1B é possível verificar que os maiores valores de densidade do solo estão ligeiramente situados nas primeiras camadas, onde a presença de argila é menor do que a profundidade de 0,40 m.

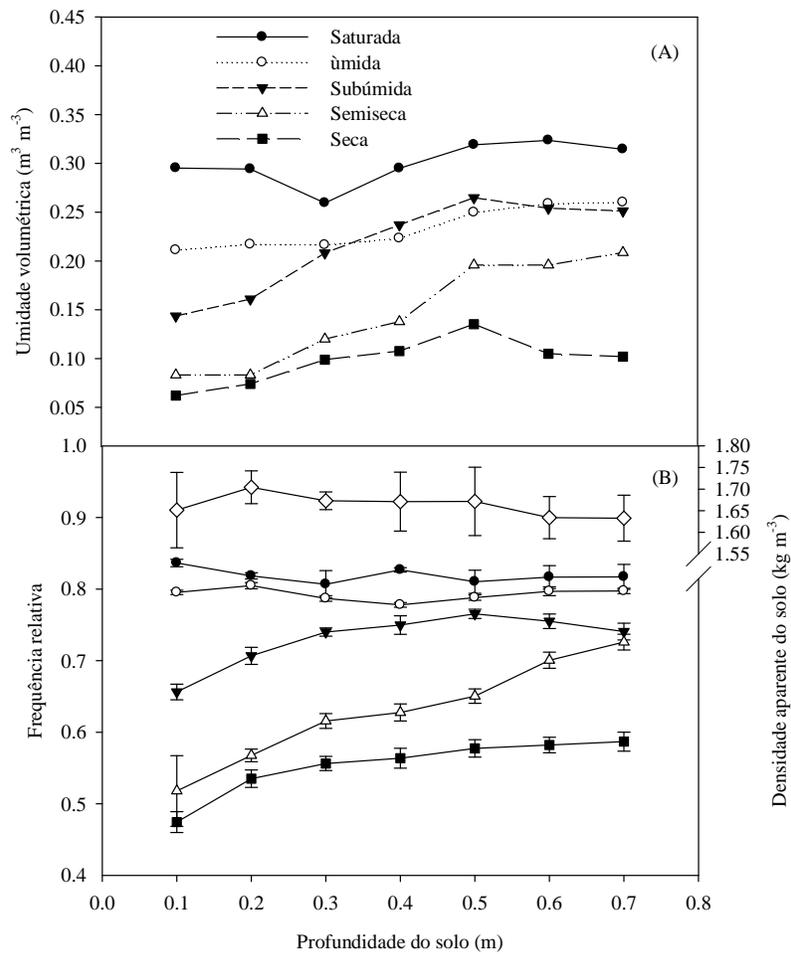


Figura 1. Umidade volumétrica e frequência relativa em cinco condições de umidade (saturada, úmida, subúmida, semiseca e seca) e densidade aparente do solo ao longo do perfil (0,1 - 0,7 m) em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Na Figura 2, constata-se que a distribuição dos dados da calibração para as três sondas capacitivas foram bem próximas entre si, estando a dispersão dos mesmos em relação a curva associada a variabilidade dos valores de densidade aparente do solo. Os coeficientes de determinação obtidos para todo o perfil com as três sonda foram elevadas ($R^2 > 0,87$) (Tabela 2), estando dentro da faixa observada em vários estudos, sobretudo para àqueles solos que possuem maiores densidades, como obtidos por Fares et al. (2004) e Silva et al. (2008).

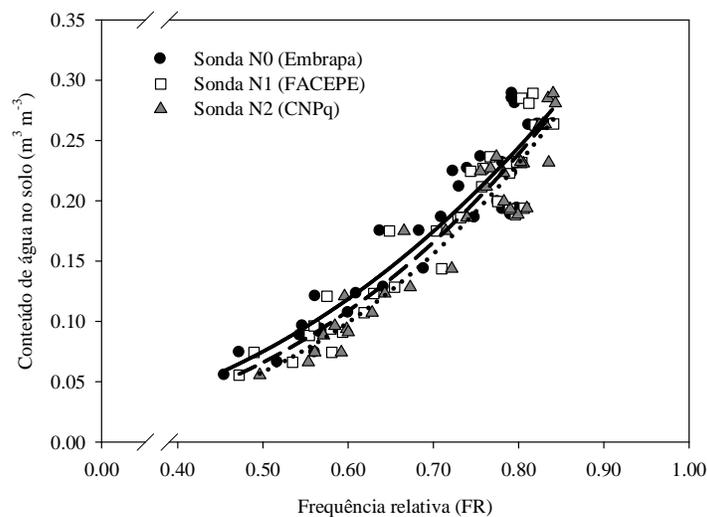


Figura 2. Curvas de calibração de três sondas capacitivas (Diviner@2000) para um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Comparando os resultados obtidos no presente estudo com a calibração do fabricante e de outros experimentos de campo, encontrados na literatura (Tabela 2), as curvas de calibração das três sondas capacitivas foram próximas daquela recomendada pelo fabricante, sendo o desvio médio de apenas 6%, -1% e -7%, nessa ordem. Andrade Junior et al. (2007) citam que essas diferenças estão associadas ao tipo, granulometria e a estrutura do solo. A equação proposta por esses autores também apresentou boa proximidade, sendo a diferença, em média, de apenas -3%. Esses resultados se devem ao fato do fabricante e Andrade Júnior et al. (2007) terem feito as suas calibrações em solos com textura arenosa, como a verificada no presente estudo. A calibração de Groves e Rose (2004) apresentou desvio semelhante ao da Sonda II, apesar de ter sido conduzido o experimento em um solo com textura bem distinta ao presente estudo (Tabela 2). Por sua vez, a calibração de Silva et al. (2008) apresentou a diferença de 10% em relação a do fabricante. Os maiores desvios foram verificados em relação a do fabricante para as calibrações propostas por Fares et al. (2004), Hidalgo et al. (2003) e Paltineanu & Starr (1997) sendo estes em torno de 32%, 36% e 39%, respectivamente.

Tabela 2. Calibração de sondas capacitivas utilizadas para o monitoramento umidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano, em comparação com aquelas relatadas na literatura

Fonte	Granulometria (g/Kg ¹)			da kg m ⁻³	Equação	R ²
	Areia	Silte	Argila			
Sonda 0	684	253	64	1,66	$\theta_v=0,4279.FR^{2,5116}$	0,87
Sonda 1	684	253	64	1,66	$\theta_v=0,4395.FR^{2,7350}$	0,89
Sonda 2	684	253	64	1,66	$\theta_v=0,4453.FR^{2,9403}$	0,92
Fabricante	-	-	-	-	$\theta_v=0,494.FR^{3,017}$	0,99
Groves e Rose (2004)	280	280	440	1,09	$\theta_v=0,514.FR^{3,371}$	0,93
Fares et al. (2004)	394	122	484	1,52	$\theta_v=0,440.FR^{1,549}-0,040$	0,88
Hidalgo et al.(2003)	70	410	520	1,28	$\theta_v=0,382.FR^{1,616}$	0,81
Andrade Júnior (2007)	846	58	95	1,45	$\theta_v=0,397.FR^{2,533}$	0,97
Silva et al. (2008)	669	100	231	1,59	$\theta_v=0,492.FR^{2,757}$	0,93
Paltineanu & Starr (1997)	350	560	90	1,41	$\theta_v=0,490.FR^{2,167}$	0,99

θ_v = umidade volumétrica ou conteúdo de água no solo, FR = frequência relativa.

3.2. Características físico-hídricas do solo

Com a aplicação do método do perfil instantâneo foram obtidos os coeficientes das equações de ajuste da condutividade hidráulica do solo ($K(\theta)$) e do potencial total de água (ψ_t) no solo, ambos em função da umidade volumétrica, para cada uma das camadas do perfil do solo em estudo, conforme mostrados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. As equações de $K(\theta)$ apresentaram ótimos desempenhos, com valores de coeficiente de determinação elevados ($>0,9619$), sendo os melhores ajustes para as camadas mais superiores. Ótimos desempenhos também foram encontrados por Martins (2009) (R^2 entre 0,95 e 0,98), Carvalho et al. (2007) (R^2 entre 0,977 e 0,999), Jong van Lier e Libardi (1999) (R^2 entre 0,786 e 0,999) e Gonçalves (2011) ($R^2 > 0,973$).

Os valores dos parâmetros K_0 e γ apresentaram uma grande variação (C.V. de 75,94% e 36,94%), confirmando alta variabilidade do perfil do solo, como encontrada por Jong van Lier e Libardi (1999), indicando que o uso de valores médios podem provocar erros consideráveis na estimativa do fluxo de água desse solo. Observa-se uma tendência de redução da condutividade hidráulica do solo saturado com a profundidade.

Tabela 3. Parâmetros da equação de ajuste da condutividade hidráulica ($m\ h^{-1}$) ($K(\theta) = K_o.exp[\gamma.(θ-θ_o)]$) em função do conteúdo de água ($m^3\ m^{-3}$), ao longo do perfil de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Camada	K_o ($m\ h^{-1}$)	γ (m^{-1})	θ_o ($m^3\ m^{-3}$)	R^2
20 cm	0,001	30,2163	0,2987	0,9951
30 cm	0,0006	28,4565	0,3046	0,9913
40 cm	0,0004	37,6967	0,3007	0,9843
50 cm	0,0002	57,8477	0,2940	0,9759
60 cm	0,0001	67,8947	0,3105	0,9650
70 cm	0,0001	77,333	0,3557	0,9674
80 cm	0,00007	95,7574	0,3609	0,9619
Média	0,0004	56,4575	0,3179	-
CV	75,94	36,94	7,27	-

K_o = condutividade de água no solo no tempo de redistribuição igual a zero, γ = parâmetro de ajuste da equação; K_o = condutividade de água no solo no tempo de redistribuição igual a zero; $R^2_{adj.}$ = coeficiente de determinação ajustado ($n = 49$).

Tabela 4. Parâmetros de ajuste da equação exponencial de ajuste do potencial total de água (m) ($\psi_t = -\alpha.exp(-\beta.\theta)$) em função do conteúdo de água ($m^3\ m^{-3}$), ao longo do perfil de um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Camada	α	β	R^2
20 cm	34,2089	13,3638	0,9807
30 cm	26,4185	12,3038	0,9871
40 cm	52,048	14,8295	0,9772
50 cm	249,9288	20,2236	0,9575
60 cm	204,8216	17,8111	0,9301
70 cm	789,0253	19,151	0,9378
80 cm	3338,61060	22,4891	0,9159
Média	670,7231	17,1674	
C.V.(%)	118,69	18,32	

α e β = parâmetros de ajuste da equação; $R^2_{adj.}$ = coeficiente de determinação ($n = 49$).

Resultados similares foram citados por Silva et al. (2012) para dois Argissolos da Bacia do Jatobá e de Mimoso, no município de Pesqueira, PE, em ambiente do Semiárido brasileiro, quando os valores variaram de 0,0014 a 0,00024 m h⁻¹, entre as profundidades de 0,15 a 0,55 m. Os valores de γ variaram entre 30 e 100, com os maiores valores aumentando com a profundidade. Esses resultados são próximos aos encontrados por Martins (2009), variando de 40 a 100, para solos do tipo Latossolo Amarelo e Nitossolo Vermelho, com textura arenosa e argilosa, densidade médias de 1,61 e 1,30 kg m⁻³ e porosidade total de 39,5% e 54,5%, nessa ordem. Carvalho et al. (2007) também obtiveram valores de γ entre 41,49 e 101,68.

Porém, Jong van Lier & Libardi (1999) indicam que esses valores podem superar 500. O aumento dos valores de γ podem estar associados ao o aumento do teor de argila no solo. Tal relação também foi verificada por Prevedello et al. (1981) que verificaram diminuição dos seus valores com a redução do teor de argila em solos de distintas texturas. Diferentemente dos valores de K_o e γ , a θ_o , equivalente à umidade volumétrica no momento da saturação do solo, não apresentou muita variação no perfil do solo (C.V. = 7,27%), entretanto, os maiores valores são das profundidades maiores, o que pode está associada ao maior teor de argila nessas camadas.

Semelhante aos ajustes da $K(\theta)$ em função de θ , as equações do potencial total de água (ψ_t) no solo apresentaram valores de ($R^2 > 0,9159$) (Tabela 4). Os melhores resultados foram observados para as camadas mais superficiais, onde os valores de α foram os menores, indicando a ocorrência dos ψ_t maiores, ou seja, menos negativos, e os seus valores variam menos com a umidade volumétrica do solo, quando comparados às maiores profundidades, logo que os valores de β são menores. A variação dos valores de α é elevada entre as camadas do solo (118,69%), demonstrando a estratificação das características ao longo do perfil, semelhante àquela verificada para a condutividade hidráulica do solo. Uma menor variação foi verificada em relação dos valores de β , quanto à resposta do ψ_t a umidade volumétrica.

3.3. Umidade e armazenamento de água no solo com clones de palma forrageira

Na Figura 3 é mostrada a variabilidade do conteúdo médio de água ao longo do tempo e do perfil do solo cultivado com três clones de palma forrageira.

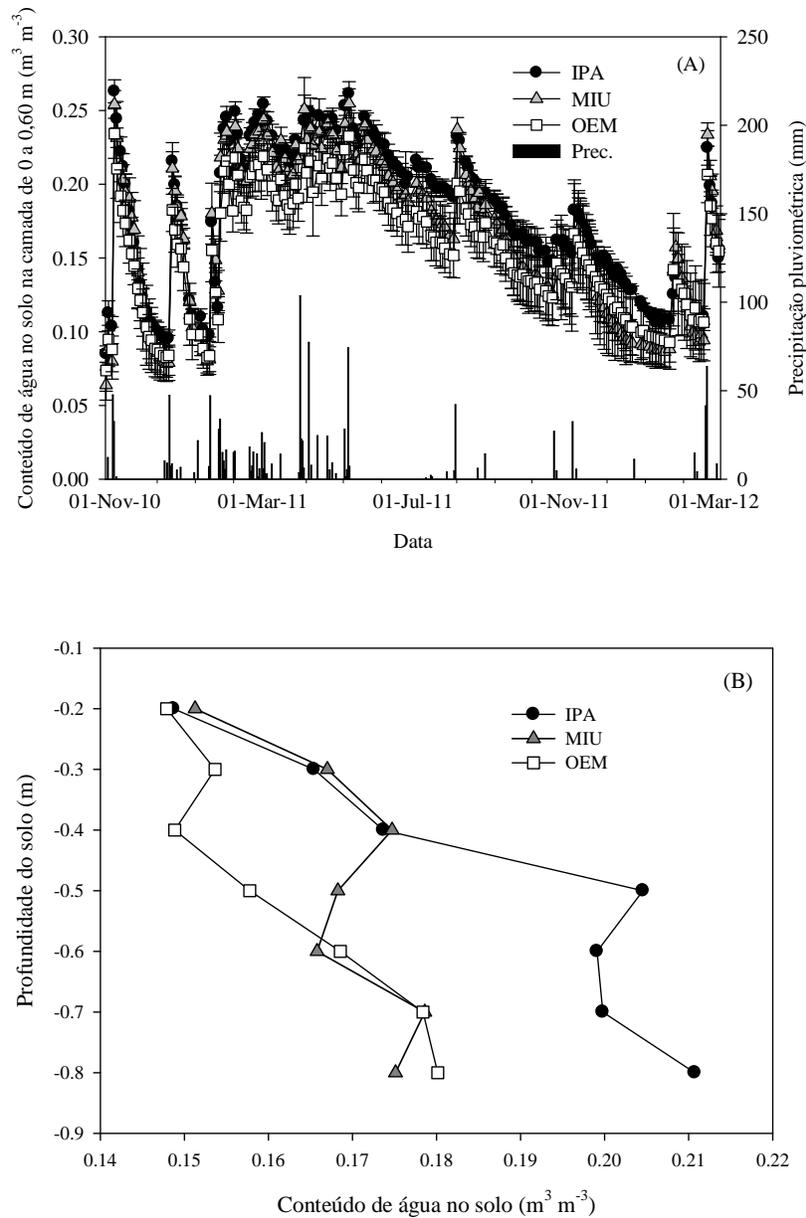


Figura 3. Evolução do conteúdo de água ao longo do tempo (A) e do perfil (B) de um Argissolo cultivado com três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.), em sequeiro, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Verificou-se a rápida resposta do conteúdo de água no solo (CAS) aos eventos de precipitação pluviométrica, sobretudo depois dos períodos de longa estiagem (entre outubro e dezembro de 2010 e segundo semestre de 2011), uma vez que o armazenamento de água era baixo e, com isso, favorece a capacidade de infiltração de água no solo. Os menores valores de CAS foram da ordem de $0,0797 \pm 0,0106 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto que os

maiores ocorreram no período mais chuvoso (janeiro a maio de 2011), quando atingiram valores máximos na ordem de $0,2630 \pm 0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Esse valor esteve próximo à umidade volumétrica de saturação que em média é de $0,3179 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Não houve diferença do conteúdo médio de água no solo entre as parcelas cultivadas com os três clones (Figura 3 A). A área cultivada com o clone IPA Sertânia apresentou CAS médio de $0,1782 \pm 0,0420 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, enquanto que para a Orelha de Elefante Mexicana foi de $0,1727 \pm 0,0341 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e para de Miúda de $0,1655 \pm 0,0453 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Para esses dois últimos clones, observou-se que, quando os valores de CAS foram maiores no período chuvoso, o mesmo tende ser menor na área cultivada com a Orelha de Elefante Mexicana. Porém, essa tendência se inverte, ou seja, o solo com a Miúda tende a possuir valores ligeiramente menores de CAS.

Pela Figura 3B, constata-se que houve uma maior extração de água até os 0,40 m de profundidade pela Orelha de Elefante Mexicana, reduzindo progressivamente com o aumento de profundidade do solo. Até os 0,40 m de profundidade não se observou diferenças na extração de água pela IPA Sertânia e Miúda, entretanto para esse último clone, a partir dessa profundidade há uma ligeira redução no CAS. Um pico de extração é observado aos 0,60 m de profundidade do solo; tendência essa semelhante à verificada para a IPA Sertânia, porém com magnitudes menores, logo que a sua extração de água reduz drasticamente a partir dos 0,40 m, em relação os dois outros clones.

Esse comportamento pode estar associado ao gênero *Nopalea* sp., especificamente quanto ao crescimento do sistema radicular que pode ser diferente daquele do gênero *Opuntia* sp. Entretanto, esse resultado também pode variar entre espécies do mesmo gênero, pois se percebe que, nas maiores profundidades, apesar da Miúda apresentar extração menor nas primeiras camadas, naquelas mais profundas, a sua capacidade de extração tende a se assemelhar com a da Orelha de Elefante Mexicana, e são superiores a da IPA Sertânia. Não há registros sobre o crescimento do sistema radicular de espécies do gênero *Nopalea* sp. Pesquisas têm mostrado que espécies do gênero *Opuntia* sp., *O. ficus-indica* e *O. robusta*, apresentam respostas diferentes em condições de estresse hídrico. Segundo Snyman (2004), essas espécies apesar de possuírem 11% e 12% de partição de biomassa para as raízes, a *O. robusta* leva mais tempo para responder as condições de baixa disponibilidade de água e demonstra menor sinais ao estresse quando comparada a *O. ficus-indica*. Ainda, esse autor afirma que, as raízes mais finas, a menor perda do sistema radicular e de água dos cladódios, ou seja, maior retenção de água nos mesmos são artifícios que a palma utilizada durante períodos de estiagem, de modo que as conferem

altos níveis de eficiência do uso de água, quando comparadas a espécies C3 e C4. Além disso, em condições de estresse hídrico a palma tende a concentrar o sistema radicular nas camadas mais superficiais, por outro lado em condições de maior disponibilidade de água as mesmas apresentam maior crescimento do sistema radicular. Entretanto, quando submetidas a estresses severos o sistema radicular se expande para as camadas mais profundas e sinais químicos são enviados das raízes para a parte aérea, a fim de se regular a dinâmica estomática dos cladódios. Com os resultados observados no presente estudo, percebe-se que, possivelmente, a Orelha de Elefante Mexicana apresenta maior resistência ao estresse hídrico quando comparada as espécies do gênero *Nopalea* sp., logo que o mesmo possui maior capacidade de extração de água do solo nas condições avaliadas.

Como consequência, verifica-se uma diferenciada dinâmica de água no solo nas áreas cultivadas com os três clones de palma forrageira, conforme Figura 4.

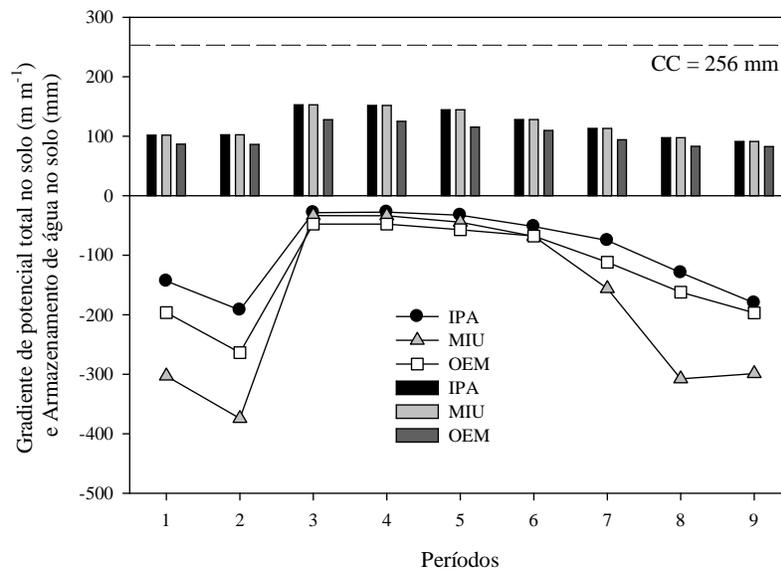


Figura 4. Gradiente do potencial total de água e armazenamento de água para uma profundidade de 0,60 m de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.), em Serra Talhada, Semiárido pernambucano, totalizando 499 dias, representados em nove períodos

É demonstrado o potencial total de água no solo para a profundidade de 0,60 m $(\Delta\psi/\Delta z)_{0,60m}$ e o armazenamento de água no solo (A) desde 20 de outubro de 2010 até 02 de março de 2012, 499 dias divididos em nove períodos representativos. O $(\Delta\psi/\Delta z)_{0,60m}$ é baixo durante os períodos onde se tem o menor valores de A, mas percebe-se que para as áreas com cultivo da Miúda é ainda mais reduzido, indicando que o fluxo descendente de água é menos favorecido, quando comparado às áreas dos outros dois clones, logo que se tem menor quantidade de água no perfil. Os menores gradientes foram verificados nos dois primeiros períodos (1 e 2) e nos três últimos (7, 8 e 9), quando ocorreram as maiores estiagens. Em todos eles, o A não atingiu a capacidade de campo (CC), sendo sempre menor do que 60% da CC, entretanto quando A foi maior (períodos de 3 a 6), devido a ocorrência dos maiores volumes de precipitação, observou-se que o $(\Delta\psi/\Delta z)_{0,60m}$ atinge valores superiores, o que proporcionou o fluxo descendente, ou seja, a drenagem profunda, inibindo que os valores de A atinjam a capacidade de campo. Em todos os períodos, os A foram menores nas áreas de cultivo com a Orelha de Elefante Mexicana e são maiores para as áreas com a IPA Sertânia, confirmando a maior capacidade de extração de água do solo pelo primeiro clone.

De modo geral, os valores de $(\Delta\psi/\Delta z)_{0,60m}$ variaram entre -27 e -375 m. Esses valores são menores do que os observados por Ghiberto et al. (2011), em experimento conduzido com cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de sulfato de amônia em Latossolos situados no município de Jaboticabal, onde o valores de $(\Delta\psi/\Delta z)$ para a profundidade 0,90 m foram positivos (variando de 0 a 5 m), indicando que a drenagem profunda foi predominante durante o período avaliado. Quando a solo possui bastante disponibilidade de água esses valores tendem a 1, e diminuem à medida que o mesmo vai secando.

4 – CONCLUSÃO

Pode-se concluir que, as medidas de frequência relativa das sondas capacitivas apresentaram elevada correlação com os dados de umidade volumétrica, de modo que a tornou aplicável ao Argissolo Vermelho-Amarelo do Semiárido pernambucano. A partir do método do perfil instantâneo foi possível determinar as propriedades físico-hídricas, de modo a ser utilizadas na análise da dinâmica de água no solo. Em condições de sequeiro, o conteúdo e armazenamento de água no solo variaram em função dos eventos de precipitação e da capacidade de extração de água pelos clones de palma forrageira.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agronômico de Pernambuco pela concessão da área experimental. À Embrapa Semiárido pela disponibilização do conjunto Diviner@2000 para monitoramento do conteúdo de água no solo e pelas análises físicas do solo. À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela liberação da Infraestrutura realização dessa pesquisa.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; DANIEL, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Agrária**, v. 2, p. 303-307, 2007.

CAMPBELL, G. S. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. **Soil Science**, v.117, p.311-314. 1974.

CARVALHO, L. A. de.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; CRUZ, A. C. R.; Caracterização hidráulica de um latossolo vermelho associado à caracterização pedológica do perfil. **Ciência Rural**, v.37, n.4, p.1008-1013, 2007.

DOURADO-NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.191-192, 2000.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C.; Productivity of *Opuntia ficus indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in north- east Brasil. **Journal of Arid Enviroments**, v.67, n.3, p.357-372, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.

FARES, A.; BUSS, P.; DALTON, M.; EL-KADI, A. I.; PARSONS, L. R. Dual field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil. **Valdoso Zone Journal**, v.4, p.1390-1399, 2004.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v.102, p.1-7, 2011.

GONÇALVES, A. D. M. de A. **Uma análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo**. 2011. 123p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GROVES S. J. L; ROSE S. C. L. Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content of six soils. **Soil Use and Management**, v.20, n.1, p.96-97, 2004.

HIDALGO, J.; PASTOR, M.; HIDALGO, J. C. Evaluacion de una sonda FDR para la estimación del contenido de água em el solo para el control de riegos em Olivar. **Estudios de La Zona No Saturada del Suelo**, v.6, p.171-176, 2003.

JONG VAN LIER, Q.; LIBARDI, P. L. Variabilidade dos parâmetros da equação que relaciona a condutividade hidráulica com a umidade do solo no método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.1005-1014, 1999.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.41-277. (Acadêmica; 61)

MARTINS, M. V. **Influência da distância de instalação de tensiômetros em campo para calculo do gradiente de potencial total no método do perfil instantâneo**. 2009. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MARTÍN-VERTEDOR, A. I.; RODRÍGUEZ, J. M. P.; LOSADA, H. P.; ELÍAS FERERES CASTIEL, E. F. Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea europaea* L., cv. Morisca). II: Water use, fruit and oil yield. **Agricultural Water Management**, v.98, p.950-958, 2011.

OLIVEIRA, F. T. de. **Crescimento do sistema radicular da Opuntia fícus -indica (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada**. 2008. 76f. Dissertação (Pós-Graduação em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB, 2008.

PALTINEANU, I. C; STARR, J. L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.1576-1585, 1997.

PREVEDELLO, B. M. S.; PREVEDELLO, C. L.; LIBARDI, P. L. Simplificação analítica do método do perfil instantâneo para obtenção da condutividade hidráulica não saturada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.93-97, 1981.

SANTOS, T. E. M. dos; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, p.670-679, 2011.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.

SENTEK. **Diviner 2000**: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2000.

SILVA, A. L. da. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) no Brasil. 2005. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SOUZA, C. F. de. **Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem**. In: SOUZA, C.F. (Org.). *Aplicações de Técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental*. 1ed. Taubaté: Unitau, 2008, v.1, p.25-45.

SILVA, J. R. L. da; MONTENEGRO, A. A. A.; SANTOS, T. E. M. dos. Caracterização física e hidráulica de solos em bacias experimentais do semiárido brasileiro, sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.27-36, 2012.

SNYMAN H. A. Effect of various water application strategies on root development of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **J. PACD**, p.35-61, 2004.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B. de; SILVA, T. G. F. da. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: *Jornada de iniciação científica da Embrapa Semiárido*, 3., 2008, Petrolina, PE. **Anais...** Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008.

ZHANG, B.; KANG, S.; LI, F.; TONG, L.; DU, T. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1898-1904, 2010.

CAPÍTULO 2:

DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO

RESUMO: Objetivou-se analisar a dinâmica da água no solo em áreas cultivadas com três clones de palma forrageira (Miúda/IPA-10004, Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 e IPA Sertânia/IPA-200205), resistentes a Cochonilha de Carmim, nas condições de sequeiro do Semiárido brasileiro. O estudo foi conduzido em uma área experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco, IPA, em Serra Talhada, PE, região Semiárida do estado. Para isso, aplicou-se o método do balanço de água no solo. A precipitação (P) foi monitorada por meio de um pluviômetro de uma estação meteorológica automática. O escoamento superficial (R) foi estimado utilizando o método do “Número da Curva”. A drenagem profunda ou ascensão capilar (Q) foram determinadas usando a equação Buckingham-Darcy e as propriedades físico-hídricas do solo. As variações no armazenamento de água no solo (ΔA) foram determinadas por meio de uma sonda capacitiva. Por meio do resíduo do balanço de água no solo, quantificou-se a evapotranspiração real (ETr) dos clones ao longo do tempo. Durante o período experimental de 499 dias, a precipitação foi 1269,1 mm, sendo preponderante, sobretudo para a variação sazonal do Q e da ETr. Não houve diferença significativa entre os componentes do balanço de água no solo cultivados com os três clones. Assim, a evapotranspiração acumulada da palma forrageira foi de 1173 mm, resultando em taxas médias diárias de 2,22 mm. O Q foi totalmente expresso pela drenagem profunda (140 mm) e a ΔA foi de 40 mm. O R estimado representou apenas 9,3%.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço de água no solo, Demanda de água, Diviner@2000

SOIL WATER DYNAMICS AND EVAPOTRANSPIRATION OF THE CACTUS PEAR CLONES RESISTANT TO CARMINE COCHINEAL IN RAINFED CONDITIONS IN SEMI-ARID

ABSTRACT: Aimed to analyze the soil water dynamics in cultivated areas with three clones of cactus pear (IPA Sertânia/IPA-200205, IPA/Miúda-10004, Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 and), resistant to carmine cochineal in rainfed conditions in the Brazilian semi-arid. The study was conducted in an experimental area of the Instituto

Agronomico de Pernambuco, IPA, in Serra Talhada, State of the Pernambuco. For this, the water balance method in the soil was applied. Precipitation (P) was monitored by means of an automatic weather station rain gauge. The runoff (R) was estimated using the method of "Number Curve". Internal drainage or capillary rise (Q) was determined using the Buckingham-Darcy equation and soil water-physical properties. The soil water storage (ΔA) was determined by means of a capacitive probe. Through the residue of soil water balance was quantified the real evapotranspiration (ETr) of clones over time. During the study period of 499 days, precipitation was 1269.1 mm, dominant, especially for being the seasonal variation of Q and the ETr. There was no significant difference between the components of the soil water balance cultivated with the three clones. So, the accumulated evapotranspiration of cactus pear was 1173 mm, resulting in daily average rates of 2.22 mm. The Q was fully expressed by deep drainage (140 mm) and 40 mm was ΔA . The R represented only 9.3%.

KEY-WORDS: soil water balance, water demand, Diviner@2000

1- INTRODUÇÃO

A região semiárida é caracterizada pela grande variabilidade temporal e espacial das chuvas e pela alta demanda atmosférica, que em conjunto resultam em uma grande deficiência de água no solo ao longo de vários períodos do ano, que conseqüentemente, induzem às plantas ao estresse hídrico durante as suas fases fenológicas críticas. Para suprir a escassez de forragem para os animais, especialmente no período de estiagem, a utilização de espécies mais adaptadas às condições locais torna-se uma ação praticável perante os produtores. Dentre àquelas com maior potencial para o Nordeste brasileiro, tem-se a palma, uma espécie de metabolismo fotossintético MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), originária do México (OLIVEIRA et al., 2010).

No Brasil, a maior área de cultivo de palma está concentrada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, onde é o principal alimento de subsistência dos rebanhos, especialmente nos estados de Alagoas e Pernambuco (LIRA et al., 2006; LOPES et al., 2007). A palma pertence à família cactácea com a maioria de seus clones pertencentes aos gêneros *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp. É um alimento concentrado aquoso que possui carboidratos, minerais, vitaminas, elevada digestibilidade, além de ser rica em água, suprimindo a exigência dos animais sobre tudo quando adicionados a alimentos fibrosos e

proteicos. Entretanto o seu fornecimento na alimentação animal como única fonte deve ser evitado, pois não supre as necessidades nutricionais, em particular no que se refere a proteína e fibra, ocasionando diarreia que pode ser atribuído ao baixo teor de fibra da palma forrageira (OLIVEIRA et al., 2010; PEIXOTO et al., 2006).

Os clones mais difundidos no Nordeste brasileiro são a Redonda, a Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.) e a Miúda (*Nopaltea cochenilifera* Salm-Dyck), sendo as duas primeiras mais produtivas, devido a maior resistência à seca. Entretanto, apenas a Miúda é resistente a *Dactylopius Opuntia* (Cochonilha-do-carmim) (NEVES et al., 2010), enquanto que a primeira é altamente susceptível (VASCONCELOS et al., 2009). Por esse motivo, nos últimos anos, a disseminação dessa praga acabou sendo um dos principais fatores limitantes no cultivo dessa forrageira, o que promoveu uma redução substancial de palmais em toda região. Contudo, mais recentemente estudos foram conduzidos, visando selecionar clones resistentes a essa praga. Assim, outros dois clones têm se destacado, a Orelha de Elefante Mexicana e a IPA Sertânia, ambas resistentes a cochonilha do Carmim (LOPES et al., 2010), todavia, a segunda possui maior palatibilidade (MORAES et al., 2009).

Apesar da importância da palma forrageira, poucas são as informações sobre a interação dessa cultura com o ambiente, sobretudo no que se refere à dinâmica da água no solo e sua evapotranspiração. A primeira fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola durante as fases fenológicas, que visam melhorar a produtividade das culturas. Esse tipo de análise é difundida mundialmente (CRUZ et al., 2005; GIBERTO et al., 2011; ZOUGMORÉ et al., 2004) e utiliza o método do balanço de água no solo (BAS) ($\Delta A = P + I - ET \pm R \pm Q$), que quantifica as entradas e saídas de água de um volume de controle, numa profundidade (z). Nesse processo, as entradas de água por irrigação (I) e precipitação (P) são facilmente medidas (GIBERTO et al., 2011), enquanto que os escoamentos superficial e subsuperficial podem ser desconsiderados, a depender das características do relevo, sistema de plantio e do solo (CASTELLANOS et al., 2013; FARES; ALVA, 2000; ZHANG et al., 2004;). Os fluxos ascendentes ou descendentes (Q) podem ser obtidos pela equação de Buckingham-Darcy (LIBARDI, 2005). Em alguns estudos a densidade de fluxo (Q) tem sido desconsiderada no BAS (LI et al., 2008; ZHANG et al., 2010). Como resíduo do BAS, o componente bastante estudado é a evapotranspiração (ET) (GIBERTO et al., 2011; ZHANG et al., 2010).

A ET é uma importante informação para o manejo de água, tanto em condições irrigadas quanto em sequeiro. Para a palma, a ET foi pouco estudada em diferentes regiões do mundo, especialmente no semiárido brasileiro, onde não existem dados registrados.

Estudos foram realizados por Han e Felker (1997), que utilizaram o método do balanço de água no solo para quantificar a evapotranspiração da *Opuntia ellisiana* L., em condições de sequeiro, durante dois anos consecutivos, no Semiárido de Kingsville, Texas, EUA, onde as temperaturas máximas excedem 30°C de abril a outubro, atingindo 35°C em junho e 36°C em julho, e precipitação pluviométrica anual é em torno de 700 mm, concentrada, sobretudo entre os meses de maio e setembro. Consoli et al. (2013) aplicaram o método micrometeorológico dos vórtices turbulentos nas condições climáticas do Mediterrâneo, Sicília, Itália, visando determinar os fluxos de energia, a evapotranspiração e o coeficiente da cultura para a *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.), com plantas de três metros de altura, espaçadas em 5 x 6 m, nível de cobertura do solo em torno de 65% e dez anos de idade, cultivada para fins de produção de fruto, irrigada de maneira suplementar com 368 mm durante dezesseis meses (junho de 2009 a setembro de 2010), em que a precipitação acumulada foi de 961,1 mm, recebendo assim, ao longo do período, 1329,1 mm.

Com base nisso, este trabalho objetivou analisar a dinâmica de água no solo cultivado por três clones de palma forrageira, resistentes à Cochonilha de Carmim, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma área experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, na Estação Experimental de Serra Talhada, PE, Semiárido do estado de Pernambuco, localizada a 400 km da capital Recife, e a 4 km da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST (7°59'S, 38°15'O e 431 m). As normais climatológicas do município de Serra Talhada indicam uma precipitação em torno de 642,1 mm ano⁻¹, distribuída, sobretudo entre os meses de janeiro e abril. A temperatura média anual é de 24,8°C, com máximas e mínimas de 30,4°C e de 19,9°C, respectivamente, e umidade relativa do ar de 62,5% (CAVALCANTI et al., 1994; SILVA et al., 2007; SUDENE, 1990), o que resulta em uma demanda atmosférica em torno de 1800 mm ano⁻¹ e um déficit de 1143 mm ano⁻¹, de acordo com o balanço hídrico climatológico proposto por Thornthwaite e Matter (1955), assumindo uma capacidade de água disponível de 100 mm. O solo da área experimental é do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso conforme a classificação da EMBRAPA (1999).

2.2. Detalhes do delineamento experimental e tratos culturais

A área experimental (Figuras 1A e 2A) foi implantada em fevereiro de 2010, com três clones de palma forrageira (IPA-200205/IPA-Sertânia do gênero *Nopalea*; IPA-100004/Miúda do gênero *Nopalea*; e, IPA-200016/Orelha de elefante Mexicana do gênero *Opuntia*) em espaçamento de 1,6 m x 0,2 m em curvas de nível, compreendendo uma densidade equivalente de 31.250 plantas por hectare. A área foi subdividida em parcelas experimentais, contendo quatro fileiras, cada uma com vinte plantas, ocupando uma área de 25,6 m² e área útil de 10,24 m² com 32 plantas úteis. Foram realizadas capinas manuais, aplicação de herbicida e de inseticidas quando necessários para manutenção da área livre de plantas espontâneas e de pragas, respectivamente. O herbicida aplicado foi o Diuron a 0,5% e o inseticida folisuper a 0,2% para realizar o controle fitossanitário. Durante o período experimental foi realizada a adubação equivalente de 130 kg de N ha⁻¹, fracionada em três datas.

O ciclo produtivo, compreendido entre fevereiro de 2010 e março de 2012, foi conduzido em condições de sequeiro, de modo que foram utilizadas nove parcelas experimentais (Figura 3A). Foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições, sendo os tratamentos compostos pelos três clones.

2.3. Variáveis meteorológicas e evapotranspiração de referência e fração evaporativa

As condições meteorológicas reinantes durante o experimento com clones da palma forrageira foram monitoradas por meio da aquisição dos dados de uma PCD (plataforma de coleta de dados automatizada), pertencente à Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC/ITEP, localizada aproximadamente a 700 m da área. Esses dados foram obtidos no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (www.cptec.inpe.br).

A evapotranspiração de referência (ET_o, mm dia⁻¹) foi estimada utilizando o método de Penman-Monteith padronizado pela FAO para o cálculo da ET_o (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{t_{ar} + 273} \right) u (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u)}$$

em que, R_n = saldo de radiação sobre a superfície gramada ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); t_{ar} = temperatura do ar ($^\circ\text{C}$); u = velocidade do vento (m s^{-1}); $(e_s - e_a)$ = déficit de pressão vapor d'água (kPa); Δ = declividade da curva de pressão de vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

2.4. Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi feito por meio de um sensor capacitivo (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália). Para isso, inicialmente foram instalados conforme manual do fabricante tubos de acesso nas parcelas experimentais, durante os meses de setembro e outubro de 2010. A partir da instalação dos tubos de acesso e da sonda capacitiva foi possível a realização de leituras do conteúdo de água no solo a cada 0,10 m, em intervalos de tempo de três dias. O monitoramento da umidade foi iniciado em 20 de outubro de 2011 e finalizado em 02 de março de 2012, totalizando 499 dias e 189 dias de leituras.

2.5. Componentes do balanço de água no solo

Os componentes do balanço de água no solo foram quantificados, em um intervalo de quatorze dias, para uma camada de 0,60 m de profundidade, considerando que a área experimental possuía baixa declividade, de modo que os ganhos e perdas de água por escoamento subsuperficial foram desprezíveis ou se anularam, respectivamente. O escoamento superficial não foi desconsiderado devido os altos níveis pluviométricos durante o ano de 2011, que foram superiores a normal climatológica local. Assim, para a realização do balanço de água no solo, utilizou-se a seguinte expressão (LIBARDI, 2005):

$$P - ET \pm Q - R = \Delta A$$

em que, P = precipitação (mm), ET = evapotranspiração (mm), Q = fluxo de água no solo, podendo ser D = drenagem profunda (mm) (sinal negativo) ou AC = ascensão capilar (mm) (sinal positivo); R = escoamento superficial (mm), ΔA = variação do armazenamento de água no solo (mm).

Os componentes do balanço de água no solo foram determinados para trinta e sete períodos, com intervalos médios de quatorze dias, porém, visando simplificar a quantidade

de dados, os mesmos foram integrados para nove períodos com duração entre 49 e 68 dias cada um.

A precipitação (P) foi monitorada utilizando o pluviômetro automático da estação meteorológica da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC.

A drenagem profunda ou ascensão capilar, através da base limite inferior do perfil do solo (0,60 m de profundidade), utilizando dados da camada logo acima (0,50 m) e abaixo (0,70 m), foram determinadas usando a equação Buckingham-Darcy expressa por (LIBARDI, 2005):

$$Q = -K(\theta) \frac{\Delta\psi t}{\Delta z}$$

onde, Q = fluxo de água no solo por drenagem profunda (sinal negativo) ou ascensão capilar (sinal positivo) (mm dia⁻¹), K(θ) = condutividade hidráulica do solo não saturado (mm dia⁻¹), obtido mediante a relação $K(\theta) = K_o e^{\gamma(\theta - \theta_o)}$, antes descrito, e, $\Delta\psi t/\Delta z$ = gradiente do potencial total de água no solo, entre as camadas de 0,50 e 0,70 m.

O ψt foi estimado, para ambas as profundidades, em todos os 9 tubos de acesso, mediante a equação abaixo, ajustada usando as medidas tensiométricas e de umidade do solo, obtidas ao longo do tempo de redistribuição no método do perfil instantâneo (DOURADO NETO et al., 2000):

$$\psi t = \alpha \cdot e^{-\beta\theta}$$

em que, α e β são parâmetros adimensionais.

O escoamento superficial (R) foi estimado utilizando o método do “Número da Curva”, proposto pela SCS-USDA (Serviço de Conservação dos Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos), que foi desenvolvido para grandes volumes de chuvas e que considera o complexo solo-vegetação, o tipo de solo, o uso, a umidade inicial e as propriedades hidrológicas do local, de modo a ser representado pela expressão:

$$R = \frac{\left(P - 0,2 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right) \right)^2}{P + 0,8 \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)}$$

em que, P é a precipitação pluviométrica do período de análise (mm) e CN é o número da curva, adotado para esse estudo como sendo igual a 75, que representa uma condição de solo com moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e plantio em fileiras com curvas de nível de boa condição hidrológica.

O armazenamento de água no solo foi obtido mediante a integração dos valores de lâmina de água a cada 0,10 m fornecidos pela sonda capacitiva Diviner@2000. Assim, a variação no armazenamento de água no perfil do solo (ΔA), em 0,60 m de profundidade, foi determinada pela diferença entre os valores de A dos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela expressão:

$$\Delta A = A_f - A_i$$

em que, A_f e A_i representam os armazenamentos acumulados de água no solo no tempo final e inicial, nessa ordem.

A evapotranspiração real acumulada para o período de estudo (ETr(ac.)) e a média diária (ETr(dia)) da palma forrageira para os diferentes clones foram obtidas pelo resíduo da equação do balanço de água no solo, de modo que:

$$\int_0^n ET dt = -ET \text{ e } \int_0^n \frac{ET}{n} dt = \frac{-ET}{n}$$

onde, n é o tempo que se deseja obter a ET.

2.6. Incremento do índice de área do cladódio e índice de cobertura do solo

O incremento de índice de área do cladódio foi obtido por meio de dados biométricos de número de cladódios por planta (NCP), do comprimento, largura e comprimento médios dos cladódios, obtidos em quinze campanhas de monitoramento ao longo do período experimental, e de equações matemáticas propostas por Miranda et al. (2011). Com os valores de índice de área do cladódio, que foram estimados para cada data das campanhas, assumindo o espaçamento de 1,6 x 0,2 m, os mesmos foram ajustados em função dos dias após o corte. Os modelos gerados foram derivados, de modo a se obter os incrementos diários e, em seguida, os mensais para os três clones.

Ao final do ciclo, o nível de cobertura foi calculado para clone, adotando a relação entre os valores de índice de área do cladódio e da área de ocupação das plantas; essa última obtida por meio da largura média do dossel da cultura, conforme equação abaixo.

$$IC = \frac{IAC}{\pi L^2 / 4}$$

em que, IC = índice de cobertura do clone, IAC = índice de área do cladódio ($m^2 m^{-2}$) e L = largura média do dossel da planta (m).

2.7. Fração evaporativa (FE)

A FE (adimensional) foi obtida pela relação entre os valores de ETr dos clones de palma forrageira e ETo ao longo dos 9 períodos do balanço de água no solo.

2.8. Análise estatística

Na análise estatística foram obtidas as médias, desvios padrões e coeficiente de variação dos componentes de água no solo, nos nove períodos, para cada um dos três clones. Assumindo o delineamento adotado, a comparação dos dados de Q, ΔA , ETr_(ac.) e ETr_(dia) foi feita mediante análise de variância (ANOVA) e, uma vez, significativa, procedeu-se o teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os anos que compreenderam preponderantemente o ciclo dos clones de palma forrageira em condições de sequeiro (2010 e 2011) foram climaticamente atípicos. Essas tendências estiveram associadas a características da ocorrência do fenômeno oceânico-atmosférico Lã Niña. Por outro lado, no ano subsequente (2012) houve a evolução do fenômeno OSEN (Oscilação Sul – El Niño), que evoluiu a partir do início do ano, quando ocorreu a fase final do ciclo produtivo (janeiro a março). A demanda atmosférica (ETo) dos anos de 2010 e 2011 (Figura 1A) foram de 1848 e 1540 mm ano⁻¹, inferiores ao ano de 2012, que atingiu 2303 mm ano⁻¹. Esse dado foi proveniente dos resultados das demais variáveis meteorológicas, que também sofreram fortes anomalias devido ao OSEN. A umidade relativa do ar (51%, 77,1% e 24,6%, média, máxima e mínima anual) (Figura 1B) foi menor do que a média histórica, que é de 63%, sobretudo no período chuvoso do ano (Figura 1A). Por causa da redução da nebulosidade no ano de 2012, percebeu-se um ligeiro aumento nos valores de radiação solar global, que foi de 22,1 MJ m⁻² dia⁻¹, superior aos dois anos antecedentes que tiveram médias em torno de 19,8 e 18,9 MJ m⁻² dia⁻¹. Uma ligeira elevação nos valores das temperaturas também foi verificada no ano de 2012 (média anual de 33,1°C, 26,5°C e 20,8°C), sendo maior que dos anos de 2010 (média anual de 33,1°C, 26,5°C e 20,8°C) e 2011 (média anual de 30,6°C, 26,5°C e 20,8°C), bem como da normal climatológica (média anual de 32,8°C, 25,2°C e 20,1°C). A velocidade do vento apresentou tendência dentro da climatologia local, quando as suas maiores intensidades ocorrem a partir do início do segundo semestre dos anos (Figura 1C), entretanto no ano de 2012, a sua magnitude também foi superior a 2010 e 2011 (2,74 m s⁻¹, contra 2,60 m s⁻¹ e 2,44 m s⁻¹). Observou-se que o déficit de pressão de vapor d'água foi elevado (1,72 kPa), superior aos 1,40 kPa e 1,19 kPa dos anos anteriores. A normal climatológica da precipitação anual local é de 642 mm. Porém, nos anos de 2010 e 2011, os valores foram de 730 e 960 mm, respectivamente, concentradas, sobretudo no período chuvoso da região, que é de janeiro a abril. Na Figura 1D podem ser verificados os meses em que a precipitação pluviométrica excedeu a normal climatológica. Devido o ENOS foi mais evidente a ocorrência de uma seca prolongada, resultando em uma precipitação anual acumulada de 238 mm, apenas 37% da normal climatológica anual.

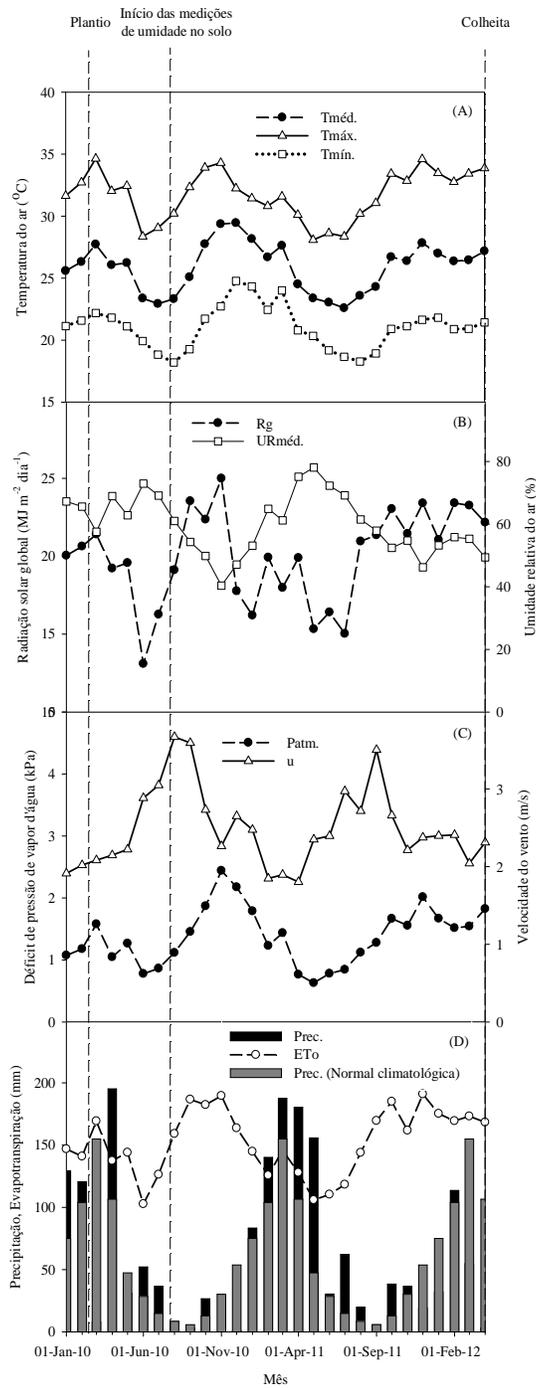


Figura 1. Dados meteorológicos ao longo do ciclo produtivo de clones de palma forrageira, em sequeiro, no município de Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Os resultados dos componentes do balanço de água no solo, em nove períodos representativos, para os três clones de palma forrageira são demonstrados nas Tabelas 1, 2 e 3. Esses períodos apresentam duração entre 49 e 68 dias. Percebe-se um aumento dos níveis pluviométricos (P) do período 1 ao 3, com subsequente diminuição até o período 8, quando em seguida há um novo aumento no final do ciclo produtivo dos clones. Ao longo do período de monitoramento de umidade do solo, a precipitação acumulada foi de 1269,1 mm.

O método do “Número da Curva” revelou baixos valores de escoamento superficial (R) para todos os períodos analisados, representando apenas 0,7% da precipitação pluviométrica total. Muitos estudos sobre dinâmica de água no solo consideram esse componente desprezível (CASTELLANOS et al., 2013; FARES & ALVA, 2000; ZHANG et al., 2004).

Tabela 1. Precipitação pluviométrica (P), escoamento superficial (R), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada ($ET_{r(ac.)}$) e evapotranspiração média diária ($ET_{r(dia)}$) do clone IPA Sertânia, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Per.	Data	Data	Dias	P	R	DP/AC	ΔA	$ET_{r(ac.)}$	$ET_{r(dia)}$
-	Início	Término	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm dia ⁻¹
1	20-10-10	15-11-10	56	176,0	-1,4	-3,5	66,8	-105,7	-1,89
2	16-12-10	9-02-11	56	230,9	-1,7	-17,1	0,7	-213,2	-3,80
3	10-02-11	18-04-11	68	439,4	-2,8	-117,5	23,4	-298,5	-4,22
4	19-04-11	17-06-11	60	133,9	-1,0	-80,7	-26,3	-105,1	-1,53
5	17-06-11	8-08-11	52	55,2	-0,5	-37,0	4,3	-38,1	-0,71
6	9-08-11	26-09-11	49	20,3	-0,2	-10,5	-30,0	-39,8	-0,84
7	27-09-11	14-11-11	49	69,7	-0,8	-3,6	5,4	-68,5	-1,36
8	15-11-11	4-01-12	51	11,2	-0,1	-0,8	-29,5	-39,9	-0,76
9	5-01-12	2-03-12	58	132,5	-1,0	-1,5	15,2	-147,9	-2,93

Per. = Período;

Os valores de DP/AC, ΔA , $ET_{r(ac.)}$ e $ET_{r(dia)}$ são médias de três repetições.

Tabela 2. Precipitação pluviométrica (P), escoamento superficial (R), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada ($ET_{r(ac.)}$) e evapotranspiração média diária ($ET_{r(dia)}$) do clone Miúda, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Per.	Data	Data	Dias	P	R	DP/AC	ΔA	$ET_{r(ac.)}$	$ET_{r(dia)}$
-	Início	Término	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm dia ⁻¹
1	20-10-10	15-11-10	56	176,0	-1,4	-1,1	76,7	-96,9	-1,73
2	16-12-10	9-02-11	56	230,9	-1,7	-3,3	0,9	-225,0	-4,02
3	10-02-11	18-04-11	68	439,4	-2,8	-29,0	26,8	-380,8	-5,42
4	19-04-11	17-06-11	60	133,9	-1,0	-12,4	-34,6	-180,7	-2,84
5	17-06-11	8-08-11	52	55,2	-0,5	-3,1	9,1	-66,6	-1,27
6	9-08-11	26-09-11	49	20,3	-0,2	-2,9	-37,8	-55,1	-1,10
7	27-09-11	14-11-11	49	69,7	-0,8	-0,4	5,2	-71,1	-1,42
8	15-11-11	4-01-12	51	11,2	-0,1	-0,1	-31,8	-42,8	-0,86
9	5-01-12	2-03-12	58	132,5	-1,0	-0,8	32,9	-129,9	-2,62

Per. = Período;

Os valores de DP/AC, ΔA , $ET_{r(ac.)}$ e $ET_{r(dia)}$ são médias de três repetições.

Entretanto o mesmo depende de características como tipo de solo, textura, sistema de plantio, nível de cobertura, declividade do terreno, capacidade de infiltração de água no solo e a intensidade de chuva (SCHWARTZ et al., 2010; VAN DER SALM et al., 2007; YADAV et al., 2011; ZOUGMORÉ et al., 2004). Silva (2005), conduzindo experimento em um Nitossolo Vermelho de textura argilosa, declividade de 10%, com a cultura do cafeeiro plantado em curva de nível, em Piracicaba, SP, verificou que o escoamento superficial, respondeu por apenas 0,3% da precipitação pluviométrica total do período analisado (em torno de 2400 mm).

Apesar da baixa condutividade hidráulica do solo foram observados fluxos descendentes, ou seja, drenagem profunda (DP), compreendendo, sobretudo o período 3. Esse tipo de fluxo ocorre mais intensamente em eventos intensos de precipitação pluviométrica, sobretudo quando o solo possui textura arenosa, conforme citado por Gaiser et al. (2004). Solos com essa textura possuem baixa capacidade de retenção, por isso, mesmo nos períodos em que a P foi reduzida, verificou-se a ocorrência de DP (Tabela 1, 2 e 3).

Tabela 3. Precipitação pluviométrica (P), escoamento superficial (R), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada ($ET_{r(ac.)}$) e evapotranspiração média diária ($ET_{r(dia)}$) do clone Orelha de Elefante Mexicana, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Per.	Data	Data	Dias	P	R	DP/AC	ΔA	$ET_{r(ac.)}$	$ET_{r(dia)}$
-	Início	Término	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm dia ⁻¹
1	20-10-10	15-11-10	56	176,0	-1,4	-1,7	59,4	-113,5	-2,03
2	16-12-10	9-02-11	56	230,9	-1,7	-6,9	2,6	-219,8	-3,92
3	10-02-11	18-04-11	68	439,4	-2,8	-39,4	24,3	-373,0	-5,29
4	19-04-11	17-06-11	60	133,9	-1,0	-26,9	-32,3	-163,9	-2,56
5	17-06-11	8-08-11	52	55,2	-0,5	-10,0	5,5	-63,4	-1,20
6	9-08-11	26-09-11	49	20,3	-0,2	-5,7	-26,8	-41,2	-0,84
7	27-09-11	14-11-11	49	69,7	-0,8	-1,0	7,7	-68,1	-1,38
8	15-11-11	4-01-12	51	11,2	-0,1	-0,7	-27,3	-37,8	-0,74
9	5-01-12	2-03-12	58	132,5	-1,0	-2,1	28,1	-133,5	-2,67

Per. = Período;

Os valores de DP/AC, ΔA , $ET_{r(ac.)}$ e $ET_{r(dia)}$ são médias de três repetições.

Nessa condição, a DP também pode ser favorecida, devido em condições de seca prolongada, espécies de *Opuntia ficus-indica* Mill. podem atingir até 1,20 m de profundidade e alcançar distâncias de 1,5 a 1,8 m na horizontal. Além disso, as mesmas podem diminuir a espessura das suas raízes, o que criam espaços de ar ao seu redor, formando galerias que promovem mais facilmente o movimento de água do solo (SNYMAN, 2005; SNYMAN, 2006a).

Em alguns períodos, 1 e 2, apesar dos altos valores acumulados de P é perceptível que a drenagem não foi expressiva, devido a maior parte ter sido utilizada para o armazenamento de água no solo e na extração pelo sistema radicular dos clones. Esse resultado pode está relacionado à alta capacidade de emissão e alongação do sistema radicular da palma, depois de submetida a longo período de estiagem, denominadas “raízes de chuva”, extensas, densas, próximas à superfície do solo, que surgem logo que o solo ser umedecido, de modo que absorvem rapidamente a quantidade de água disponível, e desaparecem tão logo a disponibilidade de água reduza expressivamente (SNYMAN, 2006b).

Na Tabela 4 é demonstrada a comparação dos componentes do balanço de água no solo entre os clones de palma forrageira dentro do mesmo período representativo. Por sua vez, na Tabela 5 é possível verificar essa comparação durante o período experimental. Percebe-se que houve diferença significativa apenas nos períodos 3 e 4, quando as áreas cultivadas com o clone IPA apresentaram maior DP. Para o período experimental não houve diferença estatística entre os clones ($P < 0,05$) (Tabela 5).

A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) apresentou valores positivos, principalmente nos períodos que sucederam as maiores estiagens, por exemplo, como ocorrido no período 1. Nos períodos 2 e 3 também ocorreram valores positivos de ΔA , entretanto com magnitudes menores, em resposta ao armazenamento de água no solo do período 1 e ao aumento da extração de água no solo pelas plantas.

Tabela 4. Comparação dos componentes do balanço de água no solo entre os três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano dentro dos 9 períodos representativos do período experimental

Componente	Períodos									Clone
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
DP/AC	A	A	B	B	A	A	A	A	A	IPA
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	MIU
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	OEM
ΔA	AB	A	A	A	A	AB	A	A	B	IPA
	A	A	A	A	A	B	A	A	A	MIU
	B	A	A	A	A	A	A	A	A	OEM
$ETr_{(ac.)}$	A	A	A	A	A	A	A	A	A	IPA
	A	A	B	B	A	A	A	A	A	MIU
	A	A	B	B	A	A	A	A	A	OEM
$ETr_{(dia)}$	A	A	A	A	A	A	A	A	A	IPA
	A	A	B	B	A	A	A	A	A	MIU
	A	A	B	B	A	A	A	A	A	OEM

- Médias seguidas pela mesma letra na vertical dentro de um mesmo componente não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

- Drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo (ΔA), evapotranspiração real acumulada ($ETr_{(ac.)}$) e evapotranspiração média diária ($ETr_{(dia)}$).

Tabela 5. Comparação dos valores acumulados dos componentes do balanço de água no solo (DP – Drenagem profunda, AC – ascensão capilar, ΔA – variação do armazenamento de água no solo, $ETr_{(ac.)}$ – evapotranspiração real acumulada e $ETr_{(dia)}$ – evapotranspiração média diária) dos clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana), durante o período experimental de 499 dias, nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Clone	DP	ΔA	$ETr_{(ac.)}$	$ETr_{(dia)}$
	Mm	Mm	mm	mm dia ⁻¹
IPA	-272,2 A	30,0 A	-1047,3 A	-1,99 A
MIU	-53,1 A	47,4 A	-1248,9 A	-2,37 A
OEM	-94,3 A	41,0 A	-1214,1 A	-2,29 A
Média	-139,9	39,5	-1170,1	-2,22
Desvio Padrão	116,4	8,8	107,8	0,20
C.V. (%)	83,2	22,4	9,2	9,0

- Médias seguidas pela mesma letra na vertical dentro de um mesmo componente não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No período 9, que ocorreu após um longo período com poucos eventos de precipitação pluviométrica, a variação também foi positiva, no entanto inferior àquela ocorrida no período 1, logo que a precipitação acumulada no ano de 2011 até o final do período 9 (02 de março de 2012), assumindo um intervalo equivalente, foi superior ao ano de 2010 (Figura 1). Alguns valores positivos ainda podem ser observados nos períodos 5 e 7, mesmo com a redução dos níveis pluviométricos, o que pode estar relacionado com a redução da extração de água pelas plantas, de modo que a entrada de água no solo, torna-se suficiente para incrementar os valores de A. Valores negativos de ΔA foram observados nos períodos 4, 6 e 8, já que todos os períodos que antecederam estes, houve chuva que provavelmente estimulou o enraizamento, as quais nos períodos seguintes estavam aptas a extrair água, e com a redução das chuvas nesses períodos, o ΔA se torna negativo, logo que as perdas por drenagem profunda foram pequenas.

Entre os clones, verificou-se que a ΔA positiva foi significativamente maior nas áreas de cultivo com a Miúda durante os períodos 1 e 9, que foram subsequentes a maiores estiagens. Por sua vez, apresentou valores mais negativos no período 6, quando ocorreu menor precipitação. Esses resultados permitem inferir que a Miúda parece possuir maior

capacidade de extração de água durante os períodos de menor disponibilidade de água no solo. Essa maior extração resultou numa evapotranspiração superior para o período, porém não foi estatisticamente significativa, podendo indicar que a maior absorção de água do solo pela Miúda se deve a característica da palma forrageira em armazenar água nos cladódios e ao número de cladódios desse clone, que é superior a quantidade da IPA Sertânia e da Orelha de Elefante Mexicana. Apesar dessas diferenças nos períodos 1, 6 e 9, para o período experimental não foram significativas entre os clones (Tabela 5).

Em termos de evapotranspiração real acumulada ($ETr_{(ac.)}$) e das taxas médias diárias ($ETr_{(dia)}$), verificou-se diferenças significativas apenas nos períodos 3 e 4, que compreendem àqueles com maiores níveis pluviométricos. Nesses períodos, a Miúda e a Orelha de Elefante Mexicana apresentaram maiores valores quando comparados com a IPA Sertânia. Embora isso, a evapotranspiração real dos clones durante o período experimental não apresentam diferenças significativas entre si. Sendo assim, os valores de $ETr_{(ac.)}$ e de $ETr_{(dia)}$ para a palma forrageira durante os 499 dias foi de 1170,1 mm e 2,22 mm dia⁻¹. Valores menores foram reportados por Han e Felker (1997), em trabalho executado no Semiárido de Kingsville, Texas, EUA, com a *Opuntia ellisiana* L., cultivada em condições de sequeiro, onde obtiveram resultados médios de 1,53 mm dia⁻¹, quando a precipitação acumulada ao longo do terceiro ano produtivo foi de 883 mm. Por sua vez, quando a precipitação acumulada foi de 662 mm durante o quarto ano produtivo, a evapotranspiração da *Opuntia ellisiana* L. foi de 1,37 mm dia⁻¹. Em termos acumulados, no terceiro ciclo produtivo a palma evapotranspirou em torno de 559 mm, sendo que 310 mm foram resultantes da transpiração das plantas e 249 mm da evaporação do solo. No quarto ciclo produtivo, a cultura transpirou 285 mm, enquanto que a evaporação da água do solo foi 214 mm, totalizando uma evapotranspiração de 499 mm. Em ambos os casos a evaporação do solo contribuiu em média em 44% da ETr. Os valores aqui obtidos estão mais próximos daqueles registrados por Consoli et al. (2013), utilizando o método micrometeorológico dos vórtices turbulentos nas condições climáticas do Mediterrâneo, Sicily, Itália, para a *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.), durante dezesseis meses, quando recebeu 1329,1 mm, verificaram que evapotranspiração acumulada foi de 286 mm e 252 mm, com taxas diárias médias de 2,5 mm, quando a demanda atmosférica média foi na ordem de 5,0 mm dia⁻¹. Esses resultados confirmam afirmativas de que as taxas diárias de evapotranspiração de espécies MAC são inferiores a de plantas C3 e C4, devido às mesmas priorizar a assimilação de CO₂ durante o período noturno, quando a demanda atmosférica é a menor (CUSHMAN, 2001). Estudos conduzidos nas condições do semiárido brasileiro

indicam valores de evapotranspiração variando entre 1,2 a 7,5 mm dia⁻¹, com média em torno de 4,7 mm dia⁻¹ para a cana-de-açúcar (planta C4) irrigada no ciclo de cana-soca. Por sua vez, Lima et al. (2011) citam que, o feijão-caupi (planta C3), nas condições climáticas de Areia, PB, em sequeiro, apresentou evapotranspiração média de 3,8 mm dia⁻¹, porém os valores variaram na faixa de 1 a 6 mm dia⁻¹.

Apesar das taxas médias diárias de ETr dos clones de palma forrageira terem sido, em média, baixas (<2,5 mm), durante o período experimental, verificou-se uma ampla faixa de valores, sendo entre 0,71 e 4,22 mm dia⁻¹ para a IPA Sertânia, 0,86 a 5,42 mm dia⁻¹ para a Miúda e de 0,74 e 5,29 mm dia⁻¹ para a Orelha de Elefante Mexicana. Consoli et al. (2013) registraram valores de até 4,2 mm dia⁻¹ para a *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.). Para outras espécies MAC, como abacaxi, tem-se registro de valores médios de 4,1 mm dia⁻¹, atingindo até 4,6 mm dia⁻¹, na segunda fase de crescimento vegetativo, conforme estudado por Azevedo et al. (2007). Existem informações que, algumas espécies MAC ajustam o seu padrão de captação de CO₂ para C3, quando submetida a condições de maiores disponibilidade de água no solo (TAIZ; ZEIGER, 2009). Por outro lado, cladódios jovens e botões florais abrem os estômatos durante o período diurno, enquanto que os cladódios adultos e frutos abrem durante a noite. Assim, como observado no presente estudo, em condições de alta disponibilidade de água no solo, espera-se que a ETr da palma forrageira atinja valores mais elevados, próximos àqueles observados em médias para plantas C3 e C4.

Os maiores valores das taxas de ETr foram verificadas para os períodos 2, 3 e 4, que são os mais chuvosos. A partir desses períodos, percebe-se uma redução dos valores de ETr até o período 7, quando a mesma volta a aumentar com ocorrência de maiores níveis pluviométricos. No período subsequente (8), observa-se uma nova redução, para em fim, ao final do ciclo aumentar, por causa de novos eventos de chuva. Percebe-se que mesmo em períodos (4 e 9), em que o total pluviométrico não supera a ETr acumulada, a palma forrageira continua apresentando valores de ETr acima da sua média, o que está relacionada a sua capacidade de extração de água no solo e de armazenamento de água nos cladódios. Entre os períodos 5 e 8, com a redução acentuada da precipitação pluviométrica, verificou-se ainda a ocorrência da ETr, entretanto em taxas menores. Em condições de baixa disponibilidade de água no solo, os meristemas apicais de *Opuntia ficus-indica* Mill. próximas à superfície morrem, enquanto que àqueles mais profundos continuam a divisão celular e alongamento das raízes, porém em taxas menores (DUBROVSKY et al., 1998). Além disso, a perda de água pela palma ocorre preferencialmente pelo tecido

parenquimático, permitindo ao tecido clorenquimático maior hidratação, de modo a garantir a continuidade do seu incremento produtivo (GOLDSTEIN et al., 1991).

O incremento de extração de água no solo pela palma em resposta a eventos de chuva deve-se ao aumento da quantidade de raízes laterais próximas a superfície, a maior retomada do crescimento apical das raízes mais profundas e a densidade estomática do clone (DUBROVSKY et al., 1998). Não há registros sobre a densidade de estômatos em espécies do gênero *Nopalea* sp., mas para a *Opuntia ficus-indica*, a mesma varia de 15 a 35 por mm², muito inferior a de espécies C3, que são em torno de 300 por mm² (NOBEL; HARTSOCK, 1983).

A evapotranspiração de uma cultura também está associada a sua área foliar, logo que, além de incrementar a quantidade de estômato por unidade de terreno, também aumenta a interação com o ambiente (JARVIS; MCNAUGHTON, 1986). Pela Figura 2, observa-se que logo após os períodos mais chuvosos, o incremento do índice de área do cladódio (IAC) foi superior para a Orelha de Elefante Mexicana, enquanto que para a Miúda, os seus valores aumentaram progressivamente até o período 7, onde a partir do qual apresentou um ligeira redução de sua taxa de evolução. Por sua vez, a IPA Sertânia, apresentou maiores taxas de aumento para o IAC no final do período de análise. Embora o IAC seja maior para a Orelha de Elefante Mexicana, não se verifica taxas de ETr superiores aos dois outros clones, em média para o período experimental. Ao final do período de análise, o índice de cobertura do solo para a Orelha de Elefante Mexicana foi de $32 \pm 4\%$, superior ao da IPA Sertânia igual a $24 \pm 3\%$ e Miúda de $22 \pm 3\%$. Porém, o incremento do IAC e o nível de cobertura durante os período 3 e 4 sejam as justificativas para maiores taxas de ETr. Por sua vez, a menor área de cladódio específica pode ser o motivo para a maior evapotranspiração da Miúda durante esses mesmos períodos. Rad et al. (2011) verificaram que a redução da área foliar específica (AFE) aumenta a evapotranspiração da cultura.

Em condições potenciais de plantio, a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência, ou seja, a demanda atmosférica obtém-se o coeficiente de cultura. Porém, em condições com limitações hídricas no solo, essa relação denomina-se fração evaporativa (FE), mostrando a resposta da evapotranspiração da cultura às condições do ambiente local.

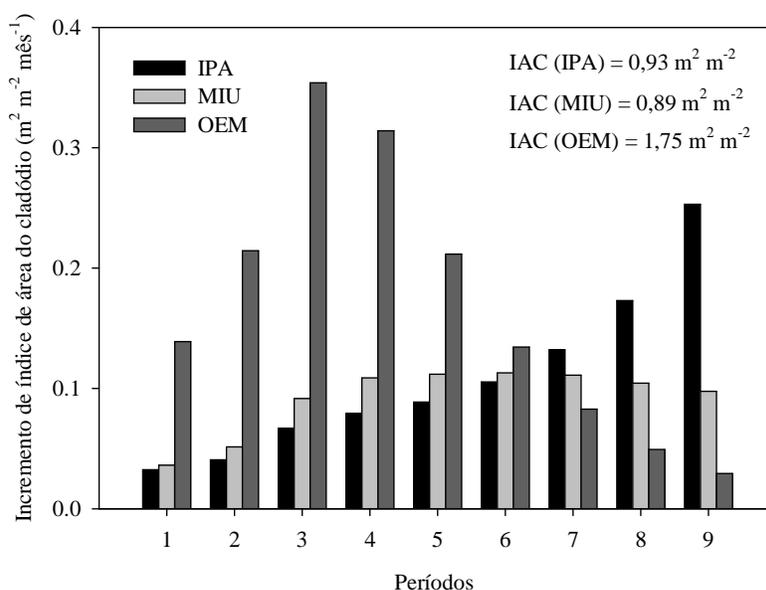


Figura 2. Incremento do índice de área do cladódio por período experimental de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Os maiores valores de FE para os clones foram verificados para os períodos mais chuvosos, em decorrência do aumento da evapotranspiração real dos clones, sobretudo para a Miúda e Orelha de Elefante Mexicana e da diminuição da demanda atmosférica, resultando em $FE > 1$ no período 3 (Figura 3). Menor valor de FE foi obtido no período 8 ($< 0,20$), devido os menores eventos de chuva e aumento da demanda atmosférica. Além disso, percebe-se que os valores de FE dos clones, em condições de baixa disponibilidade de água solo, são bem próximos entre si. Todavia, quando a disponibilidade hídrica é mais favorecida, os valores de FE são mais próximos entre a Orelha de Elefante Mexicana e Miúda. Esses resultados indicam que a demanda de água desses dois clones respondem mais rapidamente as condições meteorológicas locais. Em média, os valores de FE para os clones IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana foi em torno de $0,41 \pm 0,22$, $0,50 \pm 0,30$ e $0,49 \pm 0,29$, respectivamente, sendo a média entre os três clones, igual a $0,47 \pm 0,05$. Consoli et al. (2013), verificaram valor médio da relação ET_c/ET_o igual a 0,40 para a palma, *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.), entretanto variou entre 0,25 e 0,50. Silva et al. (2012) relatam valores da relação ET_c/ET_o variando entre 0,65 e 1,15, para a cana-de-açúcar irrigada cultivada no Semiárido brasileiro.

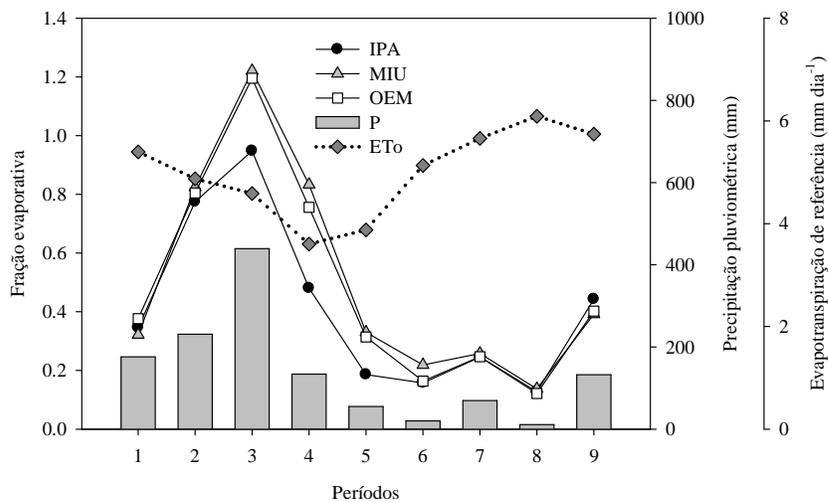


Figura 3. Fração evaporativa (FE), precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ETo) por período experimental de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia – *Nopalea* sp., Miúda - *Nopalea* sp., Orelha de Elefante Mexicana – *Opuntia* sp.) nas condições edafoclimáticas do Semiárido pernambucano

Para o feijão caupi, essa relação variou entre 0,83 e 0,99, a depender da fase fenológica (Lima et al., 2011). Para outra planta MAC, como abacaxi, Azevedo et al. (2007) mencionam que a relação ET_c/ET_o é de 0,88, variando muito pouco ao longo do ciclo.

4 – CONCLUSÕES

A partir do cultivo de três clones de palma forrageira durante um ciclo produtivo em condições de sequeiro, pode-se concluir que os eventos de precipitação pluviométrica contribuíram mais para os componentes evapotranspiração e drenagem profunda, além disso, os clones de palma forrageira apresentaram consumo de água semelhante, apesar de serem de gêneros distintos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco pela concessão da área experimental. À Embrapa Semiárido pela disponibilização do conjunto Diviner@2000 para monitoramento

do conteúdo de água no solo e pelas análises físicas do solo. À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela liberação da Infraestrutura realização dessa pesquisa.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56

AZEVEDO, P. V.; SOUZA, C. B. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. de P. R. da. Water requirements of the pineapple crop grown in tropical environments, Brazil. **Agricultural Water Management**, v.88, p. 201-208, 2007.

CASTELLANOS, M. T.; CARTAGENA, M. C.; RIBAS, F.; CABELLO, M. J.; ARCE, A.; TARQUIS, A. M. Impact of nitrogen uptake on field water balance in fertirrigated melon. **Agricultural Water Management**, v.120, p.56-63, 2013.

CAVALCANTI, E. P.; SILVA, E. D. V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 1994, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994. p.154-157.

CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Submitted September 18, 2012; January 31, 2013; posted ahead of print February 2, 2013. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; ROCHA, G. C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.1-10, 2005.

CUSHMAN, J. C. Crassulacean Acid Metabolism. A Plastic Photosynthetic Adaptation to Arid Environments. **Plant Physiology**, v.127, p.1439-1448, 2001.

DOURADO-NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, v.57, n.1, p.191-192, 2000.

DUBROVSKY, J. G., NORTH G. B.; NOBEL, P. S. Root growth, developmental changes in the apex, and hydraulic conductivity for *Opuntia ficus-indica* during drought. **New Phytology**, v.138, p.75-82, 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.

FARES, A.; ALVA, A. K. Soil water components based on capacitance probes in a sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.311-318, 2000.

GAISER, T.; DE BARROS, I.; LANGE, F. M.; WILLIAMS, J. R. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. **Plant and Soil**, v.263, p.165-171, 2004.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v.102, p.1-7, 2011.

GOLDSTEIN, G.; ORTEGA, J. K. E.; NERD, A.; NOBEL, P. S. Diel patterns of water potential components for the Crassulacean acid metabolism plant *Opuntia ficus-indica* when well-watered or droughted. **Plant Physiology**, v.95, p.274-280, 1991.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v.36, p.133-148, 1997.

JARVIS, P. G.; MCNAUGHTON, K. G. Stomatal control of transpiration. **Advances in Ecological Research**, v.15, p.1-49, 1986

LI, S.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China. **Agricultural water management**, v.95, p.1214-1222, 2008.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.41-277. (Acadêmica; 61)

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOARES, W. de A.; SOUZA, E. S. de. Fluxo de calor sensível em cultivo de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Online)**, v. 15, p. 1037-1045, 2011.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V. et al. A palma forrageira na pecuária do semi-árido. In: GOMIDE, C.A.M.; RANGEL, J.H.A.; MUNIZ, E.N. et al. (Orgs.).

Alternativas alimentares para ruminantes. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. p.17-34.

LOPES, E. B.; BRITO, C. H. de; ALBUQUERQUE, I. C.; BATISTA, J. de L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* sp.) e (*Nopalea* sp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*dactylopius Opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.1, p.204-215, 2010.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C. E VASCONCELOS, M. F. Cultivo da palma forrageira In: LOPES, E. B. (Ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semiárido nordestino.** Paraíba: EMEPA/FAEPA, 2007. p.11-33.

MIRANDA, K. R. ; SILVA, T. G. F. ; CRUZ NETO, J. F.; QUEIROZ, M. G.; LIRA, M. A. B.; SANTOS, J. E. O. Modelos de estimativa da área do cladódio de variedades de palma no Semiárido pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Palma e outras Cactáceas, 2, 2011, Garanhuns-PE. **Anais...** Garanhuns-PE: UFRPE/UAG.

MORAES, A. C. A. de; SANTOS, A. O. de A.; BATISTA, A. M. V.; LUCENA, R. B. de; ANDRADE, R. de P. X. de A.; SILVA, S. X. da. Comportamento seletivo de ovinos Alimentados com seis diferentes variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). In: JORNADA DE INICIAÇÃO CINÉTICA DA UFRPE, 9., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 2009. [CD-R]

NOBEL, P. S.; HARTSOCK, T. L. Relationships between Photosynthetically Active Radiation, Nocturnal Acid Accumulation, and CO₂ Uptake for a Crassulacean Acid Metabolism Plant, *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, v: 71, p: 71-75, 1983.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. SILVA; SILVA, R. P. da; FILHO, F.C. de ANDRADE; JÚNIOR, E. B. PEREIRA. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiárido. **Revista Verde**, v.5, n.4, 2010.

PEIXOTO, M. J. A., CARNEIRO, M. S. S., SOUZA, P. Z. et al. Desenvolvimento *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill., em diferentes substratos, após micropropagação *in vitro*. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.28, n.1, p.17-20, 2006.

RAD, M. H.; ASSARE, M. H.; BANAKAR, M. H; SOLTANI, M. Effects of different soil moisture regimes on leaf area index, specific leaf area and water use efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh) under dry climatic conditions. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.10, n.5, p.294-300, 2011.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, v.110 p.221-229, 2010.

SILVA, A. L. da. **Variabilidade dos componentes do balanço hídrico**: um estudo de caso em uma cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no Brasil. 2005. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA, T. G. F. da; MOURA, M. S. B. de; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. de S.; FARIAS JÚNIOR, W. G. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.64-71, 2012.

SILVA, T. G. F. da; ZONIER, S.; MOURA M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, L. S. B. de. Umidade relativa do ar: estimativa e espacialização para o estado de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia e EMBRAPA/ Tabuleiros Costeiros, 2007.

SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. **South African Journal of Botany**, v.72, p.434-441, 2006a.

SNYMAN, H. A. A case study on in situ rooting profiles and water-use efficiency of cactus ‘pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. 2005. Disponível em <http://www.jpacd.org/v7/v7p1-215snymo.pdf>. Acesso em: 23 de janeiro de 2013.

SNYMAN, H. A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **Journal of Arid Environments**, v. 65, n. 4, p. 529-542, 2006b.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados pluviométricos mensais do Nordeste**. Recife: SUDENE, 1990. Série Pluviometria 1 a 10.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publication in climatology, Centerton: Laboratory of Climatology, v.8, n.1, 1955. 104p.

VAN DER SALM, C.; REINDS, G.J.; de VRIES, W. Water balances in intensively monitored forest ecosystems in Europe. **Environmental Pollution**, v.148, p.201-212, 2007.

VASCONCELOS, A. G. V.; LIRA, M. A.; CAVALCANTI, V. A. L. B.; SANTOS, M. V. F.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 827-831, 2009.

YADAV, S.; HUMPHREYS, E.; KUKAL, S. S.; GILL, G.; RANGARAJAN, R. Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice Part 2: Water balance and water productivity. **Field Crops Research**, v.120, p.123-132, 2011.

ZHANG, Y.; KENDY, E.; QIANG, Y.; CHANGMING, L.; YANJUN, S.; HONGYONG, S. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v.64, p.107-122, 2004.

ZOUGMORÉ, R.; MANDO, A.; STROOSNIJDER, L. Effect of soil and water conservation and nutrient management on the soil-plant water balance in semi-arid Burkina Faso. **Agricultural Water Management**, v.65, p.103-120, 2004.

CAPÍTULO 3:
PARÂMETROS DA CULTURA E INDICADORES DE EFICIÊNCIA DE CLONES
DE PALMA FORRAGEIRA EM CONDIÇÕES DE SEQUEIRO NO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO

RESUMO: Objetivou-se avaliar o desempenho produtivo de três clones de palma forrageira, resistentes a Cochonilha do Carmim, cultivados em condições de sequeiro no semiárido pernambucano. O experimento foi conduzido em Serra Talhada-PE, tendo como tratamentos os clones IPA-Sertânia do gênero *Nopalea*; Miúda do gênero *Nopalea*; e, Orelha de elefante Mexicana do gênero *Opuntia*. Para isso, foram analisados dados morfológicos das plantas e dos cladódios, parâmetros hídricos e produtivos, composição mineral e qualidade bromatológicas dos cladódios, foram determinados indicadores de eficiência do uso da água, como produtividade da água da cultura, produtividade econômica da água e eficiência do uso de nutrientes. Com os resultados, verificou-se que a Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia foram aquelas que se destacaram em termos de altura das plantas, enquanto que a Miúda é a que possui o maior número de cladódios, todavia a primeira é a de maior índice de área do cladódio, sobretudo em decorrência das características dos seus cladódios de primeira e segunda ordem. A Orelha de Elefante Mexicana foi o clone mais produtivo, ao passo que a Miúda é a que apresentou menor produtividade. Assim a planta Orelha de Elefante Mexicana, mostrou-se como a mais eficiente para o Semiárido pernambucano. Porém, a IPA Sertânia também se mostrou mais eficiente nas condições avaliadas do que a Miúda. Não se verificou diferença ($P < 0,05$) da composição mineral dos cladódios entre os tratamentos, produtividade econômica da água e da eficiência do uso de nutrientes, com exceção da eficiência do uso do elemento magnésio com base na evapotranspiração real, que foi maior para a Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia, e do elemento sódio com base na precipitação, que foi superior nos clones Orelha de Elefante Mexicana e Miúda.

PALAVRAS-CHAVE: desempenho produtivo, evapotranspiração, uso de nutrientes

CROP PARAMETERS AND EFFICIENCY INDICATORS OF PRICKLY-PEAR
CLONES RAINFED CONDITIONS IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID REGION

ABSTRACT: The objective was to evaluate the performance of three prickly-pear clones, resistant to Carmine Cochineal, cultivated in rainfed conditions in the Brazilian semi-arid region. The experiment was conducted for the clones ‘IPA-Sertânia’, *Nopalea* genus; ‘Miúda’, genus *Nopalea*; and ‘Orelha de Elefante Mexicana’, genus *Opuntia*, on district of Serra Talhada, State of Pernambuco. For this were analyzed plants and cladodes morphological data, water and productive parameters, mineral composition and qualitative characteristics of cladodes, and defined indicators of efficiency of water use, as crop water productivity, water economic productivity and nutrient use efficiency. With the results, it was found that ‘Orelha de Elefante Mexicana’ and IPA-Sertânia’ were those who have largest plant height, while the ‘Miúda’ is the one that has the largest number of cladodes, but the first is the highest cladode area index, especially in view of the characteristics of its cladodes of first and second order. The ‘Orelha de Elefante Mexicana’ was the most productive, while the ‘Miúda’ is the least efficient. The ‘Orelha de Elefante Mexicana’, moreover, is the most efficient for the Brazilian semi-arid region, based on precipitation as in relation to crop evapotranspiration. However, the ‘IPA Sertânia’ also proved capable of converting the consumed water in income. There weren’t differences in terms of mineral composition of cladodes, water economic productivity and nutrients use efficiency, with the exception of the efficiency of the use of magnesium element on the basis of actual evapotranspiration, which was higher for the Orelha de Elefante Mexicana and IPA Sertânia, and for sodium element based on rainfall, which was higher Orelha de Elefante Mexicana and Miúda.

KEY-WORDS: productive performance, evapotranspiration, nutrients use

1 - INTRODUÇÃO

A produtividade das culturas agrícolas, que se baseia principalmente em plantas que utilizam os processos fotossintéticos C3 e C4, é comumente restrita nas regiões semiáridas. Com isso, algumas plantas MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), devido à sua alta eficiência no uso da água, acabam sendo uma ótima opção de aumento da produtividade agrícola nessas regiões. Espécies que utilizam o metabolismo MAC representam apenas 6% da vegetação global. Dentre elas, de grande relevância agropecuária em várias regiões do planeta, tem-se a palma, que possui ampla adaptação devido as suas modificações fisiológicas, anatômicas e estruturais em condições adversas (NOBEL; BOBICH, 2002).

Essas adaptações permitem que a palma atinja níveis de rendimento aceitáveis em condições de baixa disponibilidade hídrica (NEFZAOU; BEN SALEM, 2002), logo que, as mesmas fecham os estômatos durante o dia, diminuindo a perda de água, e durante a noite assimilam dióxido de carbono (CO₂), fixando-o ao ácido fosfoenolpirúvico (PEP) pela ação da PEP-case. O carbono é assimilado na forma de ácidos orgânicos (aspártico) e málico, acumulando-se nos vacúolos, para no período diurno haver descarboxilação, fornecendo o CO₂ para o ciclo de Benson-Calvin, o qual depende da energia luminosa (NOBEL; BOBICH, 2002).

Embora, em muitos casos, pertencentes ao mesmo gênero, espécies de palma forrageira apresentam respostas distintas em diferentes condições de cultivo. Vários estudos têm demonstrado o desempenho do seu crescimento e rendimento em diferentes regiões (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; ALBUQUERQUE; SANTOS, 2006; SALES et al., 2009a). Guerra et al. (2005) avaliaram 22 genótipos e três variedades em municípios do Rio Grande do Norte, verificando que a produtividade da palma forrageira foi maior nas localidades onde a temperatura noturna ficou entre 19°C a 21,5°C e a precipitação pluviométrica média de 700 mm ano⁻¹. Já em locais que choveram em média 500 mm ano⁻¹ e as noites foram mais quentes, a produtividade da palma foi menor. Por outro lado, em regiões que choveu mais que 1000 mm ano⁻¹, o resultado foi uma baixa produtividade, possivelmente em função da excessiva pluviosidade. Flores-Hernández et al. (2004) avaliaram o crescimento e a produtividade de quatro clones (C-40, C-60 e C-8, identificadas como *Opuntia amyclaea*; e C-69, como *Opuntia ficus indica*) em condições irrigadas (30%, 45% e 60% da evaporação acumulada semanalmente, “E”), no distrito de ‘La Laguna’, no estado de Coahuila, no México, e verificaram que irrigações acima de 30% de “E” não incrementa a produtividade da cultura e o clone C-69 apresentou maior número de cladódios e melhor rendimento.

Em resposta ao seu processo fotossintético e adaptação a diferentes condições de cultivo espera-se que a eficiência do uso da água de plantas seja modificada a depender da duração e da severidade do estresse hídrico, assim como da fase fenológica de sua ocorrência (ALI et al., 2007; MOURA et al., 2006). Porém, estas respostas também estão sujeitas ao tipo de espécies (C₃, C₄ e MAC), logo que as plantas C₃ (soja, trigo, feijão, entre outras) e C₄ (sorgo, milho, cana-de-açúcar, etc.) apresentam reduções mais expressivas em seu crescimento e rendimento em relação às plantas MAC, quando todas são submetidas ao estresse hídrico (NOBEL et al., 1995). Essa informação é de grande importância, a fim de se melhorar o manejo de água no sistema de produção agrícola, seja

em condições de sequeiro ou irrigado, de modo a permitir a redução dos impactos ambientais e ajudar na utilização mais responsável dos recursos naturais (INMAN-BAMBER; MCGLINCHEY, 2003; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

Existem vários indicadores de eficiência do uso da água (PEREIRA et al., 2002), dentre eles pode-se citar a produtividade da água da cultura (PAC), a produtividade econômica da água (PEA) e a eficiência do uso de nutrientes (EUN). A PAC considera a capacidade da cultura em converter a água em biomassa (IGBADUN et al., 2006). É um ótimo indicador de análise da eficiência do uso da água, pois permite avaliar a redução do rendimento em decorrência da diminuição da disponibilidade de água para a cultura (DI PAOLO; RINALDI, 2008). Outro indicador de eficiência é a produtividade econômica da água, sendo de grande importância, uma vez que permite mensurar o incremento produtivo (i.e. IWP, Index Water Productivity) e o retorno econômico (i.e. EWP, Economic Water Productivity), gerados em função do uso da água no sistema de produção, sobretudo em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de água é baixa e os produtores podem utilizar da capacidade hídrica existente para complementar a demanda das culturas (ARAYA et al., 2011; PEREIRA et al., 2012). Finalmente, a eficiência do uso de nutrientes (EUN(w)), que está sendo modificada no presente estudo em relação ao observado na literatura (AMARAL et al., 2011), a fim de se analisar a capacidade da cultura em absorver nutrientes da solução do solo com base na água consumida pela cultura ou recebida pelo sistema de produção, via irrigação ou precipitação.

Assim, objetivou-se avaliar o desempenho de clones de palma forrageira, resistentes a Cochonilha do Carmim, cultivados em condições de sequeiro no semiárido brasileiro, a partir da (a) análise entre as características morfológicas das plantas e dos cladódios, (b) avaliação de parâmetros hídricos e produtivos, (c) comparação da composição mineral e qualidade bromatológicas dos cladódios, e, (d) definição dos indicadores de eficiência do uso da água, como produtividade da água da cultura, produtividade econômica da água e eficiência do uso de nutrientes.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo, tratamentos culturais e tratamentos experimentais

Este estudo foi realizado em uma área cultivada com três clones de palma forrageira, pertencente à Estação Experimental de Serra Talhada, do Instituto Agrônomo

de Pernambuco, localizado em Serra Talhada, Semiárido de Pernambuco (7°59'S, 38°15'O e 431 m), que se caracteriza por um clima do tipo BSw^h, de acordo com a classificação de Koppen, sendo os meses mais quentes aqueles com maiores níveis de chuva e os meses frios aqueles mais secos. O solo da área é classificado como sendo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso conforme classificação da EMBRAPA (1999). As características químicas do solo antes do plantio podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas do solo da área experimental cultivado com clones palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido pernambucano

pH	P	Ca	Al	Na	K
H ₂ O	mg/dm ³	-----cmolc/dm ³ -----			
6,7	>40,3	3,25	0,0	1,52	0,45

A área experimental possui uma área total de 2822,4 m² (49 x 57,5 m). Antes do plantio, em fevereiro de 2012, realizou-se gradagem e aragem do solo. Os clones foram cultivados em espaçamento de 1,6 m x 0,2 m, compreendendo uma área com de dimensões 61,6 m x 43,0 m (2.648,8 m²) e em uma densidade em torno de 31.250 plantas por hectare. A área foi composta de nove parcelas experimentais, contendo quatro fileiras, cada uma com vinte plantas, ocupando uma área de 25,6 m² e área útil de 10,24 m². Foram realizadas capinas manuais, aplicação de herbicida e de inseticidas quando necessários para manutenção da área livre de plantas espontâneas e de pragas, respectivamente. A adubação de 130 kg de N ha⁻¹ foi realizada em três vezes ao longo do ciclo produtivo. O herbicida aplicado foi o Diuron a 0,5% e o inseticida folisuper a 0,2% para realizar o controle fitossanitário. O primeiro corte da cultura foi realizado com dois anos de ciclo, em março de 2012.

Os tratamentos foram compostos por três clones de palma forrageira (IPA-200205/IPA-Sertânia do gênero *Nopalea*; IPA-100004/Miúda do gênero *Nopalea*; e, IPA-200016/Orelha de elefante Mexicana do gênero *Opuntia*). O ciclo produtivo foi conduzido em condições de sequeiro, de modo que se utilizaram apenas nove parcelas experimentais, três de cada clone. Assim, nesse ciclo foi adotado o delineamento em blocos ao acaso, com três repetições.

5.2. Monitoramento das variáveis ambientais

O monitoramento da disponibilidade de água no solo foi feito por meio de uma sonda capacitiva portátil (Diviner 2000 Sentek Pty Ltda., Austrália), entre o período de 20 de outubro de 2010 a 03 de março de 2012, a qual se trata de um sensor portátil constituído de um sistema de aquisição de dados, que uma vez inserido em um tubo de acesso, instalado no solo, fornece de maneira rápida o conteúdo de água a cada 0,1m. Os tubos foram enterrados em prumo até uma profundidade de 0,9 m, e em seguida, foram vendados nas suas extremidades, para impedir a entrada de água. Para o uso da sonda capacitiva, fez-se necessária a sua calibração nas condições edáficas do experimento, conforme recomendações do fabricante (SENTEK, 2000; 2001). Os tubos de acesso foram instalados nas nove sub-subparcelas entre as fileiras centrais dos três clones, a uma distância de 0,1 m das plantas. As condições meteorológicas reinantes ao longo do ciclo da palma forrageira foram monitoradas por meio de uma PCD (plataforma de coleta de dados automatizada), localizada aproximadamente a 700 m da área experimental, pertencente Agência Pernambucana de Água e Clima – APAC, estando equipada por um sistema de aquisição que permite o armazenamento dos dados medidos por sensores de temperatura (t , °C) e umidade relativa do ar (UR, %), pluviômetros (P, mm), radiação solar (R_g , $W\ m^{-2}$), velocidade (u , $km\ dia^{-1}$) e direção do vento (DV). Estes dados são disponibilizados para intervalos de três horas, no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE, e foram utilizados também para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), por meio do método de Penman Monteith parametrizado conforme o boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998). Para o cálculo da evapotranspiração de referência foi utilizado o software REF-ET.

5.3. Dados da cultura

O crescimento da palma forrageira foi monitorado por meio do registro de variáveis biométricas, da biomassa verde e seca da cultura, da determinação de macro e micronutrientes da planta e da análise bromatológica da forragem, todas obtidas ao final do ciclo dos clones. Os dados biométricos registrados foram: altura de plantas (AP), largura de plantas (LP), número de cladódios por planta (NCP), ordem de cladódios (OC), comprimento de cladódios (CC), largura de cladódio (LC), perímetro de cladódio (PC), espessura de cladódio (EC) e área de cladódio (AC). Para a obtenção destas variáveis

foram selecionadas três plantas por parcela, resultando em nove plantas por tratamento, a fim de ser monitoradas ao longo do ciclo. A AP, CC e LC foram obtidas por meio de uma fita milimetrada. A EC foi medida utilizando um paquímetro digital. A AC foi determinada utilizando as expressões propostas por Miranda et al. (2011), que consideram variáveis biométricas (CC, LC e PC), e que após sua obtenção, foi determinado o índice de área do cladódio (IAC), através do NCP e da área ocupada por cada planta (1,6 x 0,2 m).

A biomassa foi obtida por meio da amostragem de dois cladódios do terço médio da parte aérea de duas plantas por clone de palma forrageira, de modo que, uma vez pesados (para obtenção do peso fresco), por meio de uma balança de precisão, fragmentados e acondicionados em sacos de papel, devidamente identificados, foram conduzidos a uma estufa de ventilação forçada a 65°C, do Laboratório de Análises de Alimentos Vegetais e Animais da Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UAST, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, até obter peso seco constante. Os valores de produtividade em matéria fresca e seca foram extrapolados assumindo o número médio de cladódios por planta e a densidade de plantas por hectare na ocasião da colheita.

Adicionalmente, com as amostras de biomassa seca foram determinadas a concentração dos macronutrientes e micronutrientes na planta e a as características bromatológicas da forragem, por meio do envio das amostras aos Laboratórios de Solos e Nutrição de Plantas e de Nutrição Animal da Embrapa Semiárido, situada no município de Petrolina-PE. As características químicas e bromatológicas analisadas foram: macronutrientes, micronutrientes, matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), matéria orgânica (MO) e cinzas, sendo tais características determinadas conforme metodologia descrita em Silva & Queiroz (2002).

5.4. Evapotranspiração real da cultura

A evapotranspiração dos clones de palma forrageira (ET_r) foi quantificada por meio do resíduo do balanço de água no solo (BAS), para intervalos de quatorze dias (resultando 37 períodos nos 499 dias), usando os dados do conteúdo de água (θ) e as propriedades físico-hídricas do solo. No BAS foram quantificados os componentes: variação de armazenamento (ΔA), precipitação (P), evapotranspiração (ET), escoamento superficial (R) e densidade de fluxo (Q), em um intervalo de quatorze dias, para uma camada de solo 0,60 m de profundidade. Considerou-se que a área experimental possuía baixa declividade (<

2%), de modo que os ganhos e perdas de água por escoamento subsuperficial foram desprezíveis ou se anularam. A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi obtida mediante a integração dos valores de lâmina de água a cada 0,10 m, resultantes dos dados de θ . A precipitação (P) foi monitorada utilizando os dados da estação meteorológica. O escoamento superficial (R) foi estimado utilizando o método do “Número da Curva – CN”, proposto pela SCS-USDA, adotando o valor de CN de 75, que representa uma condição de solo com moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e plantio em fileiras com curvas de nível de boa condição hidrológica. Q foi determinado, através da base limite inferior do perfil do solo (0,60 m de profundidade), utilizando dados de potencial total de água da camada logo acima (0,50 m) e abaixo (0,70 m) e a equação Buckingham-Darcy (LIBARDI, 2005). As propriedades físico-hídricas do solo foram obtidas para a área experimental ao longo do perfil do solo, por meio da aplicação em campo do método do perfil instantâneo, conforme Libardi (2005), onde se determinou a curva de retenção de água, ajustando o modelo exponencial e a condutividade hidráulica do solo do solo não saturado aos valores de θ . Como as medidas do conteúdo de água do solo (θ) foram iniciadas após oito meses do plantio (20 de outubro de 2010), para se obter a ETr acumulada durante o crescimento da cultura, a fim de se calcular os indicadores de eficiência, a ETr foi estimada para intervalos de quatorze dias, anterior a 20 de outubro de 2010, utilizando os valores da razão P/ETr (sendo de -0,91 para a IPA, -0,92 para a MIU, e de -0,79 para a OEM), determinados utilizando os dados dos 37 períodos de balanço de água no solo, e os dados de precipitação ocorridos desde 15 de fevereiro de 2010, quando se iniciou o plantio, até 19 de outubro de 2010.

5.5. Indicadores de eficiência do uso da água

A eficiência do uso da água foi avaliada por meio da produtividade da água da cultura (PA_C , $kg\ m^{-3}$), a produtividade econômica da água (EWP, $R\$ m^{-3}$) e em termos de eficiência do uso de nutrientes (EUN(w), $kg\ m^{-3}$). Os cálculos foram realizados assumindo os dados de biomassa, concentração de nutrientes, precipitação e evapotranspiração acumulados para todo ciclo produtivo em condições de sequeiro. A PA_C , que se refere à capacidade da água utilizada ou recebida pela cultura converter fotoassimilados em biomassa total acumulada, foi determinada para a palma forrageira em condições de sequeiro. Para isso, foi considerada a relação entre o rendimento (Y, kg) e, a

evapotranspiração real acumulada ($\sum \text{ETr}$, m^{-3}) ou a precipitação (P , m^{-3}) recebida pela cultura ao longo do tempo (GEERTS; RAES, 2009):

$$PA_C = \frac{Y}{\sum \text{ETr ou } \sum (P)}$$

A produtividade econômica da água (EWP) foi calculada com base no ganho econômico (GE) por unidade de área, que permite conhecer qual foi o retorno econômico mediante cada unidade de água utilizada pela cultura ou recebida pelo sistema de plantio. Assim, utilizou-se (ARAYA et al., 2011):

$$EWP = \frac{GE}{\sum \text{ETr ou } \sum (P)}$$

sendo que, GE é o ganho econômico por unidade de área, em $\text{R\$ ha}^{-1}$, que considerará o valor pago por unidade de cladódio de palma forrageira.

A eficiência do uso de nutriente (EUN(w)) foi adaptada da literatura, que assume a habilidade da planta em absorver os nutrientes da solução do solo (AMARAL et al., 2011). No presente estudo, essa eficiência foi calculada com base na evapotranspiração real acumulada ($\sum \text{ETr}$, m^{-3}) ou na precipitação (P , m^{-3}) recebida pela cultura. Esse indicador foi obtido para todos os macronutrientes e micronutrientes, considerando sua a concentração na planta ([Nu]) e a biomassa acumulada (Y), de modo a se estabelecer a capacidade da planta em absorver um determinado nutriente da solução do solo em relação à quantidade de água utilizada pela cultura ou recebida pelo sistema de produção. Do mesmo modo que aos demais indicadores, o mesmo foi determinado para os três clones. Assim, tem- que:

$$EUN(w) = \frac{Y \cdot [\text{Nu}]}{\sum \text{ETr ou } \sum (P)}$$

em que, w se refere ao nutriente em análise (N, P, K, Mg, etc.), Y é a biomassa acumulada pela cultura, em kg ha^{-1} e [Nu] é a concentração do nutriente na amostra analisada, dado em kg kg^{-1} ou g g^{-1} .

5.6. Análise estatística

Os dados experimentais foram tratados por meio de estatística descritiva, onde foram calculados os valores médios, desvios-padrão e coeficientes de variação. A análise estatística experimental foi aplicada para realizar comparações entre os três clones de palma forrageira, utilizando os dados do final do ciclo. Nesse caso, foi realizada análise de variância e, uma vez significativa pelo teste F, assumindo o modelo que descreve o delineamento em blocos ao acaso, as médias foram submetida ao teste de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Condições meteorológicas ao longo do ciclo dos clones

Na Figura 1 é apresentada a comparação entre as variáveis meteorológicas e as normais climatológicas do município de Serra Talhada. Os anos de 2010, 2011 e início de 2012, que compreenderam os 745 dias após o plantio, apresentaram condições meteorológicas com valores atípicas em relação a normal climatológica. Percebe-se que a temperatura média do ar esteve ligeiramente acima (25,83°C vs 25,23°C) e a umidade relativa do ar abaixo (60,21% vs 63,43%). Essas condições promoveram uma alta demanda atmosférica durante o período (3777 mm vs 2844 mm), gerando um alto déficit hídrico, embora a precipitação tenha sido acima da normal climatológica (1582 mm vs 1388 mm), na maioria dos meses.

3.2. Crescimento dos clones de palma forrageira em condições de sequeiro

Para a altura da planta foi verificada diferença significativa entre os clones ($P < 0,05$); o mesmo não sendo observado para a largura do cladódio (Tabela 2). Knebel et al. (2006) citam que a arquitetura das plantas pode ser modificada pelo espaçamento entre elas, logo que altera a área sujeita a sua expansão. Martins et al. (1999) citam que esse resultado se deve ao fato do alongamento lateral ser inibido quando as plantas são submetidas a uma maior competição entre elas. Todavia, esses parâmetros também variam com o manejo e tipo de clone.

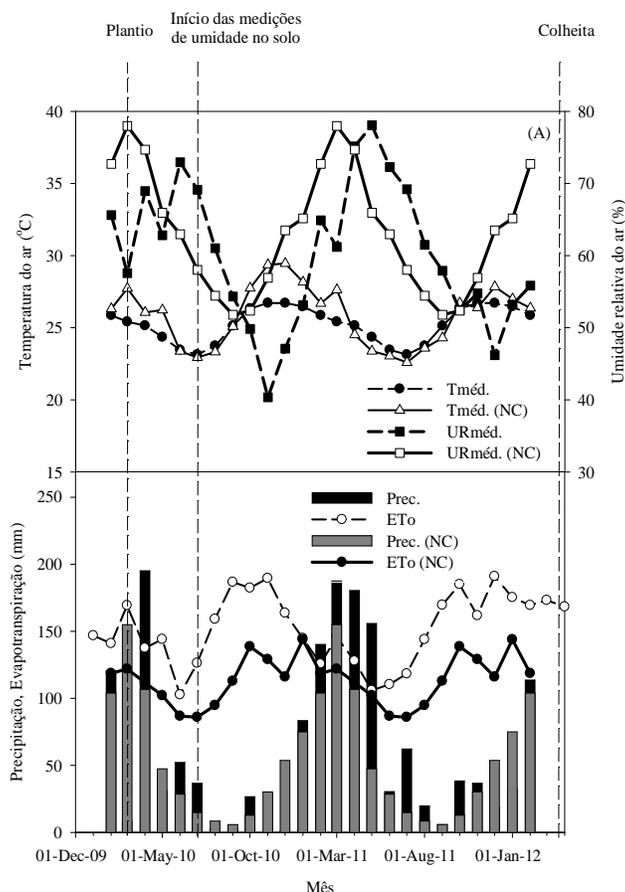


Figura 1. Condições meteorológicas e normais climatológicas (NC) das variáveis meteorológicas e da demanda atmosférica ao longo do ciclo produtivos dos clones de palma forrageira em Serra Talhada, Semiárido pernambucano

Tabela 2. Comparação de característica de crescimento entre clones de palma forrageira (IPA - IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro, no semiárido pernambucano

Variável	AP	LP	NCP	NC1	NC2	NC3	NC4	IAC
IPA	69,44 ab	84,89 a	13,67 b	4,56 a	7,11 b	1,33 b	0,00 b	0,93 a
MIU	68,11 b	88,44 a	35,44 a	4,78 a	12,78 a	11,67 a	3,89 a	0,89 a
OEM	80,56 a	101,78 a	14,11 b	4,00 a	7,33 b	1,78 b	0,00 b	1,75 a

AP – altura de plantas, LP – largura de plantas, NCP – número de cladódios por planta, NC1 – número de cladódios de ordem 1, NC2 – número de cladódios de ordem 2, NC3 – número de cladódios de ordem 3, NC4 – número de cladódios de ordem 4, IAC – índice de área do cladódio. Médias seguidas pela mesma letra dentro de uma mesma variável não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Leite (2009), avaliando o crescimento de clones de palma forrageira aos 1000 após o plantio sob diferentes adubações, no Semiárido paraibano, observou diferenças significativas entre os valores de altura, sendo os menores valores obtidos pela Miúda e Redonda e os maiores pela Copena F1, independente do nível de adubação. Donato (2011), conduzindo experimento em Guanambi, BA, de palma forrageira em diferentes espaçamentos e níveis adubação de esterco bovino, registrou valores de 110,3 a 121,9 cm para altura de planta, aos 600 dias após o plantio. De acordo com Silva et al. (2010), essas características de crescimento devem ser consideradas em programas de melhoramento genético de palma forrageira, logo que possuem uma relação alta com a produtividade. Nas condições climáticas de Caruaru, PE, esses autores verificaram para 50 clones, adubados com 30.000 kg ha⁻¹ de matéria orgânica, e idade de três anos, valores de altura de 90,1 cm e de largura de 71,5 cm, com coeficiente de variação entre eles de 17,8% e 30,6%, respectivamente. Esses valores de altura são maiores aos obtidos pelos clones do presente estudo, com 25 meses de idade, enquanto que as larguras são menores. Poucos são os registros de altura e largura das plantas dos clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana, sendo mais comum para a Miúda.

Albuquerque e Santos (2006) citam valores médios da altura na ordem de 1,06 m e da largura média do dossel igual a 1,03 m, para a Miúda com quatro anos de idade, cultivada em condições de sequeiro, no município de Petrolina, PE, Semiárido brasileiro. Vale salientar que no presente estudo, não foram realizadas adubações ao longo do período experimental, esperando assim valores inferiores àqueles citados na literatura para plantas adubadas e com mesma idade. Estudando clones com dois anos de idade, Ferreira et al. (2003) registraram valores de altura entre 122,9 e 70,2 cm.

Em termos de número de cladódios (Tabela 2), observa-se que a Miúda apresentou maior emissão, diferindo estatisticamente dos outros dois clones ($P < 0,05$), sobretudo devido aos cladódios de maiores ordens (superior aos de primeira), logo que os mesmos não apresentaram diferenças significativas entre si ($P > 0,05$). Resultados similares foram obtidas por Sales et al. (2009a), avaliando o desempenho de diferentes clones de palma no Semiárido paraibano, durante trinta e três meses, onde a precipitação média acumulada por ano foi de 619,7 mm. Os valores médios encontrados no presente estudo foram superiores aos obtidos por esses autores, que foi em média de 25 cladódios por planta. Leite (2009) também verificou que o número de cladódios da Miúda foi superior ao da IPA Sertânia, mesmo ambas pertencendo ao gênero *Nopalea*. Percebe-se que o número de cladódios da

Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia não apresentam diferenças estatísticas ($P > 0,05$).

A Miúda foi o único clone que produziu cladódios de quinta ordem (não apresentados), representando 11% do total da planta. Esse percentual foi semelhante aos de primeira ordem, que corresponderam a 14%. A maior concentração de cladódios para esse clone está nas de segunda e terceira ordens, que responderam por 36% e 33%, respectivamente. Resultado similar foi encontrado por Leite (2009), estudando esse mesmo clone em diferentes condições de adubação, quando registraram partições de distribuições de cladódios de 10,53%, 43,30%, 40,07%, 5,82% e 0,18% para cladódios de 1 a 5 ordens. No presente estudo, para os clones Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia, a distribuição de cladódios foi mais para àqueles de segunda ordem, com percentuais de 52%, para ambos. Os de primeira e de terceira ordens representaram 28% e 13% para a Orelha de Elefante Mexicana e de 33% e 10% para a IPA Sertânia, respectivamente. Embora a Miúda possua maior número de cladódios, percebe-se, que o seu índice de cladódio (IAC) é inferior aos demais clones, o que esta associada ao menor tamanho desses cladódios.

Na Tabela 2 é perceptível essa diferença, mesmo que não se verificando diferenças estatísticas, o que esteve associada ao alto coeficiente de variação dos dados. Apesar desses resultados, o número de brotações e o índice de área do cladódio, em campo, pode variar em função do tipo de espécie, idade, níveis de adubação, espaçamento, bem como por fatores ambientais, como a disponibilidade de água no solo e temperatura (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; DUBEUX JUNIOR et al., 2006; NASCIMENTO, 2008; DONATO, 2011).

Os parâmetros de crescimento da planta possuem relação com aquelas verificadas para os cladódios (Tabela 3), sobretudo no que diz respeito ao IAC. Embora diferenças estatísticas tenham sido verificadas apenas para os comprimentos dos cladódios de primeira ordem ($P < 0,05$), observa-se que, com exceção daqueles de quarta ordem, os maiores valores, para as demais ordens foram obtidos nos clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana. Por sua vez, em termos de largura, os maiores valores foram obtidos na Orelha de Elefante Mexicana, sendo significativamente diferente dos outros dois para os cladódios basais e de primeira ordem, e não se diferindo da IPA Sertânia nos de segunda e também da Miúda para as demais ordens. Diferenças estatísticas quanto à espessura foram observadas apenas para os cladódios basais, onde a Miúda não se diferiu da IPA Sertânia, mas sim da Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 3. Características de crescimento dos cladódios de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano

Clone	CCB	CC1	CC2	CC3	CC4
IPA	19,00 a	30,22 a	24,94 a	4,78 a	0,00 a
MIU	10,57 a	14,08 b	17,27 a	13,74 a	2,92 a
OEM	19,33 a	27,73 a	27,78 a	7,94 a	0,00 a
Clone	LCB	LC1	LC2	LC3	LC4
IPA	19,00 b	17,00 b	13,47 ab	2,61 a	0,00 a
MIU	11,81 c	9,33 c	9,33 b	6,97 a	1,67 a
OEM	26,72 a	24,49 a	22,94 a	6,50 a	0,00 a
Clone	ECB	EC1	EC2	EC3	EC4
IPA	42,67 a	26,56 a	9,56 a	3,33 a	0,00 a
MIU	36,56 ab	25,44 a	8,78 a	9,33 a	1,11 a
OEM	23,22 b	19,56 a	12,67 a	2,33 a	0,00 a
Clone	PCB	PC1	PC2	PC3	PC4
IPA	49,00 ab	61,72 b	55,94 a	11,33 a	0,00 a
MIU	28,44 b	37,28 c	41,02 a	37,06 a	7,17 a
OEM	58,89 a	75,88 a	71,59 a	21,47 a	0,00 a
Clone	AB	AC1	AC2	AC3	AC4
IPA	161,85 b	243,11 b	229,71 ab	23,63 a	0,00 a
MIU	90,72 b	94,35 c	115,99 b	70,54 a	5,36 a
OEM	360,72 a	475,70 a	445,63 a	21,23 a	0,00 a

CC – comprimento do cladódio, LC – largura do cladódio, EC – espessura do cladódio, PC – perímetro do cladódio, A – área do cladódio, B – basal, C1 – cladódio de ordem 1, C2 – cladódio de ordem 2, C3 – cladódio de ordem 3, C4 – cladódio de ordem 4.

- Médias seguidas pela mesma letra dentro de uma mesma variável não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Esses dados são contrários aos relatados por Leite (2009), que comparando as características morfológicas de plantas e cladódios de diferentes clones de palma forrageira no Semiárido paraibano, verificou que a espessura dos cladódios da IPA Sertânia foi superior a da Miúda, e que em todas as ordens, as dimensões dos cladódios da Miúda

foram inferiores significativamente em relação aos demais clones ($P < 0,05$). Os resultados oriundos do comprimento e da largura dos cladódios conferiram a IPA Sertânia e a Orelha de Elefante Mexicana maiores perímetros de cladódios basais, mas a primeira não se diferiu significativamente dos valores da Miúda.

A Orelha de Elefante Mexicana se sobressaiu em relação aos cladódios de primeira ordem, não apresentando diferenças nas ordens subsequentes. Por sua vez, a Miúda mostrou-se como sendo o clone com menores áreas para os cladódios inferiores a terceira ordem, apesar de ter se diferido da IPA Sertânia em termos de primeira ordem. Para os cladódios de terceira e quarta ordens, constou-se uma superioridade em relação à área de cladódio da Miúda, porém não se verificou diferenças significativas em relação aos demais clones ($P > 0,05$). Essas características dos cladódios confirmam os baixos valores de IAC estarem associados à Miúda, quando comparados aos outros dois clones avaliados. Informações da literatura informam que, as maiores produtividades da palma são obtidas quando os valores de IAC variam entre 4 e 5 $m^2 m^{-2}$, considerando as duas fases do cladódio. Acima desses valores, uma redução da produtividade é observada, logo que o seu aumento induz a diminuição da incidência de radiação fotossinteticamente ativa, por causa do auto-sombreamento das plantas e, portanto, da captação de dióxido de carbono por unidade de área do cladódio. Por outro lado, a diminuição do IAC reduz proporcionalmente a absorção líquida de radiação, e, por conseguinte, o incremento produtivo (CORTAZAR et al., 1985; CORTAZAR; NOBEL, 1991).

3.3. Parâmetros hídricos e produtivos dos clones de palma forrageira

A evapotranspiração real acumulada pelos clones de palma forrageira durante os vinte e cinco meses produtivos não se diferenciou estatisticamente entre si ($P > 0,05$) (Tabela 4). A precipitação pluviométrica acumulada durante o período de análise foi em torno de 1554 mm, bastante inferior à demanda atmosférica local (E_{To}), que atingiu elevado valor (3717 mm), resultando em uma alta deficiência de água no solo. Como resultado, verificou-se um déficit de evapotranspiração ($\Delta E_{Tr} = [E_{Tr} - (P + I)]$) para os clones, sobretudo para a IPA Sertânia, correspondendo a 21% da precipitação pluviométrica, seguida da Orelha de Elefante Mexicana (6%) e da Miúda (3%). Esse indicador, obtido no presente estudo, é reflexo de quanto de água deixou de ser evapotranspirada pela cultura, em relação à lâmina de água que entrou no sistema por precipitação durante o ciclo produtivo avaliado.

Tabela 4. Parâmetros hídricos e de desempenho produtivo de clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano

Clone	P	ETr	Δ ETr	ETo	BFC	BSC	DPH
-	mm	mm	mm	mm	t MV ha ⁻¹	t MS ha ⁻¹	Plantas ha ⁻¹
IPA	1554	1306 a	-322	3717	124,3 b	10,7 a	28000 (-10,4%)
MIU	1554	1510 a	-49	3717	117,5 b	11,5 a	29875 (-4,4%)
OEM	1554	1438 a	-91	3717	163,0 a	15,6 a	30938 (-1,0%)
Médias	-	1418	-	-	134,92	12,60	-
Teste F	-	6,03ns	-	-	25,6*	3,43ns	-
C.V.(%)	-	7,42	-	-	6,22	19,37	-

P – Precipitação; ETr – Evapotranspiração real da cultura; Δ ETr – Déficit de evapotranspiração; ETo – evapotranspiração de referência; BFC – biomassa fresca da cultura acumulada, BSC – biomassa seca acumulada da cultura, NCP – número médio de cladódios por planta e DPH – densidade de plantas por hectare;

- Médias seguidas pela mesma letra não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Valores entre parênteses indicam a mortalidade de plantas, assumindo uma densidade inicial de 31.250 plantas por hectare;* Significativo ($P < 0,05$); ns – não significativo ($P > 0,01$ e $0,05$).

Os valores de Δ ETr podem variar de $-\infty$ a $+\infty$, de modo que, quanto mais positivo, o Δ ETr indicará que as perdas de água pelo sistema de produção são reduzidas e a cultura possui alta capacidade de extrair água do solo, o volume de água recebido mais àquele já armazenado no solo, podendo assim convertê-lo em incremento produtivo. Por outro lado, valores muito negativos de Δ ETr indica que a cultura pode está sofrendo por estresse hídrico ou um grande volume de água está sendo perdido pelo sistema de produção por escoamento superficial e, ou, drenagem profunda.

Percebe-se que, nas condições de cultivo, a Orelha de Elefante Mexicana foi o clone que apresentou maior rendimento de biomassa verde, diferenciando estatisticamente dos outros dois, que por sua vez não tiveram produtividades significativamente diferentes entre si ($P > 0,05$). Leite (2009) relata que a produtividade da Miúda e IPA Sertânia, ambas pertencentes ao gênero *Nopalea* sp., aos 2,7 anos após o plantio, foram àqueles que apresentaram menores rendimento quando comparadas aos demais clones analisados (Redonda, Gigante, IPA 20, Copena V1, Copena F1 e Italiana), no Semiárido paraibano, e

este por sua vez também não se diferenciaram entre si. Santos et al. (2006a) registraram rendimentos da palma Miúda, com espaçamento de 1,0 x 0,5 m adubada com 20 t de esterco bovino por hectare, atingindo valores médios de 386,36 t MV ha⁻¹ 2anos⁻¹, nas condições edafoclimáticas de Arcoverde, Caruaru e São Bento do Una, PE. Esse valor é bem superior ao obtido no presente estudo, contudo, além das diferenças climáticas entre as regiões. Embora tenham se diferenciado em termos de biomassa verde, o mesmo não foi observado em relação à biomassa seca ($P > 0,05$).

Albuquerque e Santos (2006), comparando o desempenho produtivo de diferentes clones, com quatro anos de idade, nas condições edafoclimáticas de Petrolina, PE, obtiveram valores de biomassa seca para a Miúda de 2,57 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ (equivalente a 5,35 t MS ha⁻¹ ano⁻¹ para vinte e cinco meses). Esse valor foi inferior ao obtido no presente estudo, mas confirma que a Miúda apresenta um baixo desempenho produtivo nas condições do sertão, quando comparado aos outros clones. Essa afirmativa também é confirmada por Sales et al. (2009b), quando verificaram baixo rendimento da Miúda no semiárido paraibano.

Porém, quando cultivada em condições de maior disponibilidade de água e, ou, temperaturas mais amenas, como nos municípios de Arcoverde, PE, e, ou, Palmares dos Índios, AL, Santos et al. (2006a) verificaram que a desempenho da Miúda não se diferenciou estatisticamente dos demais clones mais produtivos. Nas condições climáticas de Arcoverde, Caruaru e São Bento do Una, Santos et al. (2006b) obtiveram, depois de dois anos, biomassa seca média acumulada de 19,81 t ha⁻¹. A IPA Sertânia apresentou elevada taxa de mortalidade do seu estande, que superou expressivamente dos demais clones (Tabela 4). Sales et al. (2009b) encontraram resultados semelhantes, indicando que as taxas de mortalidade das espécies *Nopalea* sp. (Miúda e IPA Sertânia ou Alagoana) são superiores as das espécies *Opuntia* sp. (Redonda, Gigante, IPA 20, Copena V1, Copena F1 e Italiana). No semiárido paraibano, esses autores observaram que, aos trinta meses, as duas *Nopalea* sp. (Miúda e IPA Sertânia ou Alagoas) atingiram os valores de 18% e 12%, respectivamente. Leite (2009) faz afirmativa semelhante, ao estudar o desempenho do crescimento e produtivo de diferentes clones de palma forrageira, nas condições do semiárido paraibano, constatando que as espécies do gênero *Nopalea* sp. possuem maior dificuldade de estabelecimento em campo quando comparadas as espécies do gênero *Opuntia* sp.

Na análise da composição mineral dos cladódios (Tabela 5), ao final do ciclo dos clones avaliados, não se verificou diferenças significativas para todos os elementos ($P >$

0,01 e 0,05). Esse resultado foi constatado mesmo para aqueles em que os coeficientes de variação dos dados foram baixos (< 15,64%). Isso indica que, ao longo do ciclo dos clones, as suas capacidades de extração de elementos do solo parecem ser bastante semelhantes.

Estudos têm verificado diferenças, quando a palma forrageira é submetida a distintos níveis de adubação, espaçamento e, ou, idade de corte, como registradas por Silva et al. (2012), nas condições edafoclimáticas de Guanambi, BA, para o clone ‘Gigante’. Dubeux Júnior et al. (2006), para o clone IPA-20, em diferentes municípios do estado de Pernambuco.

Tabela 5. Composição mineral dos cladódios em três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano

Clone	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
----- g/Kg -----						
IPA	11,21	0,46	20,15	27,57	8,85	0,32
MIU	11,50	0,55	20,49	32,35	7,42	0,35
OEM	9,96	0,55	23,07	29,83	10,38	0,28
Médias	10,89	0,52	21,24	29,92	8,88	0,31
Teste F	2,39ns	1,23ns	3,29ns	0,75ns	3,42ns	0,28ns
C.V. (%)	8,47	15,29	7,18	5,73	15,64	34,62
Clone	Micronutrientes					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
----- mg/Kg -----						
IPA	30,61	3,33	164,67	164,00	11,67	475,00
MIU	30,21	9,33	270,00	571,00	23,00	458,36
OEM	31,57	2,67	148,67	91,33	38,00	488,30
Médias	30,80	5,11	194,44	275,44	24,22	473,89
Teste F	0,32ns	2,97ns	1,46ns	0,94ns	0,68ns	0,44ns
C.V. (%)	7,01	72,18	48,47	167,61	113,88	8,23

ns – não significativo (P > 0,01 e 0,05)

Apesar das diferentes condições e regiões de cultivo, percebe-se que as sequências das maiores e menores concentrações de macronutrientes obtidas no presente estudo apresentam similaridade com os resultados de outras pesquisas.

Silva et al. (2012), nas condições edafoclimáticas de Guanambi, BA, para o tratamento sem adubação, independentemente do espaçamento, encontraram, aos 620 dias após o plantio para o clone 'Gigante', valores médios dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, nessa ordem, em torno de 11,9; 0,8; 25,2; 28,2; 13,0 e 1,2 g kg.MS⁻¹. Sob maiores adubações (N-P₂O₅-K₂O, 200-150-100), essas concentrações foram de 21,9; 1,2; 24,9; 25,0; 11,6 e 5,6 g kg.MS⁻¹. Em condições de casa de vegetação, Teles et al. (2004), avaliando níveis de adubação na composição química da palma forrageira (cv. 'Gigante), aos nove meses de idade, obtiveram na condição sem adubação, concentrações de 11,4; 1,4; 27,8; 21,0; 6,0 e 2,0 g kg.MS⁻¹ para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente. Esses valores variaram para 12,4; 1,8; 28,3; 16,5; 5,7 e 1,5 g kg.MS⁻¹, na condição mais adubada (N - 200 kg ha⁻¹; P₂O₅ - 100 kg ha⁻¹; K₂O - 200 kg ha⁻¹; Ca - 250 kg ha⁻¹; Mg - 80 kg ha⁻¹ e S - 20 kg ha⁻¹).

Segundo Santos et al. (1990), a palma forrageira consegue extrair grandes quantidades de nutrientes do solo, o que foi verificado por ao analisarem a biomassa seca e encontrarem teores médios de N, P, K e Ca na ordem de 9,0; 1,6; 25,8 e 23,5 g kg.MS⁻¹, respectivamente. Em termos de micronutrientes, ainda Silva et al. (2012), nas condições de sem adubação, independente do espaçamento, registraram, aos 620 dias após o plantio, valores médios de B, Cu, Fe, Mg, Zn e Na em torno de 23,40; 4,06; 40,30; 984,41; 63,89 e 50,96 mg kg.MS⁻¹. Sob maiores adubações (N-P₂O₅-K₂O, 200-150-100), essas concentrações foram de 22,66; 5,11; 48,49; 2006,06; 67,14 e 36,47 g kg.MS⁻¹, indicando que em alguns casos, mesmo sob condição de altos níveis de adubação a concentração de alguns elementos tende a não variar significativamente. Comparando os dados aqui obtidos, com os trabalhos encontrados na literatura, percebe-se que os elementos K e Ca são aqueles macronutrientes mais absorvidos pela palma forrageira, independente do clone (Tabela 5).

A alta concentração de K na palma se justifica pela sua elevada atividade estomática, logo que regula a sua abertura e fechamento, quando atua como uma espécie MAC. Dentre os micronutrientes, percebeu-se uma maior concentração de Fe, Mn e Na e menor de B, Cu e Zn. A maior concentração de elementos metálicos como Fe e Mn, reduz a disponibilidade de Cu para as plantas (AREF, 2011). Os valores de B são bem próximos aos encontrados por Donato (2011) (30,3 mg kg.MS⁻¹), avaliando diferentes doses de

adubação orgânica na palma forrageira. A maior concentração de Mn está associada ao pH mais ácido no solo. A alta concentração de Na nos cladódios pode ser um indicativo dos altos teores existentes no solo e, não intrínsecos aos clones.

Sob essa condição Franco-Salazar; Véliz (2007) citam que a palma não possui bom rendimento, uma vez que há inibição do crescimento do sistema radicular da cultura, além de reduzir a assimilação de CO₂ (NOBEL et al., 1995). Apesar da sua maior representação, dentre os micronutrientes no presente estudo, esses valores são inferiores àqueles aqui já reportados da literatura. A alta concentração de Na nos clones pode estar associada ao fato de que é um elemento de importância para plantas com via CAM de fixação de carbono, logo que é usado na regeneração do fosfoenolpiruvato, o substrato da primeira carboxilação dessa via, conforme descrito por Epstein & Bloom (2006).

Embora não tenha sido encontrada diferença significativa entre as concentrações dos elementos entre os clones, a sequência de absorção apresentou a seguinte grandeza: macronutrientes - Ca > K > N > Mg > P > S; e, micronutrientes - Na > Mn > Fe > B > Zn > Cu. Sequência bem parecida foi obtida por Silva et al. (2012), em condições de ausência de adubação, porém com inversão do Mg e N e do P com S. Diferenças foram verificadas em relação aos micronutrientes, com as condições de sem adubação do estudo desses autores, logo que os mesmos observaram a seguinte sequência: Mn > Zn > Na > Fe > B > Cu.

De acordo com Santos (1989), a composição química da palma varia segundo a espécie, a cultivar e a idade do cladódio, apresentando como principais características o alto conteúdo de água, minerais e carboidratos e baixo conteúdo de proteína. É uma forrageira que possui baixo percentual de parede celular e alta concentração de carboidratos não-fibrosos, possuindo aproximadamente 28% de fibra em detergente neutro, 48% de carboidratos não-estruturais, 7,4% de ácido galacturônico e 12% de amido (BATISTA et al., 2003).

Na Tabela 6 é demonstrada a análise bromatológica dos cladódios dos três clones de palma forrageira, onde se percebe que não se verificou diferenças significativas para as diversas variáveis analisadas ($P > 0,01$ e $0,05$). Os valores de teor de matéria seca (MS) da Miúda (8,83%) e proteína bruta (PB, 5,10%) estiveram dentro da faixa citadas na literatura para outros locais situados no Semiárido brasileiro.

Santos et al. (2006a), obtiveram médias de 8,21% e 4,60% para esse clone com dois anos de idade, nas condições edafoclimáticas dos municípios de Caruaru, São Bento do Una e Arcoverde, em Pernambuco.

Tabela 6. Composição bromatológica de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após plantio, nas condições de sequeiro no Semiárido pernambucano

Clones	MS	PB	FDN	FDA	MO	CINZA
IPA	10,57	6,23	22,40	8,30	86,63	13,37
MIU	8,83	5,10	23,43	6,73	90,43	9,57
OEM	11,93	4,20	22,10	6,70	86,33	13,67
Médias	10,44	5,18	22,64	7,24	87,8	12,2
Teste F	0,50ns	2,10ns	0,75ns	0,69ns	5,68ns	5,68ns
C.V. (%)	36,32	23,52	6,16	26,29	1,89	13,61

MS – matéria seca, PB – proteína bruta, FDN – fibra em detergente neutro, FDA – fibra em ácido, MO – matéria orgânica. ns – não significativo ($P > 0,01$ e $0,05$)

Esses autores também verificaram, em vinte clones de palma forrageira, incluindo a Miúda, MS variando entre 5,88% e 8,21% e PB de 4,60 a 8,73%, quando cultivados em espaçamento de 1,0 x 0,5 m, com a aplicação de 20 t ha⁻¹ de esterco bovino.

Por outro lado, em áreas de cultivo de clones de palma forrageira, entre os anos de 1998 e 2000, em três municípios de Pernambuco (Caruaru, Arcoverde e São Bento do Una) e um de Alagoas (Palmeira dos Índios), na mesma idade e sob as mesmas condições de cultivo, Santos et al. (2006b) registraram valores de MS para a Miúda entre 8,58 e 16,54%, com médias de 11,73%, e de 2,67 a 7,31% de PB, com médias de 4,96%, sendo o clone com maior MS e menor de PB, dentre os demais avaliados (Gigante, Redonda, IPA-20, Copena F1 e Copena V1). Os valores de MS e de PB apresentaram uma relação negativa com as médias de temperatura dos locais analisados. Ainda que não tenha se verificado diferenças significativas no presente estudo, a Orelha de Elefante Mexicana foi a que apresentou maior média de MS. Os valores aqui obtidos foram superiores aos citados por Cavalcanti et al. (2008), que registraram valores para MS em torno de 7,5% de cladódios coletados no município de Sertânia, PE. Porém, em termos de proteína bruta (PB), esse clone foi o que obteve menor média (4,20%), sendo superior para a IPA Sertânia. Melo et al. (2003) citam valores de PB em torno de 5,09%, enquanto que Santos et al. (1990) informam valores de 2,5% para a Miúda. Araújo et al. (2004) obtiveram MS e PB de 16,88% e 12,66% para esse mesmo clone.

De modo geral, verificou-se maior MS para o clone da *Opuntia* sp. em detrimento aos valores de PB, quando comparados aos clones do gênero *Nopalea* sp. Entretanto, a

representatividade desses constituintes e suas relações dependem também das condições ambientais de cultivo, adubação, espaçamento e entre outros fatores (SANTOS et al., 2005; DUBEUX JÚNIOR et al., 2006). Os clones de palma forrageira apresentaram baixos valores de fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA) (em média 22,64% e 7,24%, nessa ordem), o que corroboram com informações da literatura, que citam valores de FDN de 30,05% e de FDA de 15,72% para Orelha de Elefante Mexicana, e de 31,80% e 18,24% para o clone Gigante (CAVALCANTI et al., 2008), além de valores de 35,81% e 26,03%, conforme Oliveira et al. (2007). Há registros também de 26,5% de FDN (ANDRADE et al., 2002). Os valores obtidos de matéria orgânica no presente estudo (87,8%, em média) são superiores aos citados por esses autores para clones (82,40% e 80,76%). Para a palma forrageira as cinzas atingiram valores médios de 12,2%.

3.4. Indicadores de eficiência do uso da água dos clones em condição de sequeiro

Os indicadores de eficiência do uso da água, em termos de produtividade da água da cultura (PA_C), produtividade econômica da água (PEA) e eficiência do uso de nutrientes (EUN), usando como referência os valores acumulados de precipitação pluviométrica (P) e de evapotranspiração real (ETr), podem ser vistos nas Tabelas 7 e 8. Em base fresca, a $PA_{C(P)}$ entre os clones se diferenciaram entre si ($P < 0,05$), sendo a Orelha de Elefante Mexicana o clone de maior eficiência no uso de água.

Todavia, quando assumiu o volume de água evapotranspirada pelos clones ($PA_{C(ETr)}$), além da Orelha de Elefante Mexicana, a IPA Sertânia também se apresentou com altos valores de eficiência. Em ambos os casos, a Miúda foi o clone menos eficiente, por causa da menor produtividade alcançada. Resultados de baixa eficiência da Miúda, em ambiente Semiárido, também foram verificados por Leite (2009), independentemente dos níveis de adubação. Por outro lado, quando se considerou a PA_C , em base seca, não houve diferença significativa entre os clones ($P > 0,05$), tanto com os valores de P quanto de ETr. Assim, a PA_C para a palma forrageira durante o período analisado foi de $0,81 \text{ kg MS m}^{-3}$ em termos de P e de $0,91 \text{ kg MS m}^{-3}$ em termos de ETr. Em base fresca, os dados aqui obtidos ($8,68 \text{ kg MS m}^{-3}$ para P e $9,71 \text{ kg MS m}^{-3}$ para ETr, independente do clone) foram, em média, superiores àqueles citados por Silva et al. (2011), para a cana-de-açúcar (espécie C4) irrigada no Semiárido, quando obtiveram $5,36$ e $9,49 \text{ kg m}^{-3}$, considerando os valores de rendimento industrial de colmos e, nessa ordem, os valores de P+I (P, precipitação; e, I, irrigação) e de ETc (evapotranspiração da cultura).

Tabela 7. Produtividade da água da cultura (PA_C) em base seca e fresca, produtividade econômica da água (PEA) com base na água precipitada (Prec.) e evapotranspirada (ETr) e déficit econômica da água (ΔEA) por três clones de palma forrageira (IPA – IPA Sertânia, MIU – Miúda, OEM – Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, cultivados, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano

Ref.	Clone	PA_C (BF)	PA_C (BS)	Preço ^{1*}	Ganho Bruto	PEA	ΔEA
		Kg MV m ⁻³	Kg MS m ⁻³	R\$ unid. ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ m ⁻³	R\$ m ⁻³
	IPA	8,00 b	0,69 a	0,15	57400,0	3,69 a	0,74
Prec.	MIU	7,56 b	0,74 a	0,04	42356,1	2,73 a	0,07
	OEM	10,48 a	1,00 a	0,15	65484,4	4,21 a	0,41
	IPA	10,11 AB	0,88 A	0,15	57400,0	4,43 A	-
ETr	MIU	7,80 B	0,77 A	0,04	42356,1	2,80 A	-
	OEM	11,21 A	1,08 A	0,15	65484,4	4,62 A	-

- Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, usando como referência de cálculo a Prec., e médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical, usando como referência de cálculo a ETr, não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade;

- Ref. = Referência;

* Preço da unidade do cladódio destinado à semente segundo o Instituto Agronômico de Pernambuco.

Com base na ETr, poucos são os dados de PA_C citados na literatura para a palma. HAN & FELKER (1997) encontraram, nas condições semiáridas de kingsville, Texas - USA, para a palma *Opuntia ellisiana* L., com produção de biomassa seca na ordem de 14,3 t ha⁻¹, eficiência do uso de água igual a 393 kg.H₂O kg.MS⁻¹, equivalente a 2,54 Kg MS m⁻³. Por sua vez, no quarto ano produtivo, quando a produção foi de 17,6 t ha⁻¹, a eficiência atingiu 285 kg.H₂O kg.MS⁻¹, equivalente a 3,51 kg MS m⁻³.

Nas condições climáticas de Sicily, Itália, região Mediterrânea, Console et al. (2013) avaliaram a *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.), com plantas de três metros de altura e dez anos de idade, cultivada para fins de produção de fruto, entre junho de 2009 e setembro de 2010, os autores verificaram ETr de 286 mm e 252 mm, assim como, eficiência do uso da água de 4,6 kg m⁻³ e 4,4 kg m⁻³, nos respectivos anos avaliados.

Tabela 8. Eficiência do uso de nutrientes (EUN, g m⁻³ e mg m⁻³) com base na água precipitada (Prec.) e evapotranspirada (ETr) de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), cultivados, resistentes à cochonilha do Carmim, aos dois anos após o plantio, em condições de sequeiro no semiárido pernambucano

Referência	Clone	EUN _(N)	EUN _(P)	EUN _(K)	EUN _(Ca)	EUN _(Mg)	EUN _(S)
g m ⁻³							
Prec.	IPA	7,81 a	0,31 a	13,47 a	18,95 a	6,05 a	0,22 a
	MIU	8,52 a	0,40 a	15,35 a	24,37 a	5,43 a	0,26 a
	OEM	10,00 a	0,56 a	22,93 a	29,45 a	10,37 a	0,28 a
ETr	IPA	9,96 A	0,41 A	17,19 A	24,42 A	7,74 AB	0,28 A
	MIU	8,80 A	0,42 A	15,97 A	25,38 A	5,59 B	0,28 A
	OEM	10,84 A	0,62 A	24,58 A	31,33 A	11,14 A	0,31 A

Referência	Clone	EUN _(B)	EUN _(Cu)	EUN _(Fe)	EUN _(Mn)	EUN _(Zn)	EUN _(Na)
mg m ⁻³							
Prec.	IPA	21,03 a	2,41 a	114,58 a	109,06 a	7,66 a	321,08 b
	MIU	22,58 a	6,72 a	204,47 a	455,41 a	17,46 a	338,36 ab
	OEM	31,54 a	2,32 a	149,31 a	94,46 a	39,29 a	485,43 a
ETr	IPA	27,06 A	3,24 A	148,13 A	137,32 A	9,75 A	411,06 A
	MIU	23,46 A	7,03 A	215,06 A	489,11 A	18,34 A	350,48 A
	OEM	34,11 A	2,42 A	159,84 A	104,33 A	39,91 A	521,15 A

- Médias seguidas pela mesma letra minúscula na vertical, usando como referência de cálculo a Prec., e médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical, usando como referência de cálculo a ETr, não se diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na maior parte da literatura é comum citar os valores de eficiência do uso da palma forrageira com base nos valores de precipitação pluviométrica, sendo denominada eficiência do uso da chuva, equivalente a PA_C com base na precipitação no presente estudo (PA_{C(P)}).

Os valores de eficiência podem variar com base em vários aspectos, dentre eles no espaçamento, adubação, condições climáticas e a depender do clone (DUBEUX JUNIOR et al., 2006; LEITE, 2009). Esse último autor cita valores de PA_{C(P)} variando entre 0,05 e

0,30 kg m⁻³ para a Miúda e de 0,05 a 0,50 kg m⁻³ para a IPA Sertânia ou Alagoana, independentemente do tipo de adubação.

Em termos de produtividade econômica da água (PEA), assumindo preços individuais de cladódios e ganho brutos por área para cada clone (Tabela 7), percebe-se que não houve diferença estatística significativa entre os clones, tanto em termos de P quanto de ETr. Assim, a PEA da palma forrageira para o período de análise foi, em média igual a $3,54 \pm 0,54$ R\$ m⁻³, ou seja, a cultura retorna ao produtor R\$ 3,54 a cada 1 m³ de água que entra no sistema de produção por precipitação. Por sua vez, em termos de evapotranspiração, ou seja, com base na água que foi efetivamente utilizada pela cultura, esse valor foi de $3,95 \pm 0,77$ R\$ m⁻³.

Pereira et al. (2012) mostram relações crescentes da PEA com a lâmina de água aplicada no sistema de produção de plantas C4 e decrescente em sistemas com espécie C3. Não se tem dados para espécies MAC. Com base nos valores de PEA_(P) e PEA_(ETr) ($3,54 \pm 0,54$ R\$ m⁻³ e $3,95 \pm 0,77$ R\$ m⁻³) é possível quantificar outro indicador, denominado nesse estudo de déficit econômico da água ($\Delta PEA = PEA_{(ETr)} - PEA_{(P)}$), que para condições de sequeiro reflete quanto o produtor deixou de ganhar em decorrência da ineficiência do sistema de produção em utilizar o volume de água precipitado. Esse valor foi menor para a Miúda, seguida pela Orelha de Elefante Mexicana, correspondendo a aproximadamente 3% e 9% da PEA_(ETr), respectivamente. A IPA Sertânia se mostrou como sendo o clone em que o produtor pode deixar de obter o maior retorno econômico, em decorrência da ineficiência do sistema de produção.

Para as condições do Semiárido brasileiro, Teixeira et al. (2007) obtiveram valores de PEA_(P+I) e PEA_(ETr), em média, iguais a 0,49 e 0,93 US\$ m⁻³ para a uva de vinho (equivalente a 0,98 e 1,86 R\$ m⁻³, assumindo 1,00 US\$ custando R\$ 2,00); e, de 2,77 e 6,51 US\$ m⁻³ (equivalente a 5,54 e 13,02 R\$ m⁻³) para a uva de mesa. A partir desses valores, obtém-se que os valores de ΔPEA para uva de vinho será de 0,88 R\$ m⁻³, correspondendo a aproximadamente 47%, e de 7,48 R\$ m⁻³, respondendo por 58%, dos seus respectivos valores de PEA_(ETr), indicando ineficiência do sistema de produção.

Com exceção da eficiência do uso do elemento Na, com base na precipitação, para as demais eficiências não foram verificadas diferenças significativas ($P > 0,05$). Não se tem referência na literatura quanto a esse indicador de eficiência (Tabela 8). Com base nos seus valores é possível analisar quanto de nutrientes foram extraídos do solo com base no volume de água precipitado ou que foi efetivamente utilizado pela cultura no processo de evapotranspiração.

A palma Orelha de Elefante Mexicana apresentou maior ($P < 0,05$) eficiência do uso do elemento sódio ($EUN_{(Na)}$), quando comparada à IPA Sertânia, entretanto, a palma miúda não diferiu de nenhuma das duas. Esse resultado também pode ser um indicativo de maior resistência dessa espécie do gênero *Opuntia* sp. em relação as do gênero *Nopalea* sp., logo que o mesmo possui grande importância na atividade estomática de espécies MAC. Em todos os casos, a eficiência em termos de ETr é superior ao de precipitação. Quanto maior a diferença entre suas eficiências menor foi a habilidade da cultura extrair os nutrientes do solo com base na água disponível ou mesmo representa o reflexo das perdas de água no sistema de produção sobre a absorção de nutrientes pelas plantas.

A sequência de grandeza das eficiências do uso de nutrientes segue àqueles da concentração de nutrientes nos cladódios, discutido anteriormente. A diferença entre as eficiências com base em P e ETr, em média, variou entre 5%, para o elemento zinco, e 13% para o elemento enxofre. Os valores médios de EUN da palma forrageira para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S foram iguais a $8,78 \text{ g N m}^{-3}$, $0,42 \text{ g P m}^{-3}$, $17,25 \text{ g K m}^{-3}$, $24,26 \text{ g Ca m}^{-3}$, $7,28 \text{ g Mg m}^{-3}$ e $0,25 \text{ g S m}^{-3}$, com base na precipitação, respectivamente. Por sua vez, em termos de ETr apresentaram médias de $9,87 \text{ g N m}^{-3}$, $0,48 \text{ g P m}^{-3}$, $19,25 \text{ g K m}^{-3}$, $27,04 \text{ g Ca m}^{-3}$, $8,16 \text{ g Mg m}^{-3}$ e $0,29 \text{ g S m}^{-3}$. Para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, nessa ordem, com base na precipitação, as médias de EUN para a palma forrageira foram iguais a $25,05 \text{ mg B m}^{-3}$, $3,82 \text{ mg Cu m}^{-3}$, $156,12 \text{ mg Fe m}^{-3}$, $219,64 \text{ mg Mn m}^{-3}$, $21,47 \text{ mg Zn m}^{-3}$ e $381,62 \text{ mg Na m}^{-3}$. Finalmente, em termos de ETr, suas eficiências foram $28,21 \text{ mg B m}^{-3}$, $4,23 \text{ mg Cu m}^{-3}$, $174,34 \text{ mg Fe m}^{-3}$, $243,59 \text{ mg Mn m}^{-3}$, $22,67 \text{ mg Zn m}^{-3}$ e $427,56 \text{ mg Na m}^{-3}$, nessa mesma ordem.

4 – CONCLUSÕES

A Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia foram aquelas que se destacaram em termos de altura das plantas, enquanto que a Miúda é a que possui o maior número de cladódios. O primeiro também foi o clone mais produtivo e mais eficiente nas condições do semiárido pernambucano e a Miúda demonstrou ser o menos eficiente. No geral, os clones avaliados foram similares quanto as suas características químico-bromatológicas, produtividade econômica da água e eficiência do uso de nutrientes, com exceção da eficiência do uso do elemento magnésio com base na evapotranspiração real, que foi maior para a Orelha de Elefante Mexicana e IPA Sertânia, e do elemento sódio com base na precipitação, que foi superior nos clones Orelha de Elefante Mexicana e Miúda.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco pela concessão da área experimental. À Embrapa Semiárido pela disponibilização do conjunto Diviner@2000 para monitoramento do conteúdo de água no solo, pelas análises físicas do solo e de composição mineral e bromatológicas dos clones de palma forrageira. À Universidade Federal Rural de Pernambuco pela liberação da Infraestrutura realização dessa pesquisa.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, S. G.; SANTOS, D. C. dos. Agronomic Evaluation of *Opuntia* spp. Varieties for Fodder Production in the Semiarid Northeast, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.728, p.183-188, 2006.

ALI, M. H.; HOQUE M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. **Agricultural water management**, v.92, p.151-161, 2007.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56

AMARAL, J. F. T. do; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.4, p.621-629, 2011.

ANDRADE, D. K. B.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, A. S. C. et al. Digestibilidade e absorção aparentes em vacas da raça Holandesa alimentadas com palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.5, p.2088-2097, 2002.

ARAÚJO, P. R. B.; FERREIRA, M. de A, ALBUQUERQUE, L. H. de et al. Substituição do Milho por Palma Forrageira em Dietas Completas para Vacas em Lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1850-1857, 2004.

ARAYA, A.; STROOSNIJDERB, L.; GIRMAY, G.; KEESSTRA, S.D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). **Agricultural Water Management**, n.98, p.775-783, 2011.

AREF, F. Iron, copper and manganese concentration in maize leaf as influenced by soil and foliar application of zinc sulfate and boric acid. **International Journal of Academic Research**, v.3, n.2. p.1080-1087, 2011.

BATISTA, A. M. V.; MUSTAFA, A. F.; SANTOS, G. R. A. et al. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. **Journal Agronomy and Crop Science**, v.189, p.123-126, 2003.

CAVALCANTI, M. C. A.; BATISTA, A. M. V.; GUIM, A.; LIRA, M. A.; RIBEIRO, V. L.; NETO, A. C. R. Consumo e comportamento ingestivo de caprinos e ovinos alimentados com palma gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) e palma orelha-de-elefante (*Opuntia* sp.) **Acta Scientiarum**, v.30, n.2, p.173-179, 2008.

CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Submitted September 18, 2012; January 31, 2013; posted ahead of print February 2, 2013. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589

CORTAZAR, V. G.; ACEVEDO, E.; NOBEL, P. S. Modeling of par interception and productivity by *Opuntia ficus-indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v34, p.145-162, 1985.

CORTAZAR, V. G.; NOBEL, P. S. Prediction and measurement of high annual productivity for *Opuntia ficus-indica*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v: 56, p. 261-272, 1991.

DI PAOLO, E; RINALDI, M. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. **Field Crops Research**, v.105, p.202-210, 2008.

DONATO, P. E. R. **Avaliação bromatológica, morfológica, nutricional e de rendimento em palma forrageira sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino**. 2011. 134p. Tese (Doutorado em Zootecnia). UESB, Itapetinga-BA, 2011.

DUBEUX JR., J. C. B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

FERREIRA, C. A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, D. C. et al. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.6, p.1560-1568, 2003.

FLORES-FLORES, V.; TEKELENBURG, A. Produção de corante dacti (*Dactylopius coccus* Costa). In: INGLESE, G.B.P.; BARRIOS, E.P. (Eds). **Agroecologia cultivo e usos da palma forrageira**. 2.ed. Paraíba: SEBRAE, 2001. p.169-186.

FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.70, p.97-107, 2004.

FRANCO-SALAZAR, V. A.; VÉLIZ, J. A. Respuestas de la tuna [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] al NaCl. **Interciencia**, v: 32, p: 125-130, 2007.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1275-1284, 2009.

GUERRA, M.G.; MAIA, M. de O.; MEDEIROS, H.R. de; LIMA, G.F. da C.; GUIAR, E.M. de; GARCIA, L.R.U.C. Produção de novos genótipos de palma forrageira no Estado do Rio Grande do Norte. In: 42ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2005, Goiânia-GO. **Anais...** CD-ROM, Goiania-GO, 2005.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v.36, p.133-148, 1997.

IGBADUN, H.E., MAHOO, H.F.; TARIMO, ANDREW K.P.R.; BAANDA A. S. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. **Agricultural Water Management**, v. 85, p.141-150, 2006.

INMAN-BAMBER, N. G., SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v.92, p.185-202, 2005.

INMAN-BAMBER, N.G., MCGLINCHEY, M.G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, v.83, p.125–138, 2003.

KNEBEL, J.L.; GUIMARÃES, V.F.; ANDREOTTI, M. et al. Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agrônômicos em soja. **Acta Scientia Agronomica**, v.28, n.3, p.385-392, 2006.

LEITE, M. L. de M. V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005, p.41-277. (Acadêmica; 61)

MARTINS, M.C.; SAMPAIO, J.C.; RIBEIRO, A.G. et al. Épocas de semeadura, densidades de plantas e desempenho vegetativo de cultivares de soja. **Scientia Agricola**, v.56, n.4, p.851- 858, 1999.

MELO, A. A. S. de et al. Substituição parcial do farelo de soja por uréia e palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação: I. Desempenho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.3, p.727-736, 2003.

MIRANDA, K. R. ; SILVA, T. G. F. ; CRUZ NETO, J. F.; QUEIROZ, M. G.; LIRA, M. A. B.; SANTOS, J. E. O. Modelos de estimativa da área do cladódio de variedades de palma no Semiárido pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Palma e outras Cactáceas, 2, 2011, Garanhuns-PE. **Anais...** Garanhuns-PE: UFRPE/UAG.

MOURA, E. G. de.; TEIXEIRA, A. P. R.; RIBEIRO, V. S.; AGUIAR, A. das C. F.; FARIAS, M. F. de. Crescimento e produtividade da cultura do milho (*Zea mays*) submetido a vários intervalos de irrigação, na região da Pré-Amazônia. **Irriga**, v.11, n.2, p.169-177, 2006.

NASCIMENTO, J. P. do. **Caracterização morfológica e estimativa da produção de *Opuntia fícus-indica* Mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no**

semi-árido da Paraíba. 2008. 61 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB, 2008.

NEFZAOU, A.; BEN SALEM, H. **Opuntiae**: a strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the WANA region. *FAO International Cactus Pear Network Newsletter*, 2000. p.2-30.

NOBEL, P. S. *Biologia ambiental*. In: BARBERA, G; INGLESE, P.; PIMIENTA NOBEL, P. S. *Environmental biology*. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA BARRIOS, E. (Eds.). **Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear**. *FAO Plant Production and Protection Paper no. 132*. FAO, Rome. 1995. p.36-48.

NOBEL, P. S.; BOBICH, E. G. **Environmental biology**. In: P. Nobel (ed.) *Cacti: Biology and Uses*. University of California Press, Berkeley, California, 2002. 280 p.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I. IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39-51, 2012.

SALES, A. T. ; ANDRADE, A. P. ; SILVA, D.S. ; VIEIRA, M. L. DE M. et al. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the Semi-Arid in Paraíba State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.811, p.395-400, 2009a.

SALES, A.T.; ANDRADE, A. P.; VIEIRA, M. L. DE M.; SILVA, D. S.; VIANA, B. L.; SANTOS. E.G. Mortality index of forage cactus in the semiarid of Paraíba State - Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 811, p. 401-406, 2009b.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; LIMA, L. E. de. Evaluation of forage cactus pear varieties in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.728, p.173-175, 2006b.

SANTOS, D. C.; LIRA, M. de A.; FARIAS, I.; DIAS, F. M.; SILVA, F. G. da. Assessment of forage cactus pear varieties for semi-arid conditions of Northeast, Brazil. **Acta Horticulturae**, v.728, p.177-181, 2006a.

SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. DE A.; FARIAS, I.; BURITY, H. A.; NASCIMENTO, M. M. A.; SANTOS, D. C.; TAVARES FILHO, J. J. Estudo comparativo das cultivares de palma forrageira “Gigante”, “Redonda” (*Opuntia ficus-indica* Mill) e “Miúda” (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dick) na produção de leite. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.6, p.504-511, 1990.

SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: Menezes, R. S. C.; Simões, D. A.; Sampaio, E V. S. B. (Eds.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 143-162.

SANTOS, M.V.F. **Composição química, armazenamento e avaliação da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) na produção de leite, em Pernambuco**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989. 124p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.

SENTEK. **Diviner 2000**: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2000.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análises de alimentos** (métodos químicos e biológicos). 3.ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 235p.

SILVA, J. A. da; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. B.; ROSA, R. C. C.; DONATO, P. E. R. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.866-875, 2012.

SILVA, N. G. M.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L.; SILVA, M. C. Relação de características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2389-2397, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in Sao Francisco River basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 94, p.31-42, 2007.

TELES, M. M.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L. C.; BEZERRA NETO, E. C.; FARIAS, I. Efeito da adubação e do uso de nematicida na composição química da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33 n.6, p.1992-1998, 2004.

APÊNDICE

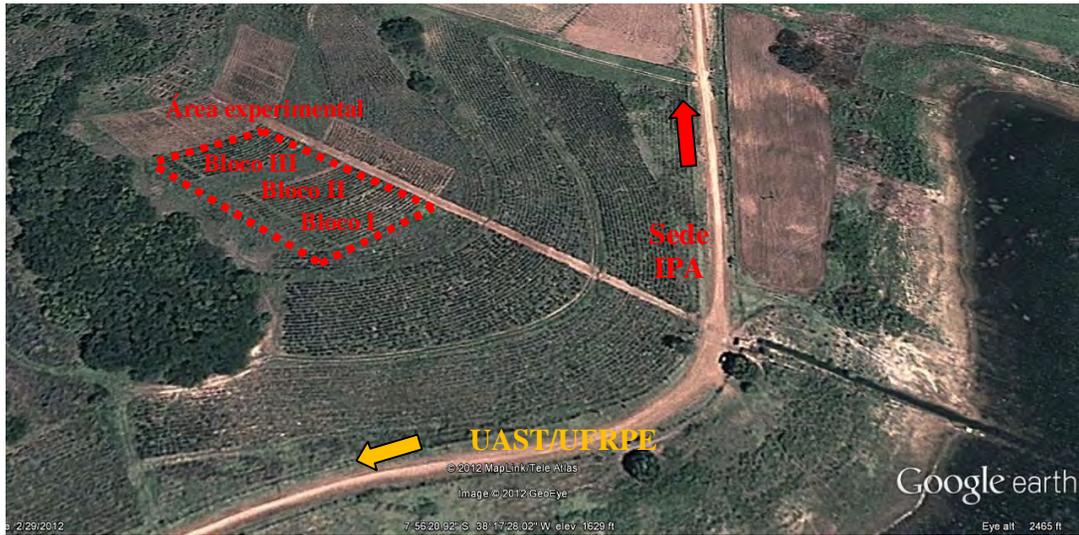


Figura 1A. Localização da área cultivada com clones de palma forrageira na Estação Experimental de Serra Talhada, Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, Semiárido pernambucano

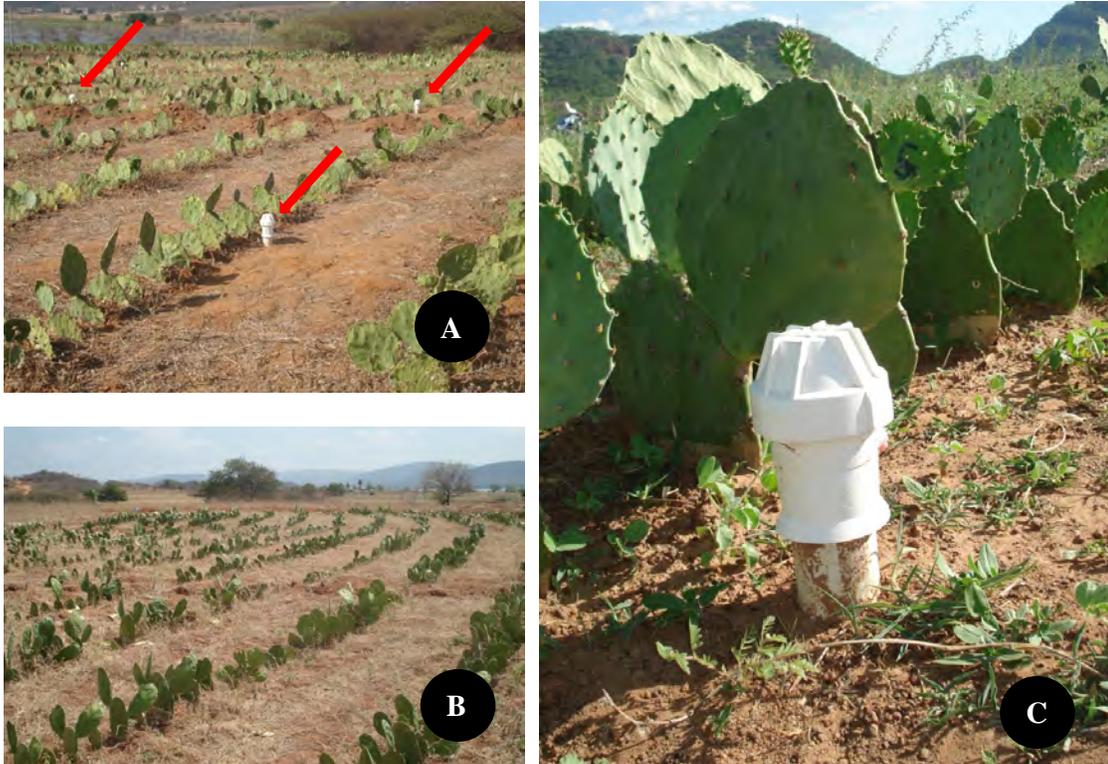


Figura 2A. (A) Distribuição de tubos de acesso, (B) clones de palma forrageira durante o ciclo produtivo em condições de sequeiro e (C) tubo de acesso para monitoramento do conteúdo de água no solo durante o ciclo produtivo de clones de palma forrageira no Semiárido pernambucano

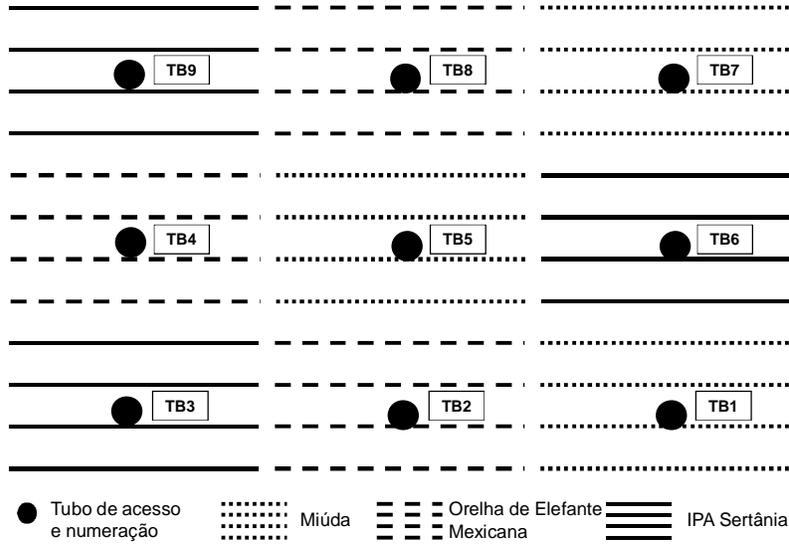


Figura 3A. Distribuição das parcelas experimentais cultivadas com clones de palma forrageira em Serra Talhada, Semiárido Pernambucano

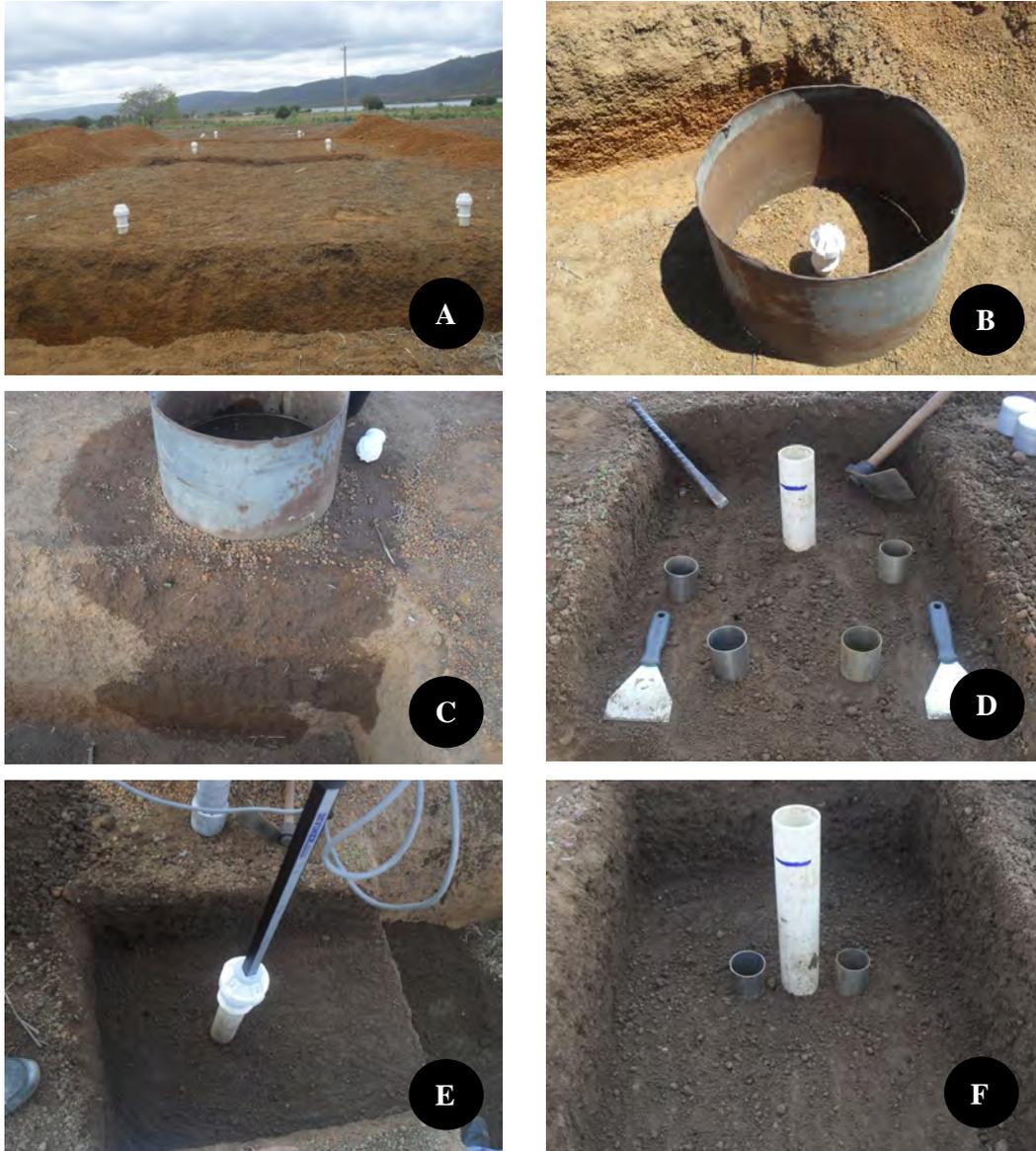


Figura 4A. (A) Trincheiras, (B) Anel de infiltração, (C) Frente de umedecimento do perfil do solo, (D) Ferramentas utilizadas, (E) Sonda capacitiva e (F) Amostragem da camada do solo para calibração da sonda capacitiva Diviner@2000 no solo da área experimental situada em Serra Talhada no Semiárido Pernambucano

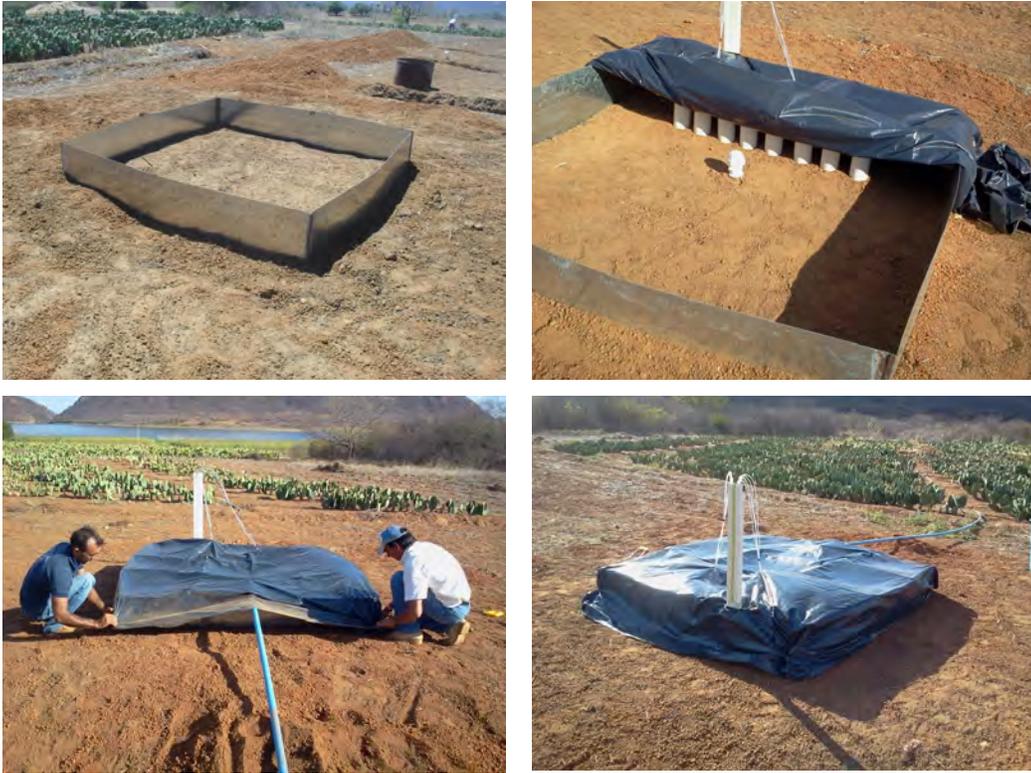


Figura 5A. Aplicação do método do perfil instantâneo no solo da área experimental situada em Serra Talhada, Pernambuco, no Semiárido Pernambucano