

JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EFETIVA E INDICADORES  
AGROMETEOROLÓGICOS E ECONÔMICOS EM CULTIVO DE PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA

Serra Talhada-PE

2016

JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EFETIVA E INDICADORES  
AGROMETEOROLÓGICOS E ECONÔMICOS EM CULTIVO DE PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA

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.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Thieres George Freire da Sila

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

Serra Talhada-PE

2016

Com base no disposto na Lei Federal Nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. [...] Autorizo para fins acadêmicos e científico a UFRPE/UAST, a divulgação e reprodução TOTAL, desta dissertação “Evapotranspiração real efetiva e indicadores agrometeorológicos e econômicos em cultivo de palma forrageira irrigada”, sem ressarcimento dos direitos autorais, da obra, a partir da data abaixo indicada ou até que manifestação em sentido contrário de minha parte determine a cessação desta autorização.

José Edson Florentino de Morais

Assinatura

18/02/2016

Data

#### FICHA CATALOGRÁFICA

M827e Morais, José Edson Florentino de

Evapotranspiração real efetiva e indicadores agrometeorológicos e econômicos em cultivo de palma forrageira irrigada / José Edson Florentino de Morais. – Serra Talhada : O autor, 2016. 81 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Coorientadores: Sérgio Zolnier e José Nunes Filho

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2016.

Inclui referências e apêndice.

1. Evapotranspiração. 2. Palma forrageira. 3. Irrigação - aspectos econômicos. 4. Água do solo I. Silva, Thieres George Freire da, orientador. II. Zolnier, Sérgio. de, coorientador. III. Silva, Sérvulo Mercier Siqueira, coorientador. III. Título.

CDD 631

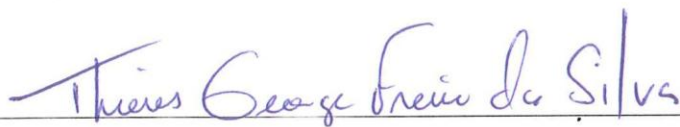
JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EFETIVA E INDICADORES  
AGROMETEOROLÓGICOS E ECONÔMICOS EM CULTIVO DE PALMA  
FORRAGEIRA IRRIGADA

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 em 18 / 02 / 2016.

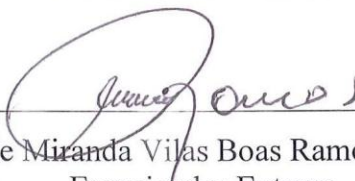
Banca Examinadora



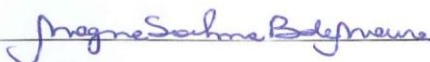
Prof<sup>o</sup>. Dr. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE  
Orientador



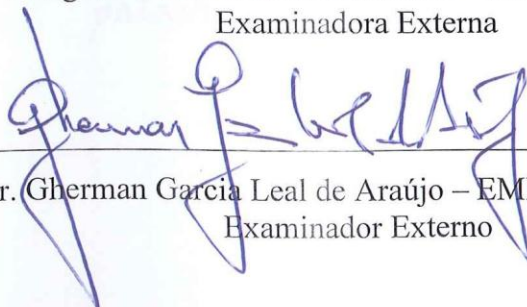
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Sandra Bastos de Souza – UAST/UFRPE  
Examinadora Externa



Prof<sup>o</sup>. Dr. Mario de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão – UNIVASF  
Examinador Externo



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Magna Soelma Beserra de Moura – EMBRAPA SEMIÁRIDO  
Examinadora Externa



Prof<sup>o</sup>. Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo – EMBRAPA SEMIÁRIDO  
Examinador Externo

*As minhas irmãs,  
Elizabeth, Ivani e Suziene,  
aos meus irmãos,  
Enoque, Edilson, Iranildo e Ivan,  
pelo incentivo, carinho e pelo apoio  
nas dificuldades e conquistas ao longo da vida...*

*A minha noiva,  
Fabiana pelo amor, apoio,  
compreensão e por compartilhar de todas  
as nossas conquistas. Faço das suas, as minhas  
palavras: "Meu passarinho voe o mais alto que você  
puder"...*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, o Grande Arquiteto do Universo, pelo dom da vida e por estar comigo em todas as horas iluminando meus passos rumo as minhas conquistas. “O Senhor é a minha rocha, a minha fortaleza e o meu libertador; o meu Deus é o meu rochedo, em quem me refugio. Ele é o meu escudo e o poder que me salva, a minha torre alta” (Salmos 18:2).

Aos meus queridos e amados pais, Zacarias Florentino de Moraes e Marina Cipriano de Moraes, pelo amor incondicional, por me apoiarem em minhas decisões, e, principalmente, por todo esforço que fizeram para me oferecer o presente mais sublime: à educação.

Minha vozinha, Izaura (*in memoriam*), que me ensinou a beleza das palavras quando ainda não sabia ler com muitas de suas lembranças e belas histórias, que Deus lhe conceda paz de espírito. Meus padrinhos, Edivaldo e Socorro pelos conselhos e por ajudarem a meus pais no meu preparo para o mundo. Aos demais familiares pelo apoio nas dificuldades, por proporcionarem tantos momentos de felicidade. Sem dúvidas, são vocês que alimentam minha vontade para superar os desafios e consolidam o alicerce de minha vida.

Ao Professor Thieres George Freire da Silva, pelo apoio, pela orientação, pelas oportunidades, pela amizade construída nesses seis anos, pelos conselhos pessoais e profissionais, por acreditar em mim, na minha competência e responsabilidade, e que com suas palavras me fez enxergar mais longe e alçar voos cada vez mais altos. Sem dúvidas, um profissional admirável que terei sempre o enorme orgulho por ter sido seu orientado e tê-lo como exemplo a ser seguido. Carregarei sempre os seus ensinamentos.

À minha noiva, Fabiana Vieira, agradeço pelo apoio, carinho, amor e cumplicidade. Por estar compartilhando todos os momentos dessa etapa, pela maturidade em entender que a construção de um sonho exige dedicação constante. Faço das suas, as minhas palavras: “meu passarinho, alcance voos cada vez mais altos”.

Ao GAS – Grupo de Agrometeorologia no Semiárido/NEPPAF – Núcleo de Estudo e Pesquisa em Palma Forrageira, a todos que fazem e fizeram parte; sem dúvidas vocês foram indispensáveis para conclusão deste trabalho. Agradeço cada momento compartilhado, risos, conversas, conselhos, “faras”, amizades e respeito. Desejo-lhes um caminho iluminado com muita paz e sucesso.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada pela infraestrutura oferecida e aos técnicos pelo apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PGPV) pela oportunidade de crescimento profissional. A todos os professores do PGPV que contribuíram com seu conhecimento ao longo destes dois anos, de modo especial ao coordenador e amigo Adriano Simões pela prestatividade e conselhos.

Aos meus colegas e amigos de turma (Egon Bastos, Adao Pereira, Wellington Jairo, Hamurabi Lins, Juliana Alves, Karlos Henrique, Hermógenes Cavalcante, José Ricardo, José Cláudio) pelos momentos de alegria e trabalho vividos.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), pela infraestrutura cedida para realização de nossas pesquisas.

À Embrapa Semiárido pela disponibilização do conjunto Diviner@2000 para monitoramento do conteúdo de água no solo e pelas análises físicas e químicas do solo.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro.

Enfim, a todos meu muito obrigado!

*“Sinto-me como se fosse uma  
criança brincando na praia...  
Ora descobrindo um pedregulho  
polido... Ora descobrindo uma  
linda concha... Enquanto a nossa  
frente jaz, inexplorado, um  
oceano de conhecimentos” ...*

*Isaac Newton*



## **BIOGRAFIA**

**JOSÉ EDSON FLORENTINO DE MORAIS** - filho de Zacarias Florentino de Moraes e Marina Cipriano de Moraes, nasceu em Princesa Isabel, em 02 de fevereiro de 1989. cursou o Ensino Médio na Escola Deputado Nominando Muniz Diniz, na cidade de São José de Princesa - PB, concluindo em 2008. Em março de 2009, ingressou no Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, na cidade Serra Talhada - PE. Graduou-se Engenheiro Agrônomo em fevereiro de 2014. Em março de 2014 iniciou a Pós-Graduação no Curso de Mestrado em Produção Vegetal pela Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada - PE, concluindo em fevereiro de 2016.

## RESUMO GERAL

MORAIS, José Edson Florentino de. Evapotranspiração real efetiva e indicadores agrometeorológicos e econômicos em cultivo de palma forrageira irrigada. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE – UAST), Serra Talhada – PE.

A adoção do uso irrigação complementar na produção de palma, depende do adequado manejo hídrico, o qual deve ter como base informações da demanda de água da cultura e viabilidade econômica do sistema. Assim, objetivou-se avaliar a evapotranspiração real efetiva, produtividade e viabilidade econômica do uso de irrigação complementar, utilizando-se água salina em sistema de produção de clones de palma forrageira no Semiárido brasileiro. O estudo foi realizado no município de Serra Talhada, PE (2012-2013), com clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (*Opuntia*), IPA Sertânia (IPA) e Miúda (MIU) (*Nopalea*) submetidas a três lâminas de irrigação (2,5; 5,0 e 7,5 mm) e três frequências de reposição (7; 14 e 28 dias) + sequeiro, em blocos ao acaso, em arranjo de parcelas sub-subdivididas com três repetições. O crescimento da palma foi monitorado mensalmente, e a produtividade e o índice de infestação da cochonilha de escama no final do ciclo (18 meses). A demanda de água foi obtida por resíduo do balanço de água no solo ( $ET_{RBAS}$ ), com adição da estimativa da água retida pela planta (ARP), visando à estimativa da evapotranspiração real efetiva ( $ET_{REF}$ ). Com dados de rendimento e lâmina aplicada obteve-se a eficiência do uso da água (EUA) e produtividade econômica (PEA). A análise econômica (AE) foi obtida através da receita líquida (RL) e da relação benefício/custo (B/C) da palma destinada à venda como “forragem” ou “semente”. A partir dos dados produtivos (18 meses), estes foram extrapolados para período de 24 meses para simulação da AE para os Cenários 1 (1º corte), 2 (2º corte), 3 (3º corte) e 4 (4º corte), em função da vida útil do sistema de irrigação (8 anos). Houve efeito das lâminas e frequências sobre a  $ET_{RBAS}$  (661,0 mm) e  $ET_{REF}$  ( $ET_{RBAS}$  - ARP) (633,3 mm); da lâmina e do clone sobre a ARP (27,8 mm planta<sup>-1</sup>); e do clone na drenagem profunda (18,8 mm). A razão  $ET_{REF}/ET_0$  variou de 0,27 (7,5 mm) a 0,29 (7dias). Em relação a EUA, houve diferença significativa entre os clones, sendo a OEM (13,0 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Já a  $PEA_{Forragem}$ , considerando um valor de R\$ 100 ton<sup>-1</sup>, não foi verificada diferenças significativas e apresentou valor médio de R\$ 13,0 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. No entanto, na  $PEA_{Semente}$  o clone MIU apresentou o maior valor médio bruto (R\$ 122,1 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Não houve efeito ( $p>0,05$ ) das lâminas e/ou frequências de irrigação adotadas, no entanto, entre os clones, a OEM apresentou maiores produtividades de matéria verde e seca ( $p<0,05$ ), com média de  $85\pm 17,91$  e  $6,56\pm 1,11$  ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em termos econômicos, o custo total médio de produção de palma forrageira irrigada foi de R\$ 7.911,42 ha<sup>-1</sup>. O clone OEM ( $p<0,05$ ), apresentou receita líquida (RL) de R\$ 607,80 e a relação benefício custo (B/C) 0,08, quando destinada à venda como forragem, indicando a não viabilidade para 18 meses. Por outro lado, a MIU apresentou os maiores valores de RL e B/C ( $p<0,05$ ), com média de R\$ 58.610,57 e 7,41, respectivamente. Em relação aos cenários a RL e B/C com a venda destinada a forragem variou de R\$ 2.453,91 a 12.478,45 e 0,27 a 9,30 (OEM), e a venda como semente R\$ 79.790,90 a 87.361,49 e 8,96 a 65,45 (MIU), respectivamente. Assim, conclui-se que a rentabilidade econômica da palma irrigada aumenta a depender da destinação do rendimento, a partir do segundo corte há viabilidade do uso de irrigação no cultivo de palma para todas as condições estudadas e a demanda de água da palma obtida pelo balanço de água no solo deve vir acompanhada da estimativa da água retida pela planta de modo a não superestimar a ET.

**Palavras-chave:** demanda de água da cultura, eficiência no uso da água, produtividade econômica da água, rendimento, análise econômica.

## GENERAL ABSTRACT

MORAIS, José Edson Florentino de. Evapotranspiration real effective and indicators agrometeorológicos and economic in cultivation of irrigated forage palm. 2016. 68 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE – UAST), Serra Talhada – PE.

The adoption of irrigation complementary use in the production of palm depends on proper water management, which should be based on information from the water demand of culture and economic viability of the system. The objective was to evaluate the actual evapotranspiration, economic productivity and viability of the use of complementary irrigation using saline water in cactus pear clones production system in the Brazilian semiarid region. The study was conducted in Serra Talhada, PE (2012-2013), with cactus pear clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (*Opuntia*), IPA Sertânia (IPA) and Miúda (MIU) (*Nopalea*) submitted to three blades irrigation (2.5, 5.0 and 7.5 mm) and three spare frequencies (7, 14 and 28 days) + dryland, in blocks, in arrangement of sub-split plot with three replications. The growth of the palm was monitored monthly, and productivity and scale of mealybug infestation rate at the end of the cycle (18 months). The demand for water was obtained by waste water balance in the soil ( $ET_{RBAS}$ ), with the addition of estimated water retained by the plant (ARP) in order to estimate the actual evapotranspiration ( $ET_{REF}$ ). With data throughput and depth applied obtained the efficiency of water use (EUA) and economic productivity (PEA). Economic analysis (EA) was obtained by net revenue (RL) and the benefit/cost ratio (B/C) Palm intended for sale as "fodder" or "seed." From the production data (18 months), these were extrapolated to 24 months for simulation AE for Scenarios 1 (1° cut), 2 (2° cut), 3 (3° cut) and 4 (4° shape), depending on the lifetime of the irrigation system (8 years). There was an effect of the blades and frequencies on  $ET_{RBAS}$  (661.0 mm) and  $ET_{REF}$  ( $ET_{RBAS}$  - ARP) (633.3 mm); the blade and the clone on the ARP (27.8 mm plant<sup>-1</sup>); and clone the deep drainage (18,8 mm). The reason  $ET_{REF}/ET_o$  ranged from 0.27 (7.5 mm) to 0.29 (7 days). Regarding the USA, there was a significant difference entres the clones, and the OEM (13.0 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).  $PEA_{FORAGE}$  already considering a value of R \$ 100 ton<sup>-1</sup>, was not observed significant differences and averaged R\$ 13.0 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. However, in  $PEA_{SEMENTE}$  clone MIU had the highest average gross value (R\$ 122.1 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). There was no effect ( $p > 0.05$ ) of the blades and/or irrigation frequency adopted, however, among the clones, the OEM showed higher yields of green and dry matter ( $p < 0.05$ ), with a mean of  $85 \pm 17.91$  and  $6.56 \pm 1.11$  ton ha<sup>-1</sup>, respectively. In economic terms, the average total cost of irrigated forage palm production was R\$ 7,911.42 ha<sup>-1</sup>. OEM clone ( $p < 0.05$ ), reported net revenue (RL) of R\$ 607.80 and the benefit cost (B/C) 0.08, when intended for sale as fodder, indicating the non-viability to 18 months. On the other hand, the MIU showed the highest RL values and B/C ( $p < 0.05$ ), with an average of R\$ 58,610.57 and 7.41, respectively. Regarding the scenarios RL and B/C with the sale for fodder ranged from R\$ 2,453.91 to 12,478.45 and 0.27 to 9.30 (OEM), and sale as seed R\$ 79,790.90 to 87361.49 and from 8.96 to 65.45 (MIU), respectively. Thus, it is concluded that the economic profitability of irrigated palm increases depending on the allocation of income from the second cut there viability of irrigation use in palm cultivation for all studied conditions and the palm of water demand obtained by the balance soil water must be accompanied by the estimation of the water retained in order not to overestimate the ET plant.

**Keywords:** culture water demand, water use efficiency, water economic productivity, yield, economic analysis

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....		18
<b>Figura 1</b>	Clones de palma forrageira (A) Orelha de Elefante Mexicana, (B) Miúda e (C) IPA Sertânia.....	23
<b>Figura 2</b>	Etapas da obtenção da biomassa verde e seca (A) Área útil (duas fileiras centrais) (B) Corte dos cladódios e (C) Pesagem (D) Sacos com cladódios em estufa de ventilação forçada.....	27
<b>Figura 3</b>	Medidas biométricas na cultura da palma forrageira (A) Largura da planta (B) Comprimento do cladódio e (C) Largura do cladódio.....	28
<b>Figura 4</b>	Dados meteorológicos ao longo do ciclo produtivo de clones de palma forrageira irrigada no município de Serra Talhada – PE.....	31
<b>Figura 5</b>	Razão ETr/ETo (ETr = evapotranspiração real da cultura e ETo = evapotranspiração de referência) acumulada no ciclo da palma forrageira, clones IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.....	38
<b>Figura 6</b>	Eficiência no uso da água (Kg ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) de clones palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.....	39
<b>Figura 7</b>	Produtividade econômica da água (R\$ ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) de clones palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) com rendimento destinado à venda como forragem para alimentação animal, submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.....	41
<b>Figura 8</b>	Produtividade econômica da água (R\$ ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> ) de clones palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) com rendimento destinado à venda como semente para plantio, submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.....	42

<b>Figura 1</b>	Rendimento de massa fresca (A) e seca (B) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	61
<b>Figura 2</b>	Número total de cladódios de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	62
<b>Figura 3</b>	Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos fixos em cultivo exclusivo de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	63
<b>Figura 4</b>	Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos variáveis em cultivo exclusivo de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	64
<b>Figura 5</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	65
<b>Figura 6</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	66
<b>Figura 7</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 1 (1º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	68
<b>Figura 8</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 1 (1º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	69
<b>Figura 9</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 2 (2º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea</i>	

	<i>cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	70
<b>Figura 10</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 2 (2° corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	71
<b>Figura 11</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 3 (3° corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	73
<b>Figura 12</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 3 (3° corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	74
<b>Figura 13</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 4 (4° corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	75
<b>Figura 14</b>	Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 4 (4° corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	18
<b>Tabela 1</b> Características de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada - PE.....	24
<b>Tabela 2</b> Atributos químicos do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira em Serra Talhada - PE.....	24
<b>Tabela 3</b> Valores médios acumulados de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), evapotranspiração real da cultura ( $ET_{R_{BAS}}$ ), água retida pela planta (ARP) e evapotranspiração real efetiva da cultura ( $ET_{R_{EF}}$ ) de um solo cultivado com palma forrageira.....	32
<b>Tabela 4</b> Valores médios acumulados (interação lâmina x frequência) de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), evapotranspiração real da cultura ( $ET_{R_{BAS}}$ ), água retida pela planta (ARP) e evapotranspiração real efetiva da cultura ( $ET_{R_{EF}}$ ) de um solo cultivado com palma forrageira.....	34
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	50
<b>Tabela 1</b> Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> ) dos equipamentos de irrigação e de implantação do sistema de cultivo exclusivo dos clones de palma forrageira, IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ), Miúda ( <i>Nopalea cochenillífera</i> ) e Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) sob diferentes lâminas e frequências de irrigação complementar em Serra Talhada - PE, Semiárido brasileiro.....	63

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 1 – AGROECOSSISTEMA DA CACTÁCEA PALMA FORRAGEIRA: MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EFETIVA E EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DA PALMA FORRAGEIRA.....</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPÍTULO 2 – BENEFÍCIOS PRODUTIVO-ECONÔMICOS DO USO DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA EXCLUSIVO.....</b>	<b>50</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>52</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>78</b>



## APRESENTAÇÃO

O Semiárido do Nordeste brasileiro é caracterizado pela heterogeneidade das suas condições naturais como: solo, topografia, vegetação, características socioeconômicas e clima, o qual é a variável mais marcante desta região, sobretudo o regime pluviométrico, que delimita duas estações bem distintas: uma identificada como curta estação chuvosa, que se concentra de três a cinco meses, e a outra, uma longa estação seca, que tem duração de sete a nove meses, acarretando um balanço hídrico negativo na maioria dos meses do ano e um elevado índice de aridez.

As peculiaridades das condições edafoclimáticas fazem com que a pecuária e a produção de alimentos tenham se constituído, ao longo dos anos, as principais atividades básicas das populações rurais distribuídas na região. A pecuária segue o modelo misto de exploração (bovinos, caprinos e ovinos), com um regime de criação extensivo, constituindo a vegetação da caatinga como fonte, fundamental, de alimento para os rebanhos, uma vez que as lavouras são consideradas apenas um subcomponente dos sistemas de produção.

Essa atividade, no entanto, é frequentemente prejudicada pelas constantes secas e irregularidade das chuvas, aliadas a disponibilidade hídrica insuficiente e à baixa qualidade da forragem, principalmente no período seco. No período de estiagem, a carência dessas forragens faz com que os produtores, para a alimentação do seu rebanho, passem a depender de volumosos conservados (fenos e silagens) de plantas forrageiras. Esse cenário causa na maioria das vezes sérios prejuízos econômicos aos pecuaristas, forçados a comercializar o rebanho a preços baixos, devido à falta de alimentos.

Por esse motivo, a palma forrageira torna-se uma excelente opção para a região, devido suas características de tolerância as estiagens prolongadas, pois é utilizada como reserva de forragem, podendo suprir juntamente, com concentrados (farelo de soja, farelo de milho, entre outros), a demanda de alimentos no período de estiagem, evitando perdas econômicas na atividade. Essa forrageira ainda é capaz de suprir de forma significativa, o consumo de água pelos animais, devido o grande conteúdo de água em seus tecidos, que pode chegar a 95%.

Devido ao seu mecanismo de fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico (Metabolismo Ácido das Crassuláceas - CAM), a palma forrageira apresenta elevada eficiência no uso da água, mesmo em condições de deficiência hídrica. Portanto, em locais que na maior parte do ano, as condições de temperatura e de radiação solar são favoráveis para a produção agrícola, o uso

da irrigação torna-se uma técnica eficiente e capaz de aumentar de forma expressiva a produtividade da palma, por contribuir para o aumento de umidade nos cladódios da planta. Com relação à qualidade da água a ser utilizada, merece destaque o fato da palma forrageira apresentar tolerância ao cultivo com água de baixa a média salinidade, sem apresentar quedas expressivas de rendimento. Dessa forma, é possível no cultivo da palma forrageira o aproveitamento de água de baixa e média salinidade, muitas vezes impróprias para outras culturas de importância agrícola.

Assim, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas, constitui-se em um aspecto fundamental para a agricultura irrigada. Todavia, para um manejo adequado é importante conhecer o teor de água existente no solo, para aplicar-se a quantidade de água necessária a cada cultura, no tempo correto.

Nas regiões produtoras tradicionais do Nordeste, onde a prática da irrigação é feita de forma suplementar, a viabilidade econômica dessa prática é pouco discutida e carente de estudos. Assim, estudos sobre escolha de sistemas mais eficientes podem fornecer subsídios para o planejamento e tomada de decisão na atividade agropecuária. Sob tal prática, a expansão de áreas plantadas e a produção anual de forragem podem ser bastante incrementadas, de modo a auxiliar o planejamento agropecuário em curto e médio prazo de tempo. A partir disso, o setor pecuário poderá estar mais preparado para enfrentar adversidades climáticas, semelhantes a que a região Semiárida enfrentou no biênio 2012/2013, em decorrência das estiagens prolongadas que se repetem com frequência.

## **CAPÍTULO 1 - AGROECOSSISTEMA DA CACTÁCEA PALMA FORRAGEIRA: MODELAGEM DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EFETIVA E EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DA PALMA FORRAGEIRA**

### **RESUMO**

Objetivou-se determinar a demanda hídrica e os indicadores de eficiência do uso da água de clones de palma forrageira submetidos à irrigação complementar no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, em Serra Talhada, PE, com os clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*), IPA Sertânia e Miúda (*Nopalea*), submetidas às lâminas de irrigação (2,5 mm; 5,0 mm e 7,5 mm), em três frequências de reposição (7 dias; 14 dias e 28 dias), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em parcelas sub-subdivididas. Foram coletados dados de produtividade da cultura na ocasião da colheita. A partir dos dados de lâmina e rendimento foram calculados os indicadores de eficiência do uso de água (EUA) e produtividade econômica da água (PEA), com base na evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>). A ET<sub>r</sub> foi quantificada por meio do balanço de água no solo (BAS), adotando-se de forma adicional a estimativa da água retida pela planta (ARP) obtida por meio de regressões, desconsiderada no método do BAS. Houve efeito das lâminas e frequências para ET<sub>rBAS</sub> (661,0 mm) e ET<sub>rEF</sub> (ET<sub>rBAS</sub> - ARP) (633,3mm); e das lâminas e clones para ARP (27,8 mm planta<sup>-1</sup>); e dos clones para drenagem profunda (-18,8 mm). A razão ET<sub>rEF</sub>/ET<sub>o</sub> variou de 0,27 (7,5 mm) a 0,29 (7dias). Em relação a EUA, houve diferença significativa entres os clones, sendo para a OEM igual a 13,0 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Já a PEA com a palma destinada a forragem, com valor de 100 R\$ ton<sup>-1</sup>, não foi verificada diferenças significativas (R\$ 13,0 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). No entanto, na PEA com a palma destinada a semente o clone MIU foi o que apresentou o maior valor médio bruto (R\$ 122,1 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Conclui-se que o BAS deve ser acompanhado da ARP, evitando superestimativas da ET da palma. A venda dos cladódios destinados à “semente” proporcionou maior PEA em sistema de cultivo de palma forrageira irrigada no Semiárido.

**Palavras-chave:** Cactáceas, irrigação suplementar, balanço de água no solo, demanda atmosférica

# CAPÍTULO 1 – AGRO-ECOSYSTEM OF FORAGE PALM CACTÁCEA: ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION EFFECTIVE MODELING AND CONVERSION EFFICIENCY OF FORAGE PALM

## ABSTRACT

The objective was to determine the water demand and efficiency indicators of the use of cactus pear clones water submitted the supplementary drip irrigation in the Brazilian semiarid region. The experiment was conducted at the Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, Sierra Talhada, PE, with clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*), IPA Sertânia e Miúda (*Nopalea*), subject to the irrigation levels (2.5 mm; 5.0 mm and 7.5 mm) in three spare frequencies (7 days; 14 days and 28 days), arranged in design in randomized blocks, with three replications in sub-split plot. They were collected crop yield data at harvest time. From the blade and yield data were calculated water use efficiency indicators (EUA) and economic productivity of water (PEA), based on the actual crop evapotranspiration (ET<sub>r</sub>). ET<sub>r</sub> was quantified through the water balance in the soil (BAS), adopting the form of an estimated additional water retained by the plant (ARP) obtained by regressions disregarded in the BAS method. There was an effect of the blades and frequencies for ET<sub>r</sub>BAS (661,0 mm) and ET<sub>r</sub>EF (ET<sub>r</sub>BAS - ARP) (633,3 mm); blade and clone to ARP (27.7 mm plant<sup>-1</sup>); and clone to deep drainage (18.8 mm). The reason ET<sub>r</sub>EF/ET<sub>o</sub> ranged from 0.27 (7.5 mm) to 0.29 (7 days). Regarding the EUA, there was a significant difference entre clones, and the OEM (13.0 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Since the EAP palm intended for fodder, with a value of 100 R\$ ton<sup>-1</sup> did not reveal significant differences (R\$ 13.0 mm<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), however, in the PEA intended palm seed clone MIU was the one that had the highest gross average (R\$ 122.1 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Thus, the BAS should be accompanied by the ARP, avoiding palm ET overestimates. The sale of cladodes intended to "seed" provided greater PEA in irrigated forage palm cultivation system in semiarid.

**Keywords:** Cacti, supplemental irrigation, water balance in the soil, atmospheric demand

## 1 - INTRODUÇÃO

A pecuária é uma das principais atividades desenvolvidas no Nordeste do Brasil, cerca de 90% das propriedades têm criação de bovinos, ovinos e caprinos, que em geral, são criados extensivamente, tendo a vegetação nativa de caatinga como fonte primária de alimento (OLIVEIRA et al., 2010). No Brasil, a faixa territorial considerada como semiárida, abrange uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, representando 11,39% do território brasileiro e 60% da região Nordeste (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005). Nesta região encontra-se a maior parte do Semiárido brasileiro, que possui como características um alto índice de evaporação anual, superior a 2000 mm e média anual de chuvas inferior a 600 mm, concentrados em uma única estação de 3 a 5 meses. No período das chuvas, a oferta de forragem é quantitativa e qualitativamente satisfatória, porém, na época seca, que representa a maior parte do ano, a oferta irregular de forragem causa um grande prejuízo a este segmento da economia (LIMA et al., 2004; LIMA et al., 2011; NASCIMENTO, 2008).

Sob essas condições de clima, solo e água o cultivo da palma forrageira se destaca. Essa cultura possui metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), além de características morfológicas de adaptação, que proporcionam maior eficiência no uso de água em condições de déficit hídrico elevado. Aliada aos atributos de resistência as estiagens prolongadas, apresenta alta aceitabilidade e digestibilidade, fornece energia e água suficiente para a manutenção dos rebanhos durante os períodos de secas (DUBEUX JÚNIOR & SANTOS, 2005; OLIVEIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011). Exemplo disso são as espécies de *Opuntia stricta* e *Nopalea cochenillífera*, que possuem características para suportar as adversidades climáticas e as especificidades físico-químicas do ambiente Semiárido (MAIA NETO, 2000; NASCIMENTO et al., 2011).

Apesar de sua adaptação, estudos tem mostrado que o uso de irrigação no sistema de produção da palma forrageira é uma ótima opção para incrementar o rendimento anual da cultura, pois promove melhorias em características relacionadas à sua produtividade como crescimento da planta, número de cladódios e índice de área do cladódio (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; LIMA, 2006; LEITE, 2009; QUEIROZ, 2014; SILVA et al., 2014; LIMA, 2015).

O uso da irrigação tem contribuído, expressivamente, para o aumento da produtividade agrícola e incorporação de áreas cujo potencial para exploração da agricultura é limitado, em razão de seus regimes pluviais (SANTANA et al., 2006). Por outro lado, a irrigação tem

causado alguns problemas ao meio ambiente, resultantes do uso inadequado da água salina. A salinidade pode provocar alterações nas propriedades físico-químicas do solo, como a redução do potencial osmótico da solução do solo, diminuindo assim sua disponibilidade e acentuando a toxicidade de certos íons às plantas (RHOADES et al., 1992, BERNARDO, 1996). Os sais são transportados pelas águas de irrigação e depositados no solo, onde se acumulam à medida que a água se evapora ou é consumida pelas culturas (LIMA, 1998). Esse efeito é mais acentuado em regiões que apresentam elevado índice de aridez.

No Semiárido nordestino, o potencial de áreas irrigáveis com recursos hídricos locais, aí incluídas as terras do Vale do São Francisco inseridas no Polígono das Secas, é de cerca de 35.000 km<sup>2</sup>, ou aproximadamente 3,6% da área total (CARVALHO, 2003). Leprun (1983) trabalhando com águas superficiais e subsuperficiais na região Semiárida cristalina, afirma que a sua qualidade (composição química e elevada concentração de sais) se relaciona especificamente com o tipo de rocha de origem, além disso, na maioria das vezes os solos dessas regiões são rasos e de difícil drenagem, o que potencializa a salinização dessas áreas.

Apesar dos problemas de salinização, o uso da irrigação em regiões áridas e semiáridas, não deve ser entendido apenas como uma prática contra eventos de seca, mas como um método capaz de fornecer no momento oportuno, a quantidade de água necessária para seu ótimo crescimento e, assim, evitar a diminuição dos rendimentos, provocada pela falta de água durante as etapas de desenvolvimento sensíveis à escassez (BARBOSA, 2011; HSIAO et al., 2007; PADILLA et al., 2011). Porém, o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em aspecto crucial na agricultura irrigada, para que haja um adequado manejo de irrigação.

Para determinar o quanto de água está sendo perdido por evaporação (fenômeno físico que propicia a mudança de estado da água da fase líquida para a gasosa diretamente de uma superfície líquida ou úmida) e transpiração (quando esta mudança se dá através das plantas), é necessária a utilização de métodos que permitam estimar essas perdas que serão repostas via água de irrigação, caso as chuvas não sejam suficientes (ALLEN et al., 1998; GONZÁLEZ-DUGO et al., 2009; PADILHA et al., 2011). Essa perda global é denominada de evapotranspiração, pode ser expressa como a quantidade equivalente de água evaporada por unidade de tempo, geralmente expressa como lâmina de água por unidade de tempo (mm dia<sup>-1</sup>) (PERES et al., 1995; VESCOVE & TURCO, 2005).

Nesse sentido, a obtenção da evapotranspiração (ETc) da cultura é uma indispensável ferramenta de manejo, podendo se utilizar de diversos métodos para sua determinação:

medidas em lisímetros, e métodos de estimativas: micrometeorológicos, balanço de energia e balanço de água no solo, entre outros (BILLESBACH, 2011; CONSOLI et al., 2013; MA et al., 2013). Esse parâmetro agrometeorológico tem sido determinado, visando aprimorar o manejo de água, de modo a gerar informações sobre exigência hídrica, avaliação de desempenho e crescimento das culturas, produtividade e colheita em menores intervalos de tempo (SUYKER & VERMA, 2009).

O balanço de água no solo (BAS) é um método que permite computar as entradas e saídas de água num determinado volume de controle. Diversos são os trabalhos que utilizam esta metodologia, apresentam resultados satisfatórios (GHIBERTO et al., 2011; LIMA et al., 2011; EVETT et al., 2012; PAYERO & IRMAK, 2013). A contabilização da variação do conteúdo de água na zona radicular das culturas é criticamente importante para a obtenção dos valores precisos de ETc. Em cactáceas, como a palma forrageira que possui alto teor de umidade nos tecidos (90 a 95%) (SANTOS et al., 2010), o método do BAS pode promover uma interpretação errônea na estimativa da evapotranspiração real da cultura, quando não é considerada a quantidade de água que não saiu do volume controle ficando retida nos tecidos da planta.

Outros índices de resposta da cultura ao ambiente de crescimento podem ser determinados com base em dados de produtividade e medições biométricas da planta (indicadores morfológicos), tendo como função demonstrar os efeitos da interação solo-planta-atmosfera. Indicadores como eficiência no uso da água e produtividade econômica da água são sugeridos por Araya et al. (2011) e Pereira et al. (2012).

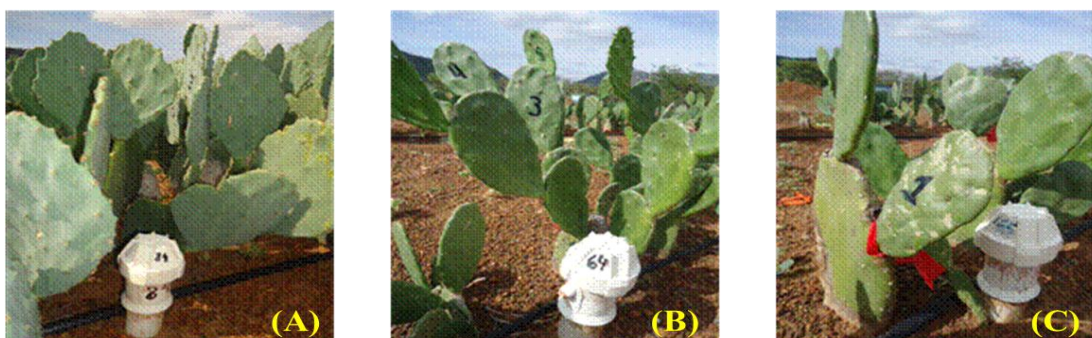
A eficiência no uso da água (EUA) expressa à capacidade de produção de biomassa (rendimento ou fotossíntese) por uma determinada cultura, sob determinado consumo de água (transpiração ou evapotranspiração), e, ou, volume aplicado, sendo este indicador influenciado pela fase de crescimento e disponibilidade hídrica (ARAYA et al., 2011; COSTA et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; RIZZA et al., 2012). A produtividade econômica de água (PEA) representa o valor bruto de uma produção padrão, em função do fornecimento de água via irrigação, que por sua vez é baseado nas estimativas de evapotranspiração (HAN & FELKER, 1997; BOS et al., 1997). Segundo Melo et al. (2010), a EUA aumenta quando ocorre uma redução da lâmina aplicada sem diminuição da produção. De acordo com Lima et al. (2014), com apenas 1% do aumento da EUA na Região Nordeste, estima-se que haveria uma economia de 165 mil litros de água por hectare irrigado por ano.

Com base no exposto, objetivou-se determinar a demanda hídrica e os indicadores agrometeorológicos de eficiência em um cultivo de palma forrageira irrigada no Semiárido brasileiro.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido numa área de cultivo de palma forrageira (latitude: 7°59' S, longitude: 38°15' O e altitude: 431 m), no Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, município de Serra Talhada – PE, durante os meses de março de 2012 a agosto de 2013, duração de 534 dias (18 meses). As variedades utilizadas foram: Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 (*Opuntia stricta*), IPA Sertânia/IPA-200205 (*Nopalea cochenillífera*) e Miúda/IPA-100004 (*Nopalea cochenillífera*) (Figura 1) resistentes à cochonilha do Carmin (*Dactylopius opuntiae*), principal praga da cultura.

Antes do plantio, realizou-se aragem e gradagem do solo, seguida de adubação nitrogenada com 130 kg ha<sup>-1</sup> de ureia e adubação orgânica, utilizando esterco bovino (3000 kg ha<sup>-1</sup>), de acordo com Dubeux Jr. et al. (2006). O espaçamento foi de 1,6 x 0,2 m (31.250 plantas ha<sup>-1</sup>) com 50% dos cladódios enterrados no solo. O plantio foi realizado em fevereiro de 2010, e durante o primeiro ciclo bienal (dois anos), a cultura foi conduzida em condições de sequeiro, sendo realizado o primeiro corte em fevereiro de 2012 (686 dias após o plantio - DAP), mantendo somente o cladódio basal. A partir desse momento, iniciou-se o período experimental do presente estudo, quando foi realizada a implantação do sistema de irrigação e adubação química com NPK (14-0-18, e 16 de S), sendo esta última realizada mensalmente. Esse estudo teve duração 524 dias (18 meses), ocorridos no período de março de 2012 a agosto de 2013.



**Figura 1:** Clones de palma forrageira (A) Orelha de Elefante Mexicana, (B) Miúda e (C) IPA Sertânia. **Fonte:** O autor.



A região apresenta um clima do tipo BShw' de acordo com a classificação de Köppen (Semiárido quente com ocorrência de chuva na maioria nos meses mais quentes e seco nos meses frios do ano), segundo Alvares et al. (2014). O solo do município é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico franco arenoso (Tabela 1), conforme classificação da Embrapa (2006).

**Tabela 1.** Características de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico cultivado com clones de palma forrageira, em Serra Talhada - PE

Profundidade	Da Kg m <sup>-3</sup>	Ds Kg m <sup>-3</sup>	Pt %	Areia g Kg <sup>-1</sup>	Silte g Kg <sup>-1</sup>	Argila g Kg <sup>-1</sup>
0,0-0,10	1,54	2,52	38,93	724,18	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

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

**Tabela 2:** Atributos químicos do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira em Serra Talhada - PE

pH	CE	P	Ca	Al	Na	K
H <sub>2</sub> O	dS m <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>
6,5	0,7-0,9	> 40,3	3,25	0,0	1,52	0,45

As caracterizações físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2) foram feitas a partir de amostras deformadas e indeformadas de solo da área experimental, as quais foram analisadas no Laboratório de Física de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife e no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da Embrapa Semiárido, Petrolina.

Os clones de palma forrageira foram irrigados por meio de um sistema de gotejamento (vazão de 1,25 L h<sup>-1</sup> à pressão de 1 atm), com diferentes lâminas e intervalos de reposição de água. As lâminas (2,5, 5,0 e 7,5 mm) foram dispostas na parcela, e os respectivos intervalos de reposição de água no solo (7, 14 e 28 dias) na subparcela e os três clones de palma forrageira na sub-subparcela. Adjacente aos blocos experimentais foram implantadas nove parcelas (três por clone) para a sua condução sob condição de sequeiro.

Essas condições foram dispostas em delineamento de blocos ao acaso (DBC), com três repetições, em arranjo de parcelas sub-subdivididas. As lâminas de irrigação começaram a

serem aplicadas no dia 30 de agosto de 2012. De março a início de agosto de 2012 foram aplicadas lâminas de assentamento, totalizando 135 mm, com a finalidade de manter o solo próximo a sua capacidade e manutenção do estande de forma uniforme. No dia 29 de agosto deu-se início a diferenciação dos tratamentos descritos anteriormente. A área foi dividida em 90 sub-subparcelas, contendo cada uma quatro fileiras com 20 plantas cada, ocupando uma área de 25,6 m<sup>2</sup> e 12,8 m<sup>2</sup> de área útil, considerando duas fileiras centrais.

Em junho de 2012 foram instalados 90 tubos de acesso (cada sub-subparcela) numa profundidade de 0,70 m e a 0,10 m da fileira da palma forrageira, para realizar o monitoramento do conteúdo de água no solo a cada 0,10 m, por meio de um sensor capacitivo (Diviner@2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália), calibrado localmente conforme descrito por Araújo Primo (2013):

$$\theta_v = 0,4687 \times FRa^{(3,7350)} \quad (1)$$

em que,  $\theta_v$  = umidade volumétrica (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>); FRa = frequência relativa do sensor capacitivo.

A evapotranspiração real (ETr) foi determinada pelo resíduo do método simplificado do balanço de água no solo (BAS), realizado em intervalos de 14 dias, para um volume de controle de 0,60 m, pela equação de Libardi (2005):

$$-ETr = P + I - R \pm Q_z \pm \Delta A_z \quad (2)$$

em que, ETr = evapotranspiração real (mm); P = precipitação pluvial (mm); I = irrigação (mm); Q<sub>z</sub> = fluxo ascendente (ascensão capilar) ou descendente (drenagem profunda) (mm);  $\Delta A_z$  = variação no armazenamento de água no solo num volume controle (mm).

O monitoramento das variáveis meteorológicas ao longo do período experimental foi realizado por meio de uma EMA (estação meteorológica automática), pertencente à Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC), localizada a cerca de 200 m da área experimental, sendo obtida temperatura do ar (t, °C); umidade relativa do ar (UR, %); radiação solar (Rg, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); velocidade do vento (u, m s<sup>-1</sup>) e precipitação pluvial (P, mm). A I foi contabilizada a partir das lâminas aplicadas em cada tratamento. De acordo com Li et al. (2013) o R superficial e subsuperficial podem ser desconsiderados, a depender das características do relevo, sistema de plantio e do solo. Assim, considerando que a área experimental possuía baixa declividade, cultivo em curvas de nível e o sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, deste modo os ganhos e perdas de água foram desprezíveis ou se anularam, e o R foi desconsiderado.

Os dados meteorológicos serviram como base para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), pelo método de Penman-Monteith parametrizado no boletim 56 da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura - FAO (ALLEN et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{t_{med} + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (3)$$

em que: R<sub>n</sub> = saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); G = fluxo de calor no solo (G = 0 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); γ = constante psicrométrica (kPa°C<sup>-1</sup>); t = temperatura do ar (°C); u = velocidade do vento (m/s); (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de saturação do ar (kPa); Δ = declividade da curva de pressão de vapor d'água (kPa °C<sup>-1</sup>). Usado para o cálculo da razão entre evapotranspiração real e evapotranspiração de referência (ET<sub>r</sub>/ET<sub>o</sub>).

Como o monitoramento do conteúdo de água no solo teve início a partir de junho de 2012, no período compreendido entre março a maio de 2012 onde não foi realizado o balanço de água no solo, a ET<sub>r</sub> da cultura da palma forrageira foi obtida por meio do produto entre a razão ET<sub>r</sub>/ET<sub>o</sub> média obtida para cada um dos tratamentos (junho de 2012 a agosto de 2013) e a ET<sub>o</sub> (março a maio de 2012).

O Q<sub>z</sub> por ascensão capilar ou drenagem profunda foi estimado a partir da equação 4 de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$Q_z = q \times \Delta t \quad (4)$$

em que: q = densidade do fluxo (mm dia<sup>-1</sup>); Δt = intervalo de tempo do BAS (dias). A densidade de fluxo obtida de equação 5:

$$q = -K(\theta) \times \frac{\partial \Psi_t}{\partial z} \quad (5)$$

em que: -K = condutividade hidráulica do solo (mm dia<sup>-1</sup>); Ψ<sub>t</sub> = potencial total de água (mm); z = coordenada vertical de posição (mm). A K e Ψ<sub>t</sub> foram estimados por meio das equações 6, 7 e 8 ajustadas, baseadas em dados obtidos na área experimental através do método do perfil instantâneo (MPI), conforme utilizado por Araújo Primo (2013):

$$K_s(\theta) = 0,0001 \times e^{(67,847) \times (\theta - 0,3105)} \quad (6)$$

$$\Psi_{t(0,5)} = 249,9288 \times e^{(-20,2236 \times \theta)} \quad (7)$$

$$\Psi_{t(0,7)} = 789,0253 \times e^{(-19,1510 \times \theta)} \quad (8)$$

onde, Ψ<sub>t(0,5)</sub> e Ψ<sub>t(0,7)</sub> = potencial total para as camadas de 0,5 e 0,7 m

A  $\Delta A$  foi determinada pela diferença entre os valores de  $A$  dos tempos inicial e final de cada período considerado, equação 9:

$$\Delta A = A_f - A_i \quad (9)$$

em que:  $A_f$  e  $A_i$  = armazenamento final e inicial (mm).

A biomassa verde (MV, Kg) foi obtida na colheita em agosto de 2013, a partir da pesagem de todas as plantas da área útil da sub-subparcela (32 plantas), deixando-se apenas cladódios basais. Para obtenção da biomassa seca (MS, Kg) os cladódios foram cortados, colocados em sacos de papel e colocados em 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 a obtenção de um valor constante de biomassa (Figura 2).



**Figura 2:** Etapas da obtenção da biomassa verde e seca (A) Área útil (duas fileiras centrais) (B) Corte dos cladódios e (C) Pesagem (D) Sacos com cladódios em estufa de ventilação forçada. **Fonte:** O autor.

A partir dos dados de  $E_{Tr}$  e de rendimento em base fresca e seca foram calculados os seguintes indicadores agrometeorológicos: eficiência no uso da água (EUA,  $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) pela cultura, produtividade econômica da água (PEA,  $\text{R\$ ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), conforme metodologia de Araya et al. (2011) e Pereira (2012):

$$EUA = \frac{Y}{\Sigma ETr} \quad (10)$$

em que: EUA é expressa em  $\text{kg mm}^{-1}$ ; Y é o rendimento da cultura em base fresca e base seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); ETr é a evapotranspiração real da palma forrageira (mm), considerando o acúmulo ao longo do ciclo da cultura.

$$PEA = \frac{GE}{\Sigma ETr} \quad (11)$$

em que: PEA é expressa em  $\text{R\$ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; GE é o ganho econômico por unidade de área, em  $\text{R\$ ha}^{-1}$ , sendo considerado dois cenários: o primeiro valor pago por unidade de cladódio ( $\text{R\$ } 0,15 \text{ unid}^{-1}$ ) e o segundo o valor pago pela tonelada de matéria verde ( $\text{R\$ } 100 \text{ ton}^{-1}$ ) de palma forrageira para cada uma das condições de cultivo. Sendo estes valores obtidos pela média de valores de comercialização apresentados pelo IPA de Serra Talhada, Arcoverde, Sertânia e produtores da região.

Foram realizadas campanhas biométricas (Figura 3) em um intervalo de aproximadamente 30 dias, para obtenção das variáveis de largura do dossel da planta (LP, cm), e comprimento (CC, cm), largura (LC, cm) e número (NC, unidades) dos cladódios de 1ª, 2ª, e n ordens.



**Figura 3:** Medidas biométricas na cultura da palma forrageira (A) Largura da planta (B) Comprimento do cladódio e (C) Largura do cladódio. **Fonte:** O autor.

A partir dos dados de CC e LC foram calculados os valores de área do cladódio (AC,  $\text{cm}^2$ ), para os clones IPA Sertânia (IPA), Miúda (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM), respectivamente, conforme Silva et al. (2014):

$$AC_{(IPA)} = \left( \frac{1,6691 \times (1 - e^{(0,0243 \times CC \times LC)})}{-0,0243} \right) \quad (12)$$

$$AC_{(MIU)} = 0,7198 \times CC \times LC \quad (13)$$

$$AC_{(OEM)} = \left( \frac{0,7086 \times (1 - e^{(-0,00004576 \times CC \times LC)})}{0,000045765} \right) \quad (14)$$

A AC foi usada para a obtenção do índice de área do cladódio (IAC, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>), pelo meio de:

$$IAC = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (AC_i \times NC_i) / 10000}{E1 \times E2} \right) \quad (15)$$

em que: AC = área de um cladódio de ordem i = 1, 2, 3, n (cm<sup>2</sup>), NC = número de cladódios da ordem qualquer (unidades), E1.E2 = espaçamento (1,6 m x 0,2 m).

Os dados de IAC foram correlacionados aos valores de dias após o corte (DAC) das respectivas datas de monitoramento dos dados biométricos, por meio de equações sigmóides, de modo que permitisse a estimativa do IAC para cada dia ao longo do ciclo (IAC<sub>estimado</sub>). O mesmo foi feito com os dados de LP, obtendo-se ao longo do tempo o LP<sub>estimado</sub> para cálculo da área de ocupação da planta (AOP<sub>estimada</sub>, m<sup>2</sup>), ao longo do tempo:

$$AOP_{estimada} = \frac{\pi \times LP_{estimada}^2}{4} \quad (16)$$

Com estes dados foi obtida a água retida pela planta observada (ARP<sub>observada</sub>, L planta<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), por meio da equação:

$$ARP_{observada} = [MVC - MSC] \times NTC \times d_{\text{água}} \quad (17)$$

em que: MVC = massa verde do cladódio (Kg), MSC = massa seca do cladódio (Kg), NTC = número total de cladódio (unid.), d<sub>água</sub> = densidade da água (Kg L<sup>-1</sup>).

Os valores de ARP<sub>observada</sub> foram relacionados aos dados de IAC da ocasião da colheita, e a equação resultante foi utilizada para a estimativa da ARP acumulada, em litros, ao longo do ciclo (ARP<sub>IACestimado</sub>), aplicando-se na mesma, o modelo do IAC<sub>estimado</sub>, antes descrito. Assim, resultou a ARP<sub>IACestimado</sub>, que dividido pelos valores de AOP<sub>estimada</sub> converteu o resultado para mm:

$$ARP_{IACestimado} = \frac{[MFC - MSC] \times NTC \times d_{\text{água}}}{AOP_{estimada}} \quad (18)$$

A diferença entre os valores de  $ARP_{IACestimada}$  de dois dias consecutivos resultou na  $ARP_{IACestimada(dia)}$ , em mm, ou seja, a quantidade de água retida diariamente pela planta:

$$ARP_{estimada(dia)} = ARP_{estimada(i)} - ARP_{estimada(i-1)} \quad (19)$$

em que: (i) = dia atual e (i - 1) = dia anterior.

Os valores de  $ARP_{IACestimada(dia)}$  foram integrados para os intervalos de 14 dias da  $ET_{BAS}$ , de tal modo que, calculou-se a evapotranspiração real efetiva ( $ET_{EF}$ ) da cultura:

$$ET_{EF} = [ET_{BAS} - ARP_{IACestimada}] \quad (20)$$

Os dados de DP/AC,  $\Delta A$ ,  $ET_{BAS}$ , ARP e  $ET_{EF}$ , EUA e PEA foram submetidos ao teste de normalidade, homocedasticidade, análise de variância pelo teste F; e uma vez significativa, e constatada interação entre os fatores clones, lâminas e frequências de irrigação, as variáveis foram submetidas ao teste de médias de Fisher LSD (diferença mínima significativa), ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o software *Statística* versão 7.0 (STATSOFT, 2004).

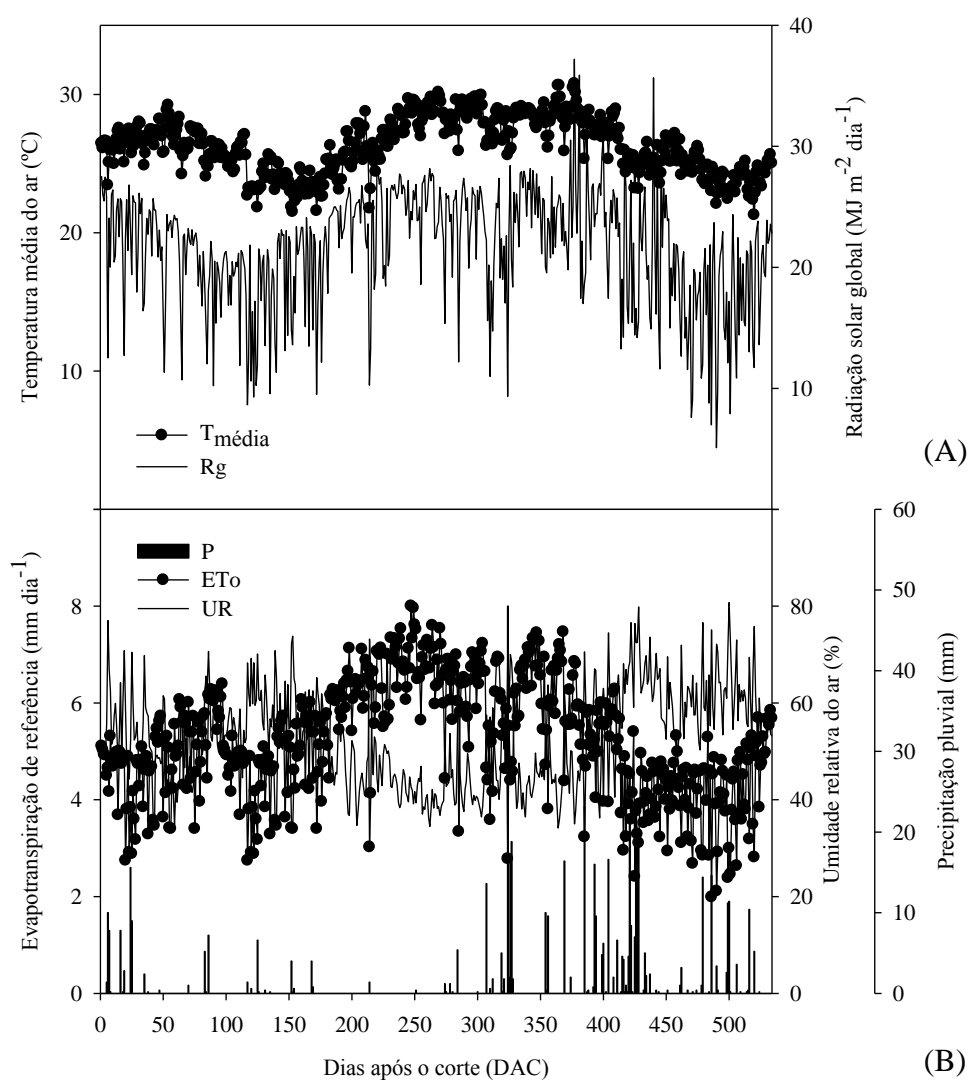
### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de cultivo da palma forrageira (março 2012 a agosto de 2013), a temperatura média do ar foi de 26,2°C (Figura 4 A), com máxima de 32,6°C e mínima de 20,9°C, valores bem próximos aos da média histórica do município (24,5°C). A evapotranspiração ( $ET_o$ ) acumulada no período foi de 2.872,8 mm (5,23 mm dia<sup>-1</sup>) (Figura 4 B). A umidade relativa do ar média (53%), média da máxima (78,5%), média da mínima (26,8%) e elevado déficit de saturação do ar (1,72 kPa), contribuíram para os valores elevados da demanda atmosférica que atingiram magnitudes de até 7,95 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 4 B). Ainda na Figura 4 A, pode-se observar um aumento significativo nos valores de radiação solar global, atingindo valores de 28,9 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> com média de 21,5 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

A quantidade de água recebida via precipitação pluvial no período foi de 469 mm (320,4 mm ano<sup>-1</sup>) (Figura 4 B), valor muito abaixo da média histórica (642 mm ano<sup>-1</sup>). Nos anos de 2010 e 2011, os valores anuais foram de 730 e 960 mm, respectivamente. Percebe-se ainda, que os maiores valores de precipitação pluvial (P) se ficaram concentraram, principalmente, em dois períodos (dezembro de 2012 a julho de 2013) com baixos valores no início e final do ciclo de cultivo. Esses valores de P concentrados em poucos meses do ano

destacam a importância da utilização da irrigação complementar para manter a estabilidade na oferta de forragem para alimentação animal durante todo ano.

De acordo com Andrade et al. (2010), a maior parte das plantas da Caatinga utilizadas na alimentação dos rebanhos criados de forma extensiva, são decíduas, perdem as folhas quando sujeitas ao estresse hídrico, reduzindo o aporte forrageiro. Em estudos realizados em Caatinga aberta no Seridó paraibano, Cândido et al. (2005), observaram uma produção de fitomassa média anual das forrageiras nativas nos meses de janeiro a abril da ordem de 4,0 ton. MS ha<sup>-1</sup> e 0,3 ton. MS ha<sup>-1</sup> de agosto a dezembro, meses mais secos na região.



**Figura 4.** Dados meteorológicos ao longo do ciclo produtivo de clones de palma forrageira irrigada no município de Serra Talhada – PE.



Nas Tabelas 3 e 4, pode-se observar o comportamento dos componentes do balanço de água no solo realizado na área de cultivo palma forrageira. Na Tabela 3, são observados os valores médios acumulados demonstrando efeito separado dos três fatores lâminas (2,5; 5,0 e 7,5 mm), frequências (7; 14 e 28 dias) e clones IPA Sertânia (*Nopalea*) (IPA) e Miúda (*Nopalea*) (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*) (OEM) e na Tabela 4, o efeito da interação (lâminas x frequências).

**Tabela 3:** Valores médios acumulados de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), evapotranspiração real da cultura ( $ET_{R_{BAS}}$ ), água retida pela planta (ARP) e evapotranspiração real efetiva da cultura ( $ET_{R_{EF}}$ ) de um solo cultivado com palma forrageira, clones IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*) e Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm ano<sup>-1</sup>; 2,5-14 = 501 mm ano<sup>-1</sup>; 2,5-28 = 478 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-7 = 641 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-14 = 546 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-28 = 499 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-7 = 727 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-14 = 589 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-28 = 520 mm ano<sup>-1</sup>) + condição sequeiro (471mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro

Tratamento	Componentes do balanço de água no solo (BAS)				
	DP/AC (mm)	$\Delta A$ (mm)	$ET_{R_{BAS}}$ (mm)	ARP (mm)	$ET_{R_{EF}}$ (mm)
<b>2,5 mm</b>	-14,8 ( $\pm 20,7$ )	27,3 ( $\pm 2,3$ )	-579,2 ( $\pm 37,5$ ) c	25,0 ( $\pm 8,6$ ) b	-554,1 ( $\pm 38,1$ ) c
<b>5,0 mm</b>	-16,9 ( $\pm 19,7$ )	33,1 ( $\pm 5,2$ )	-663,0 ( $\pm 93,3$ ) b	27,3 ( $\pm 11,9$ ) ab	-635,6 ( $\pm 93,7$ ) b
<b>7,5 mm</b>	-24,8 ( $\pm 22,0$ )	30,1 ( $\pm 4,9$ )	-740,9 ( $\pm 118,1$ ) a	31,0 ( $\pm 5,6$ ) a	-709,9 ( $\pm 97,5$ ) a
<b>Média</b>	-18,8	30,1	-661,0	27,8	-633,3
<b>C.V. (%)</b>	109,9	13,7	15,2	31,3	15,9
<b>7 dias</b>	-19,2 ( $\pm 20,4$ )	32,5 ( $\pm 4,4$ )	-785,6 ( $\pm 110,8$ ) A	28,5 ( $\pm 10,4$ )	-757,0 ( $\pm 107,1$ ) A
<b>14 dias</b>	-26,0 ( $\pm 25,7$ )	29,6 ( $\pm 5,8$ )	-625,3 ( $\pm 39,8$ ) B	27,1 ( $\pm 8,1$ )	-598,5 ( $\pm 42,7$ ) B
<b>28 dias</b>	-11,3 ( $\pm 12,4$ )	28,4 ( $\pm 3,4$ )	-572,2 ( $\pm 33,9$ ) C	27,6 ( $\pm 9,7$ )	-544,5 ( $\pm 29,5$ ) C
<b>Média</b>	-18,8	30,1	-661,0	27,8	-633,3
<b>C.V. (%)</b>	103,5	15,1	11,2	33,8	11,5
<b>Clone IPA</b>	-29,8 ( $\pm 28,6$ ) a	29,4 ( $\pm 5,0$ )	-647,7 ( $\pm 106,9$ )	33,3 ( $\pm 7,5$ ) a	-614,3 ( $\pm 106,3$ )
<b>Clone MIU</b>	-8,7 ( $\pm 9,9$ ) c	30,5 ( $\pm 5,2$ )	-672,6 ( $\pm 101,9$ )	31,4 ( $\pm 6,1$ ) a	-641,1 ( $\pm 98,1$ )
<b>Clone OEM</b>	-17,9 ( $\pm 13,6$ ) ab	30,6 ( $\pm 4,6$ )	-662,9 ( $\pm 109,9$ )	18,5 ( $\pm 5,4$ ) b	-644,3 ( $\pm 108,3$ )
<b>Média</b>	-18,8	30,1	-661,0	27,7	-633,3
<b>C.V. (%)</b>	92,1	16,4	19,4	22,9	20,1
<b>Sequeiro</b>	-18,6	26,3	-487,3	26,6	-470,8

\*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma lâmina; médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma frequência; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e em negrito na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro dos clones. \*\*Os dados DP foram transformados pela função Box Cox através ferramenta Action Stat do R Versão 3.0.2; os dados de  $ET_{R_{BAS}}$  e  $ET_{R_{EF}}$  foram transformados pela função  $1/x$  através do software Estatística versão 7.0 com o intuito de os dados atender a normalidade.

O fluxo de água no solo (Tabela 3) apresentou-se apenas na forma descendente, ou seja, drenagem profunda (DP). Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os clones, com os maiores valores de DP observados na IPA, que teve comportamento semelhante à OEM, sendo estes superiores ao da MIU. De modo geral, o valor médio acumulado da DP foi de

18,8 mm (18 meses). Estudos mostram que em solos com textura argilosa esse tipo de fluxo ocorre de forma menos intensa, tendo em vista suas características de retenção da água nos seus microporos (GAISER et al., 2004; PINHO, 2013; GHIBERTO et al., 2015), o que pode ser constatado pela baixa condutividade hidráulica do solo da área experimental ( $0,0001 \text{ mm dia}^{-1}$ ). Além disso, a drenagem não foi expressiva, devido a maior parte da água que entrou no sistema (0 a 0,7 m de profundidade) ter sido absorvida pelo sistema radicular dos clones e evaporada pela superfície do solo (Tabela 3), assumindo valores médios acumulados expressivos no ciclo. Araújo Primo (2013) obteve valores médios de DP de 272,2 mm (IPA), 94,3 (OEM) e 53,1 (MIU) aos 17 meses de idade, no Semiárido pernambucano.

Em relação à interação, houve diferença significativa para os valores médios acumulados lâminas e intervalos de reposição de água no solo, com a condição 7,5 mm-14 dias apresentando o maior valor de DP, seguida das condições 2,5 mm-7 dias; 5,0 mm-14 dias; 7,5 mm-7 dias; 5,0 mm-28 dias; 2,5 mm-28 dias; 5,0 mm-7 dias; 2,5 mm-14 dias e 7,5 mm-28 dias.

A variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) não apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para os três fatores separados (Tabela 3), nem para interação (Tabela 4). O valor médio acumulado da  $\Delta A$  foi de 30,1 mm (18 meses). A elevada extração de água pelas raízes pode estar relacionado à alta capacidade de emissão e alongação do sistema radicular da palma, depois de submetida a longo período de estiagem, como observado no início do ciclo, sendo este extenso e, denso, próximo à superfície do solo, que surge logo que o solo é umedecido, de modo que absorvem rapidamente a quantidade de água disponível (SNYMAN, 2006), mantendo assim, o solo com umedecimento constante ao longo do período de cultivo. No estudo realizado por Araújo Primo (2013), os valores para esta variável foram os seguintes, 47,4 (OEM); 41,0 (MIU) e 30,0 mm (IPA).

Em termos de evapotranspiração real acumulada ( $ET_{RBAS}$ ), verificaram-se diferenças significativas para os fatores lâminas e frequências de irrigação. A lâmina de 7,5 mm proporcionou os maiores valores de demanda de água pela palma forrageira, seguida da 5,0 mm e 2,5 mm que também se diferenciaram entre si. Já para frequência, os maiores valores foram obtidos na de 7 dias, seguida da 14 dias e 28 dias. No caso dos clones, a evapotranspiração real acumulada durante o período experimental não apresentaram diferenças significativas entre si. O valor de  $ET_{RBAS}$  para a palma forrageira durante os 18 meses (534 dias) foi de 661,0 mm, uma demanda média diária de  $1,24 \text{ mm dia}^{-1}$ .

**Tabela 4:** Valores médios acumulados (interação lâmina x frequência) de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação no armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), evapotranspiração real da cultura ( $ET_{R_{BAS}}$ ), água retida pela planta (ARP) e evapotranspiração real efetiva da cultura ( $ET_{R_{EF}}$ ) de um solo cultivado com palma forrageira, clones IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm ano<sup>-1</sup>; 2,5-14 = 501 mm ano<sup>-1</sup>; 2,5-28 = 478 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-7 = 641 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-14 = 546 mm ano<sup>-1</sup>; 5,0-28 = 499 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-7 = 727 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-14 = 589 mm ano<sup>-1</sup>; 7,5-28 = 520 mm ano<sup>-1</sup>) + condição sequeiro (471mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro

Componentes	Frequências/Lâminas	2,5 mm	5,0 mm	7,5 mm
DP (mm)	7 dias	-28,1 ( $\pm 34,9$ ) b	-8,8 ( $\pm 5,9$ ) cd	-20,8 ( $\pm 11,7$ ) bc
	14 dias	-6,0 ( $\pm 6,6$ ) d	-24,1 ( $\pm 29,8$ ) bc	-47,8 ( $\pm 19,8$ ) a
	28 dias	-10,4 ( $\pm 7,2$ ) cd	-17,8 ( $\pm 20,3$ ) bcd	-5,6 ( $\pm 6,0$ ) d
	Média	-14,8	-16,9	-24,8
	C.V. (%)	109,3	110,4	50,5
$\Delta A$ (mm)	7 dias	28,0 ( $\pm 1,4$ )	34,7 ( $\pm 2,4$ )	34,6 ( $\pm 5,3$ )
	14 dias	24,9 ( $\pm 2,3$ )	36,3 ( $\pm 4,1$ )	27,5 ( $\pm 2,5$ )
	28 dias	10,4 ( $\pm 7,2$ )	25,6 ( $\pm 20,9$ )	28,0 ( $\pm 3,9$ )
	Média	21,1	32,2	30,1
	C.V. (%)	17,4	28,4	13,0
$ET_{R_{BAS}}$ (mm)	7 dias	-623,6 ( $\pm 36,4$ ) d	-740,3 ( $\pm 109,8$ ) ab	-854,1 ( $\pm 130,7$ ) a
	14 dias	-569,2 ( $\pm 22,2$ ) f	-619,8 ( $\pm 31,9$ ) e	-618,2 ( $\pm 34,3$ ) c
	28 dias	-609,2 ( $\pm 130,8$ ) d	-658,6 ( $\pm 173,5$ ) c	-667,7 ( $\pm 6,2$ ) e
	Média	-600,7	-672,9	-713,3
	C.V. (%)	12,8	18,8	9,9
ARP (mm)	7 dias	23,6 ( $\pm 8,9$ ) bc	28,3 ( $\pm 16,0$ ) abc	33,6 ( $\pm 27,2$ ) a
	14 dias	30,3 ( $\pm 11,2$ ) ab	23,5 ( $\pm 8,1$ ) bc	27,5 ( $\pm 11,9$ ) abc
	28 dias	21,1 ( $\pm 4,9$ ) c	30,3 ( $\pm 30,3$ ) ab	31,5 ( $\pm 6,7$ ) a
	Média	25,0	27,3	30,9
	C.V. (%)	33,4	66,3	49,4
$ET_{R_{EF}}$ (mm)	7 dias	-599,9 ( $\pm 38,1$ ) b	-711,9 ( $\pm 14,6$ ) a	-820,5 ( $\pm 11,6$ ) a
	14 dias	-539,0 ( $\pm 16,8$ ) c	-596,3 ( $\pm 36,2$ ) b	-640,1 ( $\pm 22,3$ ) ab
	28 dias	-588,1 ( $\pm 2,9$ ) e	-628,3 ( $\pm 23,1$ ) d	-586,6 ( $\pm 6,3$ ) bc
	Média	-575,7	-645,5	-682,4
	C.V. (%)	4,2	4,8	2,3

\*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na interação lâmina x frequência não diferem estatisticamente entre si.

Valores semelhantes foram relatados por Han & Felker (1997), em trabalho executado no semiárido de Kingsville, Texas, EUA, com a *Opuntia ellisiana* L., cultivada em condições de sequeiro, com 662 mm ano<sup>-1</sup> via precipitação pluvial, obtiveram valores acumulados de evapotranspiração da cactácea de 559 mm (1,37 mm dia<sup>-1</sup>). Deste total de água evapotranspirada, 310 mm foram resultantes da transpiração das plantas e 249 mm da evaporação do solo, em termos percentuais a evaporação do solo representou em média 44% da ETr. Já estudos realizados por Consoli et al. (2013) nas condições climáticas do Mediterrâneo, Sicília, Itália, utilizando o método micrometeorológico dos vórtices turbulentos para determinar a ET de clones do gênero *Opuntia*, durante dezesseis meses (cerca de 480

dias), quando receberam 1.329,1 mm via precipitação, teve uma evapotranspiração de 256 mm (2,5 mm dia<sup>-1</sup>), enquanto a demanda atmosférica média foi de 5,0 mm dia<sup>-1</sup>. Portanto, o período e demanda atmosférica foram semelhantes à deste estudo (534 DAC e 5,3 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente).

Esses estudos mostram a capacidade de ajuste do metabolismo ácido das crassuláceas em relação à troca de gases com a atmosfera, em condições de maior disponibilidade hídrica e climáticas favoráveis abrem seus estômatos, e apesar de perder mais água para atmosfera fixam uma maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Taiz & Zeiger (2009) e Raven et al. (2014) destacam o fato de que espécies MAC ajustam o seu padrão de captação de CO<sub>2</sub> para C3, quando submetida a condição de maior disponibilidade de água no solo, o mesmo acontecendo com cladódios jovens e botões florais que abrem os estômatos durante o dia. As plantas MAC são ainda mais econômicas quanto ao uso da água do que as plantas C4. No caso de cladódios adultos, a abertura dos estômatos durante a noite, evita a grande perda de água, ao mesmo tempo em que o CO<sub>2</sub> é fixado, por meio do ácido málico. Durante o dia, os estômatos se fecham (não há grande perda de água) e o CO<sub>2</sub> fixado é então utilizado na realização da fotossíntese sob elevadas intensidades de radiação solar, são também conhecidas como “plantas de sol”.

As equações resultantes para a estimativa da ARP acumulada (água retida pela planta), em litros por planta, em função do IAC (índice de área do cladódio), em m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, para cada um dos clones são representadas abaixo. O IAC explicou 79% (IPA), 83% (MIU) e 85% (OEM) da variação dos valores de ARP, conforme coeficiente de determinação.

$$ARP_{(IPA)} = 8,5620 \cdot IAC + 1,1047 \quad (21)$$

$$ARP_{(MIU)} = 5,5896 \cdot IAC + 0,7995 \quad (22)$$

$$ARP_{(OEM)} = 4,4366 \cdot IAC + 1,4024 \quad (23)$$

A substituição dos valores de IAC da equação acima pelos valores estimados de IAC ao longo do tempo (IAC<sub>estimado</sub>), e sua razão com a AOP (área de ocupação da planta, em m<sup>2</sup>), resultou nos valores de ARP em mm planta<sup>-1</sup>, conforme Tabelas 3 e 4. Entre as lâminas observaram-se diferenças significativas nos valores médios de ARP, com maior valor na condição de 7,5 mm que diferenciou da 2,5 mm, sendo a de reposição de 5,0 mm semelhante às demais. O valor de ARP acumulado foi de 27,8 mm planta<sup>-1</sup>, representando aproximadamente 3,5% da ETrBAS. Em relação aos clones, a IPA e MIU apresentaram médias superiores de ARP em relação à OEM. Ainda foram observadas diferenças significativas para esta variável na interação lâmina x frequência de irrigação. Esta retenção de água que ocorre

principalmente no parênquima aquífero e nos grandes vacúolos é uma característica de plantas cactáceas, como é o caso da palma forrageira (TAIZ & ZEIGER, 2009).

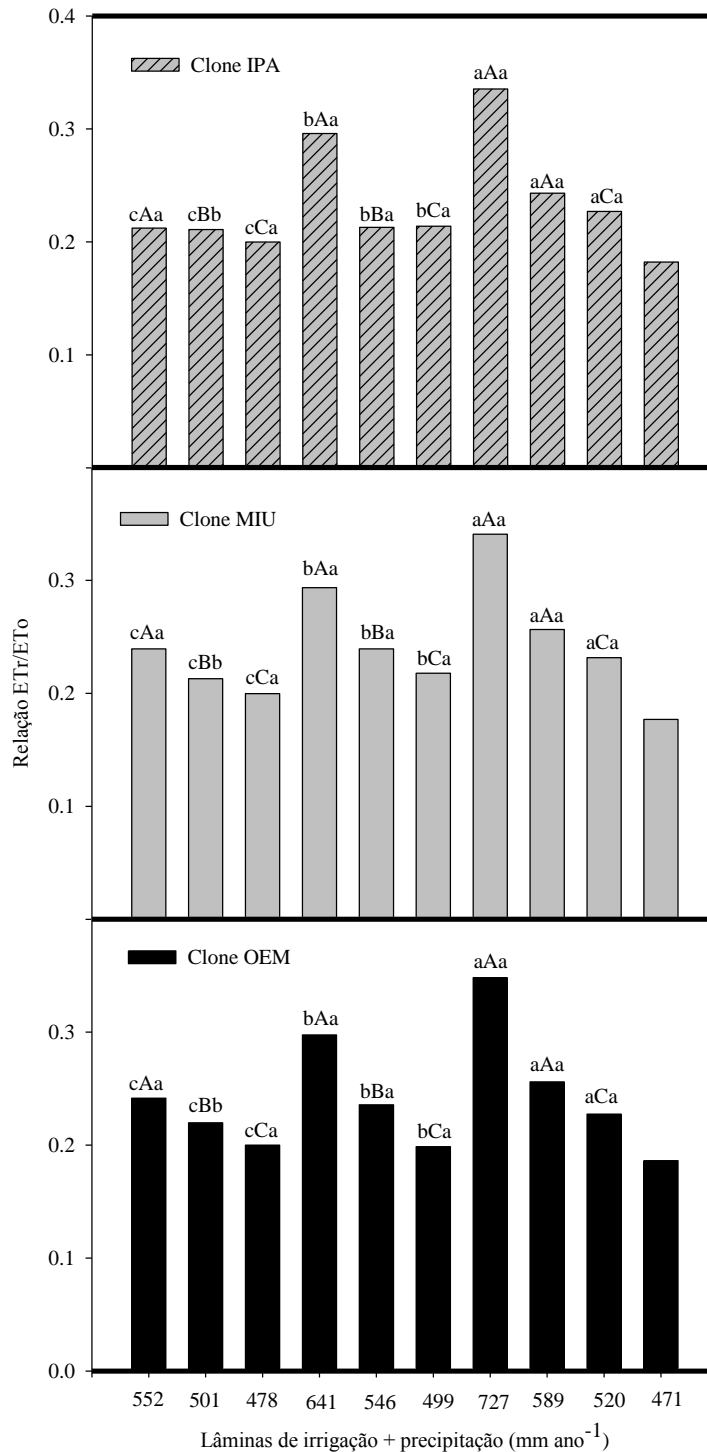
Ferreira (2005) e Santos et al. (2010) asseguram que a palma forrageira pode ser uma importante fonte de energia, detendo cerca de 90% a 95% de água em sua constituição. Estudos realizados por Santos et al. (2005) afirmam que a variação no teor de água da palma forrageira está de acordo com a época do ano, entre 95%, no período das chuvas e 76%, em plena estiagem. Essas observações também foram realizadas por Nobel (2001), durante as primeiras semanas de seca, pouca mudança é observada na palma, reflexo da capacidade de armazenamento da água nos cladódios e das baixas exigências hídricas inerentes às plantas que apresentam metabolismo MAC. Porém, após dois meses pode ser observada uma perda pequena diária do CO<sub>2</sub>, uma vez que neste momento a respiração começa a se tornar maior que à fotossíntese líquida.

Brito et al. (2013), em estudos realizados em Batalha, AL, para a cv. Miúda (10.000 plantas ha<sup>-1</sup>) com três anos de idade encontraram variação no conteúdo de água nos cladódios na ordem de 38,12% ao longo de três meses, quando a precipitação pluviométrica acumulada foi de 134 mm. Em valores absolutos verificou-se um rendimento de 71,5 toneladas MV ha<sup>-1</sup>, com média de 73,2 % de umidade, ou seja, 52,3 m<sup>-3</sup> água ha<sup>-1</sup> armazenados nos aquíferos dos cladódios. Carneiro et al. (2014) relatam para cv. Gigante com dois anos de idade (33.300 plantas ha<sup>-1</sup>) adubada com 20 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino e precipitação pluvial de 1.029 mm durante o ciclo de cultivo em Soledade - PB, uma média de 308,4 m<sup>-3</sup> água ha<sup>-1</sup>.

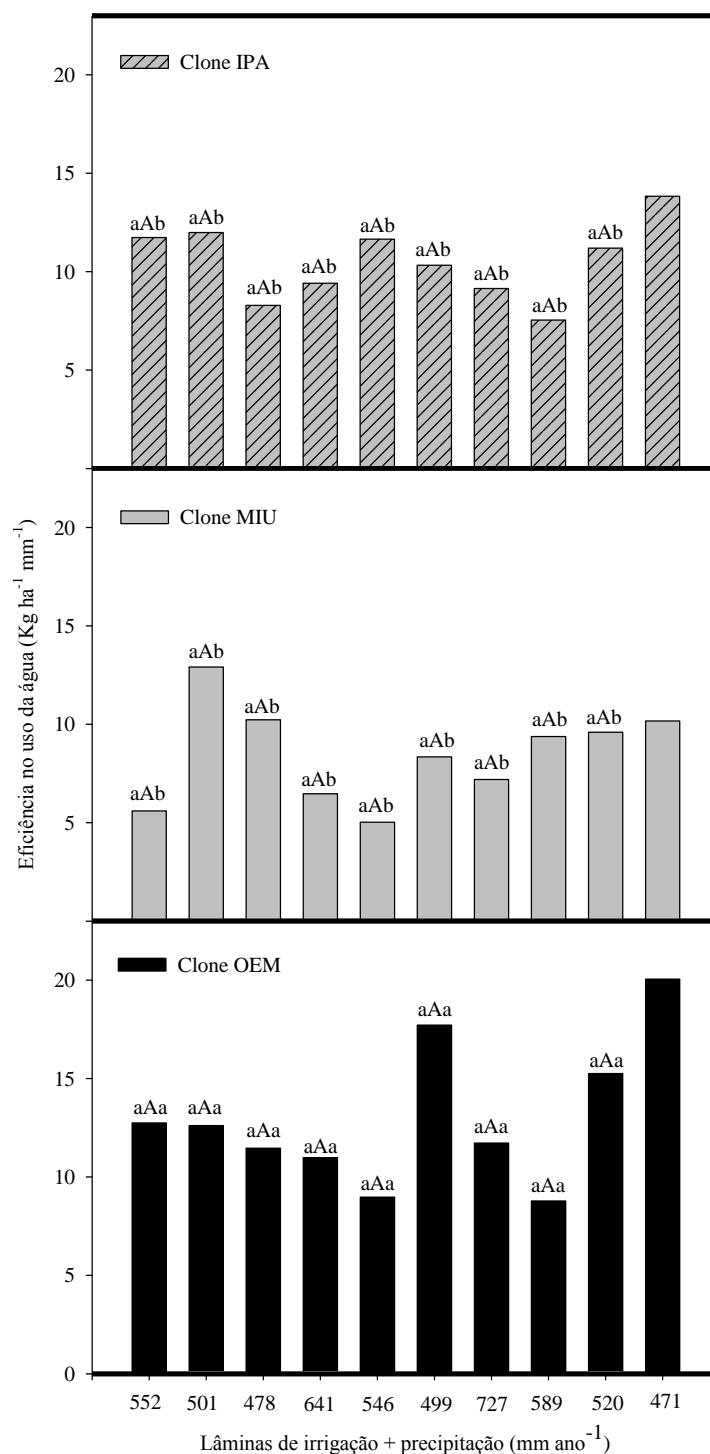
A evapotranspiração real efetiva (ET<sub>REF</sub>) (Tabelas 3 e 4) foi obtida subtraindo-se entre a ARP da evapotranspiração real (ET<sub>TBAS</sub>). Verificaram-se diferenças significativas para os fatores lâminas e frequências de irrigação. A lâmina de 7,5 mm apresentou os maiores valores de demanda de água efetiva pela palma forrageira, seguida da 5,0 mm e 2,5 mm que também se diferenciaram entre si. Em relação à frequência, os maiores valores foram obtidos para 7 dias, seguida de 14 dias e 28 dias. No caso dos clones, a evapotranspiração real acumulada durante o período experimental não apresentaram diferenças significativas entre si. Os valores de ET<sub>REF</sub> para a palma forrageira durante os 18 meses (534 dias) foi de 633 mm, com demanda diária de 1,19 mm dia<sup>-1</sup>, havendo assim, uma superestimativa na demanda de água da palma forrageira obtida pela ET<sub>TBAS</sub> de 4,2% em relação a ET<sub>REF</sub>. Esses resultados destacam a importância de se adotar a ARP em estudos para determinar a ET das culturas, sobretudo em cactáceas.

Comparando os valores da razão  $ET_{TrEF}/ET_o$  (Figura 5), verificou-se diferenças significativas em relação as lâminas e frequências de irrigação ( $p < 0,05$ ). Sendo a lâmina de 7,5 mm e a frequência 7 dias foram superiores as demais condições de cultivo com valores médios da razão  $ET_{TrEF}/ET_o$  de 0,23 e 0,24, respectivamente. Em condições potenciais de cultivo essa relação representa o coeficiente da cultura ( $K_c$ ), demonstrando assim, que a maior lâmina e um menor intervalo de reposição de água no solo para as condições estudadas foram as que melhor atenderam a demanda de água da cultura em relação a demanda atmosférica. Consoli et al. (2013), nas condições climáticas do Mediterrâneo, avaliando clones do gênero *Opuntia*, durante 16 meses, com reposição de água no solo por precipitação pluvial (1.010,7 mm ano<sup>-1</sup>), obteve um  $K_c$  máximo de 0,4 em cultivo exclusivo. Em condições irrigadas com uma lâmina de 1.048 mm ano<sup>-1</sup>, Queiroz (2014) encontrou para o clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*) um  $K_c$  máximo de 0,52. Apesar das muitas suposições quanto à baixa exigência de água da palma forrageira, pode-se observar que esta responde a lâminas de irrigação complementar, aumentando seu rendimento de forma significativa. Na condição de sequeiro essa razão apresentou média de 0,18. Não foi constatada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os clones IPA e MIU e OEM, sendo a razão média para os clones de 0,24; 0,25 e 0,25, respectivamente.

Para eficiência no uso da água considerando a lâmina evapotranspirada ( $ET_{TrEF}$ ) pela cultura (Figura 6), não se verificou diferenças significativas em relação às lâminas e frequências de irrigação ( $p < 0,05$ ), apresentando uma média de 10,7 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. No entanto, houve diferença significativa entres os clones, sendo a OEM, o que apresentou maior magnitude (EUA~13,0 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), seguida da IPA (EUA~10,5 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) e MIU (EUA~8,5 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) que não se diferenciaram entre si. Para esta variável (EUA), Queiroz (2014) obteve um valor médio de 14,0 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para Orelha de Elefante Mexicana (16 meses) sob lâmina de irrigação de 1.048 mm ano<sup>-1</sup>, valor semelhante ao obtido neste estudo para o mesmo clone. Já nas condições climáticas do Mediterrâneo Consoli et al. (2013), obtiveram ~4,4 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para clones do gênero *Opuntia* (16 meses) sob lâmina de 1.010,7 mm ano<sup>-1</sup>.



**Figura 5.** Razão ETr/ETo (ETr = evapotranspiração real da cultura e ETo = evapotranspiração de referência) acumulada no ciclo da palma forrageira, clones IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*) e Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.



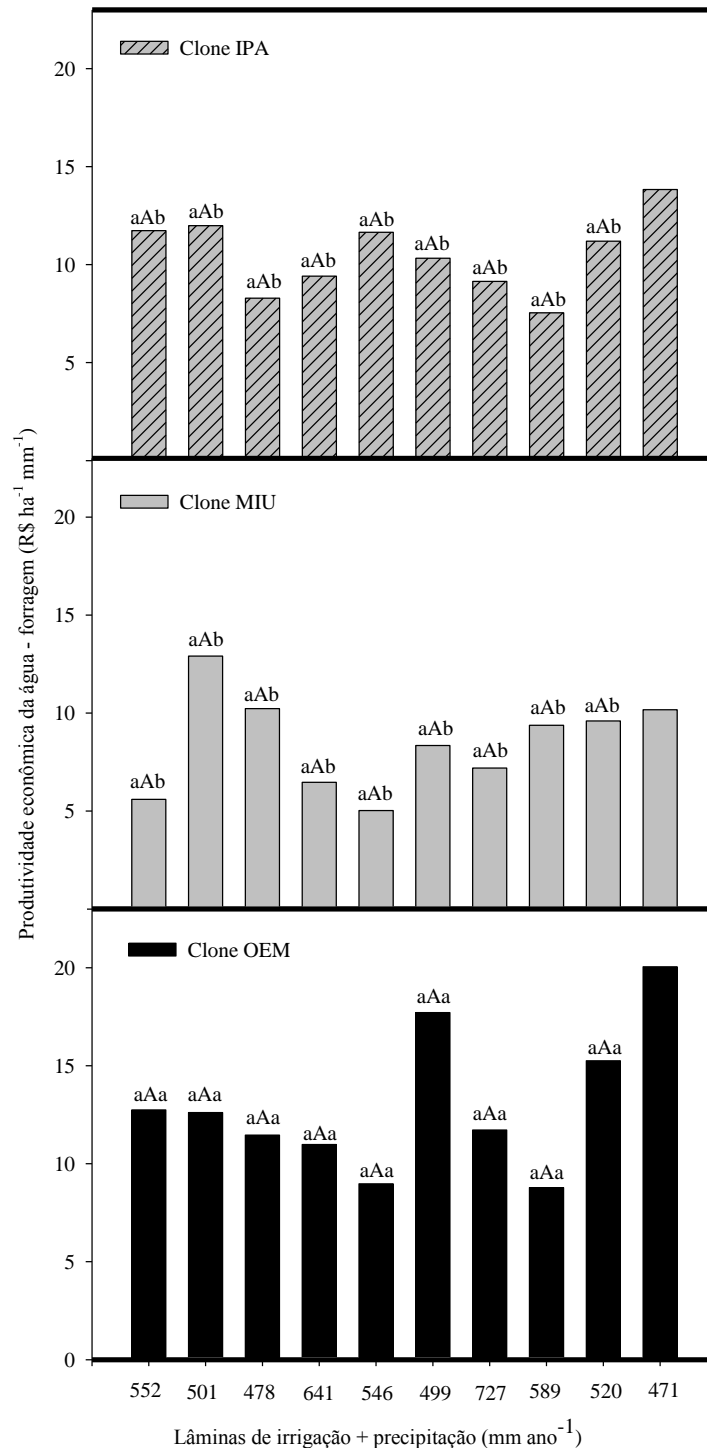
**Figura 6:** Eficiência no uso da água ( $\text{Kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) de clones palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*) e Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.



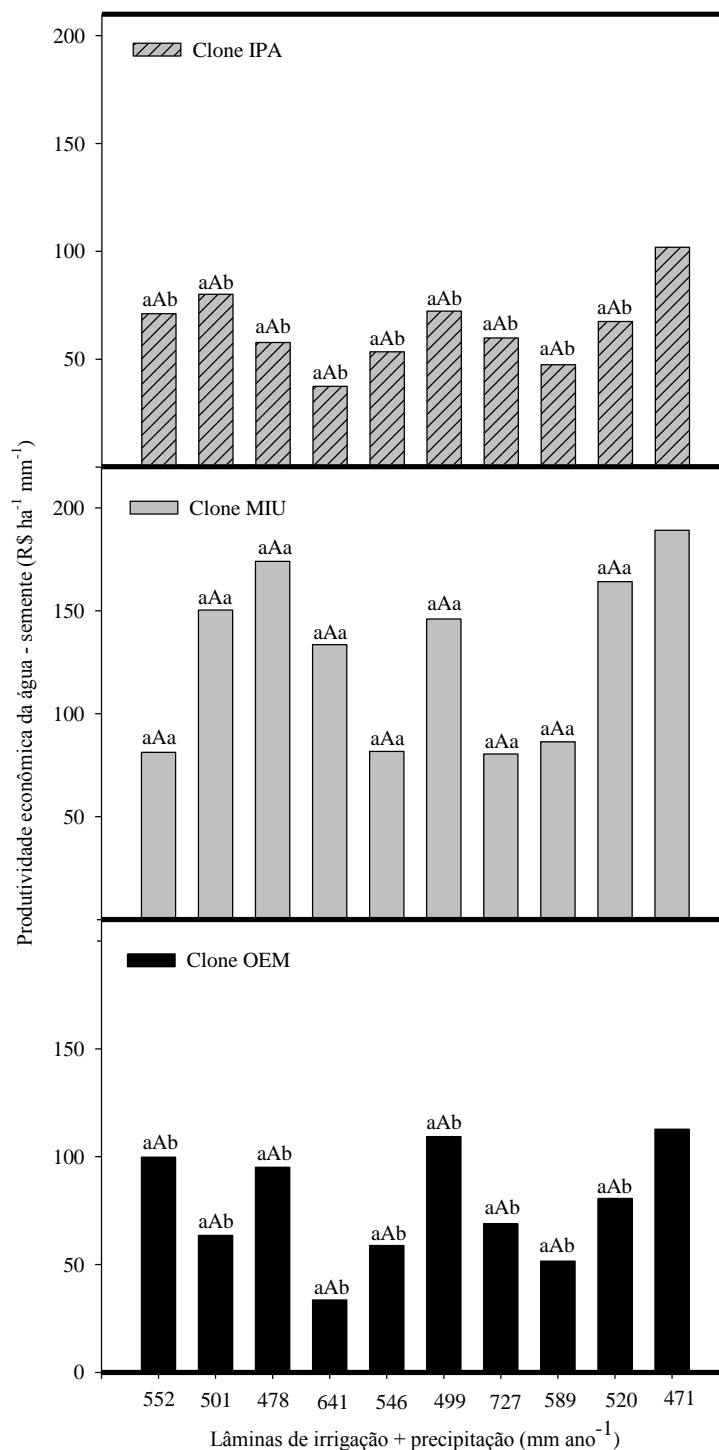
Barrios et al. (2000) avaliando o efeito da radiação, temperatura e teor de umidade no solo em estudos com cactáceas do gênero *Opuntia* e *Stenocereus* relatam maiores valores de absorção líquida de CO<sub>2</sub> durante o período das chuvas de verão e os valores mais baixos durante o outono e inverno. A absorção líquida positiva de CO<sub>2</sub> constatada no período chuvoso deve-se ao efeito combinado de diminuição da nebulosidade, aliada a altas taxas de assimilação noturna devido à temperatura do ar moderada de dia/noite prolongando o período de assimilação. A condição de sequeiro que recebeu 471 mm ano<sup>-1</sup> apresentou as seguintes médias: OEM (EUA ~ 20,1 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), IPA (EUA ~ 13,8 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) e MIU (EUA ~ 10,2 Kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>).

A produtividade econômica da água de irrigação (Figura 7), quando o rendimento foi destinado à venda como forragem para alimentação animal, considerando um valor de R\$ 100 ton<sup>-1</sup>, apresentou comportamento estatisticamente igual a variável descrita anteriormente, não sendo verificada diferenças significativas em relação às lâminas e frequências de irrigação ( $p < 0,05$ ) com valor médio de R\$ 10,7 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, indicando que o produtor terá um retorno econômico bruto de 10,7 reais por ha<sup>-1</sup> para cada mm<sup>-1</sup> de água evapotranspirada pela cultura. Houve diferença significativa entre os clones, sendo a OEM com maior valor médio (PEA ~ R\$ 13,0 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), seguida da IPA (PEA ~ R\$ 10,5 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) e MIU (PEA ~ R\$ 8,5 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), que não se diferenciaram entre si. Silva et al. (2014) avaliando a eficiência produtiva destes três clones de palma forrageira cultivados em condições de sequeiro no município de Serra Talhada, obtiveram valor médio de PEA ~ R\$ 39,5 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, assumindo o mesmo valor de venda e a destinação para forragem.

Quando o rendimento foi destinado à venda como semente para plantio (Figura 8), o clone MIU foi aquele que apresentou maior valor médio bruto de produtividade econômica da água (PEA ~ R\$ 122,1 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>), superior aos clones OEM (PEA ~ R\$ 60,8 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) e IPA (PEA ~ R\$ 73,5 ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). O número superior de cladódios do clone MIU em relação às demais variedades já foi observado por Leite (2009), apesar do maior número de cladódios percebe-se que o seu rendimento médio (~54,6 ton ha<sup>-1</sup>) é inferior aos demais clones OEM (~85,2 ton ha<sup>-1</sup>) e IPA (63,1 ton ha<sup>-1</sup>), o que está associado ao menor tamanho da área dos cladódios observado para o clone.



**Figura 7:** Produtividade econômica da água (R\$ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) de clones palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) com rendimento destinado à venda como forragem para alimentação animal, submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.



**Figura 8:** Produtividade econômica da água (R\$ ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) de clones palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) com rendimento destinado à venda como semente para plantio, submetidos a três lâminas (mm) e três frequências (dias) de irrigação (2,5-7 = 552 mm; 2,5-14 = 501 mm; 2,5-28 = 478 mm; 5,0-7 = 641 mm; 5,0-14 = 546 mm; 5,0-28 = 499 mm; 7,5-7 = 727 mm; 7,5-14 = 589 mm; 7,5-28 = 520 mm) + condição sequeiro (471 mm) no Semiárido brasileiro.

Assim, é mais rentável para o produtor desconsiderando os custos de investimento no sistema de irrigação, destinar o rendimento do clone Miúda para venda como semente, conforme observado, esse retorno econômico bruto será de 122,1 R\$ para cada  $\text{mm}^{-1}$  de água evapotranspirada. Estudos mostram que o número de brotações, área do cladódio e as características morfológicas da planta podem variar em função do tipo de espécie, idade, níveis de adubação e espaçamento, além dos fatores ambientais, como teor de água no solo e temperatura (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; KNEBEL et al., 2006; SALES et al. 2009; NEDER et al. 2013). A condição de sequeiro apresentou as seguintes médias: MIU (PEA ~ R\$ 189,2  $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ), OEM (PEA ~ R\$ 112,8  $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) e IPA (PEA ~ R\$ 101,1  $\text{ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ).

#### 4 - CONCLUSÃO

1. As lâminas (2,5; 5,0; e, 7,5 mm) e as frequências de irrigação adotadas (7; 14; e 28 dias) e sua interação (lâminas x frequências), de um modo geral, promoveram incrementos significativos para os componentes do balanço de água no solo avaliados durante 18 meses no Semiárido Pernambucano, com exceção da variação do armazenamento de água no solo.

2. A Orelha de Elefante Mexicana, do gênero *Opuntia*, em condições irrigadas apresentou o maior desempenho para a maioria dos parâmetros do balanço de água no solo quando comparado aos demais clones (Miúda e IPA Sertânia) do gênero *Nopalea*, com exceção da água retida pela planta e produtividade econômica da água com rendimento destinado a venda para semente.

3. A Miúda, do gênero *Nopalea*, quando o rendimento é destinado à venda dos cladódios como “semente” proporcionou a maior produtividade econômica da água de irrigação na lâmina 2,5 mm e frequência 28 dias.

4. A aplicação do método do balanço de água no solo para a quantificação da evapotranspiração real de agroecossistemas de cactáceas deve ser acompanhada da estimativa da água retida pela a planta, evitando assim, superestimativas da ET da palma forrageira da ordem de 4,2%.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310 p. Irrigation and Drainage, 56.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANDRADE, A. P. et al. Produção animal no semiárido: O desafio de disponibilizar forragem, em quantidade e com qualidade, na estação seca. **Tecnologia & ciência agropecuária**, João Pessoa, v. 4, n. 4, p. 01-14, 2010.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e indicadores de eficiência do uso de água e nutrientes da palma forrageira no Semiárido brasileiro**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, 2013.
- ARAYA, A. et al. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). **Agricultural Water Management**, Austrália, n. 98, p. 775-783, 2011.
- BARBOSA, M.A.G. **Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos**. 88 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2011.
- BARRIOS, E. P. et al. Seasonal variation of net CO<sub>2</sub> uptake for cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) in a Semi-arid environment. **Journal of Arid Environments**, Beer Sheva, v. 44, p. 73-83, 2000.
- BILLESBACH, D. P. Estimating uncertainties in individual eddy covariance flux measurements: a comparison of methods and a proposed new method. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, n. 3, p. 394–405, 2011.
- BOS, M. G.; BURTON, M. A.; MOLDEN, D. J. Performance indicators for irrigation and drainage. **Irrigation and Drainage Systems** v. 11, p. 119-137, 1997.
- BRITO, D. R. Importância da palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) para a agropecuária do semiárido alagoano. **Revista Ambientale**, v. 1, p. 1984-9915, 2013.
- CÂNDIDO, M. J. D. Pastagens no ecossistema semi-árido brasileiro: Atualização e perspectivas futuras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia: SBZ. p. 85-94, 2005.

- CARNEIRO, W. P. Acúmulo de água em Palma forrageira em função do manejo de colheita e da adubação orgânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 24, Vitória-ES, 2014. **Anais...** Associação Brasileira de Zootecnia, Vitória-ES, p. 1-3, 2014.
- CARVALHO, O. **Plano Integrado para o Combate Preventivo aos Efeitos das Secas no Nordeste**, MINTER, Série Desenvolvimento Regional, n. 4, Brasília-DF, 2003.
- 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**, New York, v. 1, p. 1-15, 2013.
- 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**, v. 1, p. 1-15, 2013.
- COSTA, F. S. et al. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga, Mossoró**, v. 25, p. 26-33, 2012.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: análise multivariada e simulação**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, 2006. 175p.
- DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: MENEZES, R.S.C. et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, p. 105-127, 2005.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2 ed, 2006. 306 p.
- EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, Austrália, v. 104, p. 1-9, 2012.
- FERREIRA, M. de A. **Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 68 p.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Austrália, v. 70, p. 97-107, 2004.
- GAISER, T. et al. Water use efficiency of a maize/cowpea intercrop on a highly acidic tropical soil as affected by liming and fertilizer application. **Plant and Soil**, Australia, v.263, p.165-171, 2004.
- GHIBERTO, P. J. et al. Soil physical quality of Mollisols quantified by a global index. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 2, p. 167-174, 2015.

- GHIBERTO, P. J. et al. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, Austrália, v. 102, p. 1-7, 2011.
- HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, Beer Sheva, v. 36, p. 133-148, 1997.
- HSIAO, T. C.; STETUTO, P.; FERERES, E. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, v. 25, p. 209–231, 2007.
- KNEBEL, J. L. et al. Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agronômicos em soja. **Revista Acta Scientia Agronomica**, Maringá, 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.
- LEPRUN, J. C. **Primeira aliação das águas superficiais do Nordeste**: relatório de fim de convênio de manejo e conservação do solo do Nordeste brasileiro, Recife, SUDENE-DRN, p. 91-141, 1983.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, p. 41-277, 2005.
- LIMA, C. D. S.; GOMES, H. S.; DETONI, C. E. Adição de uréia e da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no enriquecimento protéico da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* L.) cv. miúda. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 16, n. 1, p. 01-08, 2004.
- LIMA, G. F. C. **Reservas estratégicas de forragem: Uma alternativa para melhorar a convivência dos rebanhos familiares com a seca**. Natal: EMPARN, 83p. (Série Circuito de Tecnologias Adaptadas para a Agricultura Familiar, 1), 2006.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil**. FAO. Disponível em: <[www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc](http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc)>. Acesso em: Agosto de 2014.
- LIMA, J. R. S. et al. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão-caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 1, p. 65-74, 2011.
- LIMA, L. R. **Viabilidade econômica do sistema consorciado palma forrageira-sorgo em condições irrigadas no Semiárido pernambucano**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, 2015.
- MAIA NETO, A. L. **Cultivo e utilização da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill. e *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) para produção de leite no semi-árido nordestino**.



- Salvador: Universidade Federal da Bahia/Escola de Medicina Veterinária (Monografia), 40 p., 2000.
- MELO, A. S. et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 73-79, 2010.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília, DF, 32 p, 2005.
- NASCIMENTO, J. P. **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.
- NASCIMENTO, J. P. et al. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, p. 21-26, 2011.
- NEDER, D. G. et al. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Germany, v. 13, p. 203-207, 2013.
- NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G; INGLESE, P.; PIMIENTA BARROS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. João Pessoa: FAO, SEBRAE/PB. p. 36-48, 2001.
- OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, p. 27-37, 2010.
- PADILLA, F. L. M. et al. Integration of vegetation indices into a water balance model to estimate evapotranspiration of wheat and corn. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 1213-1225, 2011.
- PAYERO, J. O.; IRMAK, S.; Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. **Irrigation Science**, v. 26, p. 191–202, 2008.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, Austrália, v. 108, p. 39–51. 2012.
- PINHO, R. E. C. **Aplicação de vinhaça em cana-de-açúcar por gotejamento subsuperficial: dinâmica de íons e balanço de água**. 96 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2013.

- QUEIROZ, M. G. **Desempenho produtivo e parâmetros agrometeorológicos da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no Semiárido brasileiro**. 67 f. Dissertação (Mestrado Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.
- RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Guanabara Koogan S.A., RJ, 2014, 906 p.
- RIZZA, F. et al. Constitutive differences in water use efficiency between two durum wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 125, p. 49–60, 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**, Leuven, v.811, p.395-400, 2009.
- SANTOS, M V. F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JR, J. C. B. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204-215, 2010.
- SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; BATISTA, A. M. V. **Valor Nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 243-257, 2005.
- SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.
- 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**, Germany, v. 72, p. 434-441, 2006.
- STATSOFT. Inc. STATISTICA: Data Analysis Software System, version 7.0. 2004.
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

## **CAPÍTULO 2 – BENEFÍCIOS PRODUTIVO-ECONÔMICOS DO USO DE IRRIGAÇÃO EM ÁREAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA**

### **RESUMO**

Objetivou-se determinar o incremento produtivo e a viabilidade econômica do uso de irrigação em um cultivo de palma forrageira no Semiárido. Os clones avaliados foram Orelha de Elefante Mexicana (OEM), IPA Sertânia (IPA) e Miúda (MIU) com 18 meses (Março 2012 - Agosto 2013), submetidas à três lâminas de irrigação (L1: 2,5 mm; L2: 5,0 mm e L3: 7,5 mm) em três frequências de reposição (F1: 7 dias; F2: 14 dias e F3: 28 dias), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em parcelas sub-subdivididas. A resposta produtiva da cultura às condições de disponibilidade de água no solo foi calculada por meio dos dados de biomassa verde e seca, obtidas na ocasião da colheita. Foi feito um levantamento dos custos de produção para estudo da análise econômica (AE) para as diferentes condições de cultivo. A partir dos dados produtivos obtidos aos 18 meses, estes foram extrapolados para período de 24 meses para simulação da AE para os Cenários 1 (1º corte), 2 (2º corte), 3 (3º corte) e 4 (4º corte), em função da vida útil do sistema de irrigação (8 anos). Não houve efeito ( $p>0,05$ ) das lâminas e/ou frequências de irrigação adotadas, no entanto, entre os clones, a OEM apresentou maiores produtividades de matéria verde e seca ( $p<0,05$ ), com média de  $85\pm 17,91$  e  $6,56\pm 1,11$  ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em termos econômicos, o custo total médio de produção de palma forrageira irrigada foi de R\$ 7.911,42 ha<sup>-1</sup>. O clone OEM ( $p<0,05$ ), apresentou receita líquida (RL) de R\$ 607,80 e a relação benefício custo (B/C) 0,08, quando destinada à venda como forragem, indicando a não viabilidade para 18 meses. Por outro lado, a MIU apresentou os maiores valores de RL e B/C ( $p<0,05$ ), com média de R\$ 58.610,57 e 7,41, respectivamente. Em relação aos cenários a RL e B/C com à venda destinada a forragem variou de R\$ 2.453,91 a 12.478,45 e 0,27 a 9,30 (OEM), e a venda como semente R\$ 79.790,90 a 87.361,49 e 8,96 a 65,45 (MIU), respectivamente. Assim, a venda dos cladódios destinados à “semente” proporcionou maior viabilidade econômica em sistema de cultivo de palma forrageira irrigada no Semiárido.

**Palavras-chave:** *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillífera*, irrigação, produtividade, análise econômica

## CHAPTER 2 – PRODUCTIVE-ECONOMIC BENEFITS OF THE USE OF IRRIGATION IN CACTUS GROWING AREAS

### ABSTRACT

The aim of this study was to determine the production increase and the economic feasibility of the irrigation use in a forage cactus cultivation in semi-arid. The clones evaluated were Orelha de Elefante Mexicana (OEM), IPA Sertânia (IPA) and Miúda (MIU) 18 months (March 2012 - August 2013), submitted to three irrigation levels (L1: 2.5 mm; L2: 5.0 mm and L3: 7.5 mm) in three spare frequencies (F1: 7 days; F2: 14 days and F3: 28 days), arranged in design in randomized blocks, with three replications in sub-split plot. The culture of the productive response to water availability conditions in the soil was calculated by the data fresh and dry biomasses obtained in the harvest occasion. a survey of production costs was made to study the economic analysis (EA) for the different conditions. From the production data at 18 months, they were extrapolated to 24 months for simulation AE for scenarios 1 (1° cut), 2 (2° cut), 3 (3° cut) and 4 (4° cut), depending on the lifetime of the irrigation system (8 years). There was no effect ( $p>0.05$ ) of the blades and/or irrigation frequency adopted, however, among the clones, the OEM showed higher yields of green and dry matter ( $p<0.05$ ), with a mean of  $85\pm 17.91$  and  $6.56\pm 1.11$  ha<sup>-1</sup> ton<sup>-1</sup>, respectively. In economic terms, the average total cost of irrigated forage palm production was R\$ 7,911.42 ha<sup>-1</sup>. OEM clone ( $p<0.05$ ), reported net revenue (RL) of R\$ 607.80 and the benefit cost (B/C) 0.08 when intended for sale as fodder, indicating no viability for 18 months. On the other hand, the MIU showed the highest RL values and B/C ( $p < 0.05$ ), with an average of R\$ 58,610.57 and 7.41, respectively. Regarding the scenarios RL and B/C with the sale for fodder ranged from R \$ 2,453.91 to 12,478.45 and 0.27 to 9.30 (OEM), and sale as seed R\$ 79,790.90 to 87,361.49 and from 8.96 to 65.45 (MIU), respectively. Thus, the sale of cladodes intended to "seed" provided greater economic viability of irrigated forage palm cultivation system in semiarid region.

**Keywords:** *Opuntia stricta*, *Nopalea cochenillífera*, irrigation, yield, economic analysis

## 1 – INTRODUÇÃO

As áreas apropriadas para a atividade agrícola no Semiárido brasileiro são bastante reduzidas (LIRA et al., 2006). Como consequência, a pecuária acaba sendo uma das principais atividades, explorada de maneira extensiva, e que utiliza a Caatinga como fonte alimentar. Porém, essa vegetação possui característica sazonal, como resultado das condições adversas de clima e solo, gerando assim baixa capacidade de suporte (ARAÚJO et al., 2006; SANTOS et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2010). Assim, o cultivo de espécies forrageiras perenes, adaptadas a esses ambientes, torna-se uma alternativa para a sustentabilidade de produção nessa região.

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) possui Metabolismo Ácido das Crassuláceas, e consequentemente elevada eficiência no uso da água (NASCIMENTO et al. 2011 WINTER et al. 2011), e se destaca como um volumoso suculento muito importante para os rebanhos, sobretudo nos períodos de secas prolongadas (LOPES, 2010; MORAIS & VASCONCELOS, 2007; REYES-AGUERO et al., 2005). A sua maior área plantada está no Semiárido brasileiro, com 500.000 hectares, o que possibilita a alimentação de caprinos e ovinos (cerca de 10 milhões) (CHIACCHIO et al. 2006; SANTOS et al., 2006).

Atualmente, duas espécies de palma forrageira estão sendo cultivadas em larga escala no Brasil: *Opuntia ficus-indica*, com cultivares gigante e redonda, e *Nopalea cochinilifera*, com a cultivar miúda ou doce (FABRICANTE & FEITOSA, 2014). Em Pernambuco, há predominância de três cultivares: IPA Sertânia e miúda ou doce (*Nopalea cochinilifera*), Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*). Estas últimas resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* (Cockerell)) (Hemiptera: Dactylopiidae), uma das principais pragas da cultura responsável pelos maiores níveis de danos econômicos.

Apesar de serem cultivares resistentes à cochonilha-do-carmim, diversos insetos ocorrem sobre as cactáceas forrageiras, porém outra praga para a palma forrageira no Nordeste do Brasil é a cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti* (Bouché, 1833)) (Hemiptera, Diaspididae), responsável por causar diversos danos e prejuízos culturais. De

acordo com Santos et al. (2006) é um inseto cosmopolita que ocorre em todas as regiões onde a cactácea é cultivada. A praga infesta às raquetes ou artículos com suas colônias, onde formas jovens e adultas protegidas por uma escama ou escudo de cera dificulta às medidas de controle, sugam a seiva para se alimentar, causando inicialmente dano direto, pela ação espoliadora, quando as raquetes começam a apresentar clorose. Em seguida, vem o dano direto, que por se tratar de um inseto picador-sugador, abre orifício por onde penetram microrganismos que causam o apodrecimento e queda das raquetes e, conseqüentemente, a morte da planta.

Conforme Almeida (2011) e Lenzi & Orth (2012), para a obtenção de elevadas produtividades da palma e a sua manutenção ao longo dos sucessivos cortes, aspectos como correção do solo, adubação, técnica de plantio, controle de plantas daninhas, controle de pragas e doenças, manejo correto de colheita e o uso de cultivares melhoradas devem ser considerados. Além desses aspectos, estudos (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; CONSOLI et al., 2013; QUEIROZ, 2014) tem mostrado que o uso de irrigação no sistema de produção da palma forrageira é uma ótima opção para incrementar o rendimento anual da cultura, pois promove melhorias em características como o crescimento da planta, número de cladódios por planta, índice de área do cladódio e acúmulo de biomassa, relacionadas com a sua produtividade.

No entanto, essas informações ainda são escassas, fazendo com que a irrigação ainda não seja adotada como uma prática habitual no sistema de produção, uma vez que os produtores não possuem referências quanto ao real benefício produtivo-econômico do uso de irrigação em áreas de cultivo de palma forrageira.

Segundo Carvalho (2003), o potencial de áreas irrigáveis com recursos hídricos locais no Semiárido brasileiro, incluindo as terras do Vale do São Francisco inseridas no Polígono das Secas, é de cerca de 35.000 km<sup>2</sup>, ou aproximadamente 3,6% da área total. Todavia, parte das águas superficiais e subsuperficiais é de fonte cristalina, apresentando composição química e elevada concentração de sais. Além disso, na maioria das vezes os solos são rasos e de difícil drenagem, o que potencializa a salinização dessas áreas (LEPRUN, 1983).

Nas regiões produtoras tradicionais do Nordeste, onde a prática da irrigação é feita de forma suplementar, a viabilidade econômica dessa prática não é muito discutida, sendo assim, carente de estudos. Nesse contexto, para que a implementação dos sistemas seja economicamente viável, é necessário que os benefícios gerados com o uso da irrigação sejam positivos e superem os retornos provenientes da cultura em condições de sequeiro, ou seja,

que o ganho monetário pela elevação da produtividade compense a elevação do custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização dos sistemas de irrigação (ARÊDES et al., 2007).

Um fator que leva o irrigante a escolher qual o equipamento de irrigação a ser adquirido é o seu custo inicial de implantação. Mas, o sistema de menor investimento de aquisição não apresenta os menores custos operacionais, assim deve-se fazer simulação dos custos fixos e variáveis oriundos do sistema de irrigação adotado e do seu manejo (VIEIRA et al., 2011).

Na fase de planejamento para implantação de um novo modelo de produção são muitos os fatores que podem influenciar na adoção do sistema de irrigação, já que se trata de uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando indispensável a análise econômica dos componentes envolvidos (SILVA et al., 2003).

De acordo com Frizzone & Andrade Jr. (2005) e Fernandes et al. (2008), nesse tipo de análise é necessário considerar os custos anuais, que englobam os gastos com aquisição, operação e manutenção do sistema de irrigação, representados pelos custos fixos e variáveis. O custo fixo está associado à depreciação de cada componente do sistema de irrigação e dos juros aplicados sobre o capital investido na implantação, operacionalização e manutenção sistema. O custo variável inclui as despesas de operacionalização como energia, combustível, mão-de-obra, despesas de manutenção como reposições e consertos, de acordo com cada sistema adotado. Por isso, o uso do sistema de irrigação tem que proporcionar o aumento da lucratividade, em função do incremento da produção ou da qualidade do produto, ou permitir a exploração de áreas que não seriam possíveis de se cultivar sem o uso da irrigação.

De acordo com Bernardo (1995), o planejamento e a operação de um sistema de irrigação devem ser baseados nos objetivos e nas condições em que se executará o sistema. Em regiões onde a água é fator limitante, por exemplo, o objetivo deve ser a obtenção da máxima produção por unidade de água aplicada. Em outras condições, pode ser a obtenção de máxima produção por unidade de área cultivada, custo de mão de obra ou de energia consumida. Com base no exposto, objetivou-se determinar o incremento produtivo e a viabilidade econômica do uso de irrigação em um cultivo de palma forrageira no Semiárido.

## **2 - MATERIAL E MÉTODOS**

Este estudo foi conduzido em uma área de cultivo de palma forrageira na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, no município de Serra Talhada - PE (latitude: 7°59' S, longitude: 38°15' O e altitude: 431 m), microrregião do Vale do Pajeú, caracterizada por apresentar clima BShw' (Semiárido quente), segundo a classificação de Köppen (1936) citado por Alvares et al. (2014). O solo do município é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico franco arenoso, conforme classificação da Embrapa (2006).

Foram avaliados os clones Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 (*Opuntia stricta* (Haw) Haw), IPA Sertânia/IPA-200205 (*Nopalea cochenillífera*) e Miúda/IPA-100004 (*Nopalea cochenillífera*), plantados em espaçamento 1,6 x 0,2 m (31.250 plantas ha<sup>-1</sup>) com 50% dos cladódios enterrados no solo. Antes do plantio, realizou-se aragem e gradagem do solo, seguida de adubação nitrogenada com 130 kg ha<sup>-1</sup> de ureia e adubação orgânica, utilizando esterco bovino (3000 kg ha<sup>-1</sup>), de acordo com Dubeux Jr. et al. (2006). O plantio foi realizado em fevereiro de 2010, e durante o primeiro ciclo bienal (dois anos), a cultura foi conduzida em condições de sequeiro, sendo realizado o primeiro corte em fevereiro de 2012. A partir desse momento, iniciou-se o período experimental do presente estudo, quando foi realizada a implantação do sistema de irrigação e eventos de adubação química com NPK (14-0-18, e 16 de S) foram feitos mensalmente. Esse estudo teve duração 534 dias (18 meses), ocorridos no período de março de 2012 a agosto de 2013.

Os clones foram irrigados por meio de fitas de gotejo com furos espaçados a cada 0,20 m, e vazão de 1,25 L h<sup>-1</sup> à pressão de 1 atm. As irrigações foram realizadas considerando três condições de disponibilidade de água, ou seja, adotando-se lâminas fixas (2,5, 5,0 e 7,5 mm), as quais foram dispostas nas parcelas experimentais, considerando para cada uma das lâminas três intervalos de reposição de água no solo (7, 14 e 28 dias), sendo estes correspondentes a subparcela e os três clones de palma forrageira a sub-subparcela. Adjacente aos blocos experimentais foram implantadas nove parcelas (três por clone) para a sua condução sob condição de sequeiro. As condições foram dispostas em blocos ao acaso, com três repetições, totalizando 90 sub-subparcelas, contendo cada uma quatro fileiras com 20 plantas cada. Para definição das lâminas tomou como referência o trabalho pioneiro no mundo de irrigação de palma forrageira da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), com aplicação de 5 mm a cada 14 dias (LIMA, 2006).

Ao final do experimento foram obtidos dados de biomassa fresca (MV), por meio de amostragem e pesagem de todas as plantas úteis de cada sub-subparcela (32 plantas por sub-



subparcela), as quais foram cortadas deixando-se apenas o cladódio basal e obteve-se o peso por meio de uma balança portátil de 5g de precisão. Os cladódios foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel e conduzidos a uma estufa de ventilação forçada a 65°C laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, até a obter-se massa constante (MS).

Na colheita, também foi contabilizado o número de plantas afetadas por algum tipo de praga ou doença capaz de causar dano econômico como a redução do rendimento da cultura. Por meio dessa informação, foi calculado o índice de infestação da cultura (IFC):

$$IFC(\%) = \left( \frac{NPS_{doente}}{NPS_{sadia}} \right) \times 100 \quad (1)$$

onde,  $NPS_{doente}$  = número de plantas doentes no stande (considerando uma infestação > 50% da planta, como doente);  $NPS_{sadia}$  = número de plantas sadias no stand (unidade).

Para análise econômica do uso de irrigação foi realizado levantamento dos valores da compra dos equipamentos em comércios de produtos agropecuários nas cidades de São José do Belmonte - PE, Serra Talhada - PE e Petrolândia - PE, gerando o orçamento total do projeto. Considerou-se, como equipamentos: tubulações, conexões, conjunto moto-bomba, filtros e válvulas da sucção ao recalque.

Foram computados os custos fixos de depreciação dos componentes do sistema (DC) e dos juros sobre o capital investido (JC); e os custos variáveis de energia elétrica (CEE), de mão de obra (CMO) e manutenção dos componentes do sistema (CMC). Para o cálculo dos custos de depreciação dos equipamentos foi usada a equação (FERNANDES et al., 2008):

$$DC = \frac{[(VAC) - (0,2 \times VAC)]}{VU} \quad (2)$$

onde, DC = depreciação do componente do sistema (R\$); VAC = valor de aquisição do componente (R\$); VAC = valor residual ou de sucata (R\$); VU = vida útil (anos). O valor residual ou de sucata foi calculado por 20% do valor de compra do componente.

O custo de oportunidade foi medido com o custo dos juros do mercado financeiro sobre o capital investido (JC), considerando uma taxa de 7,2% ao ano sobre o valor de aquisição dos equipamentos conforme equação (FRIZZONE & ANDRADE Jr., 2005):

$$JC = TAJ \times VAE \quad (3)$$

em que, JC = juros sobre o capital investido (R\$); TAJ = taxa anual de juros (%) e VAE = valor de aquisição dos equipamentos (R\$).

Os custos de energia elétrica foram obtidos considerando o valor cobrado pelo kWh (R\$ = 0,07 kWh) pela companhia energética de Pernambuco – CELPE (2014), para classe rural irrigante - consumo da madrugada (21:30h as 6h) - Res. Norm. ANEEL 207/06; tempo em horas anuais de funcionamento do equipamento (média 444 h ano<sup>-1</sup>) e potência exigida do conjunto motobomba (5 cv), pela equação (MENDONÇA, 2001):

$$CEE = V_{\text{kWh}} \times T \times \left( \frac{736 \times \text{Pot}}{1000 \times \eta} \right) \quad (4)$$

onde, CE = custo com energia (R\$);  $V_{\text{kWh}}$  = valor do kWh (R\$); T = tempo total de funcionamento do sistema de irrigação (h), variável para cada tratamento; Pot = potência do conjunto moto-bomba (cv) e  $\eta$  = rendimento do conjunto motobomba (decimal).

Os custos de mão de obra e manutenção dos diferentes sistemas foram computados utilizando-se dados de Fernandes et al. (2008) e Keller & Bliesner (1990) com as equações:

$$\text{CMO} = \text{AS} \times \text{EMS} \times \text{SM} \quad (5)$$

$$\text{CMC} = \text{VPM} \times \text{VAC} \quad (6)$$

onde, CMO = custo anual de mão de obra (R\$); AS = área do sistema (ha); EMS = exigência média de mão de obra do sistema (número de homens por ha); SM = salário mínimo atual brasileiro, incluindo os encargos tributários (R\$); CMC = custo anual de manutenção dos componentes do sistema (R\$); VPM = valor percentual médio anual para manutenção dos componentes do sistema (decimal); e VAC = valor de aquisição do componente (R\$). Os valores EMS utilizados foram: gotejamento (0,04 homem ha<sup>-1</sup>), e VPM: tubulações enterradas (0,5%), tubulações em superfície (1%), estruturas (1,5%), motobombas (6%), emissores (7%) e filtros (8%).

Foram adicionados 5% sobre o valor dos custos variáveis como reserva de contingência, que pode ser utilizada em casos emergenciais como falhas humanas, mecânicas ou do sistema (FERNANDES et al., 2008). Os custos referentes ao consumo de água não foram levados em consideração, visto que, na região referente à simulação ainda não se faz cobrança pelo uso da água, ou seja, outorga pelo uso de água. Ao final das simulações, foram obtidos os custos totais de produção, receita bruta e líquida, e a relação benefício/custo por meio das equações:

$$\text{CTP} = \sum(\text{CF} + \text{CV}) \quad (7)$$

onde, CTP = custos totais de produção (R\$); CF = custos fixos (R\$); CV = custos variáveis (R\$).

$$RB_{VF} = Y \times \text{valorY} \quad (8)$$

$$RB_{VC} = (NP \times NTC) \times \text{valorC} \quad (9)$$

onde,  $RB_{VF}$  = receita bruta obtida pela venda da palma como forragem (R\$);  $RB_{VC}$  = receita bruta obtida pela venda do cladódio como “semente” (R\$);  $Y$  = rendimento da cultura (ton ha<sup>-1</sup>);  $\text{valorY}$  = valor do rendimento da cultura (R\$ ton<sup>-1</sup>), considerando R\$ 100,00 ton;  $NP$  = número de plantas (número de plantas ha<sup>-1</sup>);  $NTC$  = número total de cladódio (unidade);  $\text{valorC}$  = valor do cladódio (R\$ unid.<sup>-1</sup>), considerando R\$ 0,15 unid. cladódio:

$$RL_{VF} = RB - CTP \quad (10)$$

$$RL_{VC} = RB - CTP \quad (11)$$

onde,  $RL$  = receita líquida (R\$).

$$\frac{B}{C} = \frac{RL}{CTP} \quad (12)$$

onde,  $B/C$  = relação benefício/custo (>1, indica viabilidade econômica).

Em casos, em que os valores por tonelada de forragem ou unidade de cladódio adotados não indicaram viabilidade econômica, foi calculado o custo unitário de produção por meio da equação 13:

$$CUP = \frac{Y \text{ ou } NTC}{CTP} \quad (13)$$

onde,  $CUP$  = custo unitário de produção (R\$ ton<sup>-1</sup> ou R\$ unid.<sup>-1</sup>). Obtido o valor do  $CUP$ , foi acrescentado a este 10% como sendo o lucro mínimo desejado no empreendimento, definindo assim, o preço de venda a ser adotado em cada caso para garantia de viabilidade econômica.

A vida útil dos equipamentos foram obtidos de Fernandes et al. (2008) e Frizzone & Andrade Jr. (2005), que consideraram 8 anos para o sistema de irrigação por gotejamento. Desse modo, a fim de verificar o tempo de retorno do investimento no sistema de irrigação durante a vida útil do sistema de irrigação (2, 4, 6 e 8 anos) através da extrapolação dos valores de rendimento e número total de cladódios para períodos de 24 meses (2 anos), foram simulados os seguintes cenários:

- Cenário 1: Admitindo-se que rendimento dos clones foram obtidos após 24 meses, mantendo-se somente cladódios basais, e, sendo este considerado como o primeiro ciclo de cultivo (1º corte). Foi considerado o custo total de produção equivalente a este ciclo produtivo de modo a obterem-se os custos fixos e variáveis, receitas bruta, líquida e relação benefício/custo;

- Cenário 2: Considerando os rendimentos estimados para um período de 24 meses, a partir do 1º corte, ou seja, do segundo ao quarto ano de cultivo dos clones de palma forrageira (2º corte). Nesse cenário, os custos totais de produção estiveram relacionados apenas com os custos variáveis (DC, JC, CEE, CMO, CMC e RC), uma vez que a cultura já estava implantada e com sistema de irrigação em operação. No (s) caso (s) em que a relação benefício/custo foi  $< 1$  (1º ciclo), ou seja, os gastos com o sistema foram superiores a receita líquida, parte da receita líquida do 2º ciclo foi destinada ao pagamento dos custos com a implantação da cultura;
- Cenário 3: Para este caso, foi considerado a renovação de toda área de cultivo com a remoção dos cladódios basais provenientes do 2º ciclo, mantendo-se apenas o sistema de irrigação, e posteriormente plantio de novos cladódios. O rendimento foi obtido para um período de 24 meses, a partir do 2º corte, ou seja, do quarto ao sexto ano de cultivo dos clones de palma forrageira sendo mantidos apenas os cladódios basais (3º corte). Nesse caso, foram levados em consideração todos os custos de implantação da cultura (CFs e CVs), uma vez que o palmar foi totalmente renovado;
- Cenário 4: Nesta última simulação os rendimentos foram estimados para igual período (24 meses), a partir do 3º corte, ou seja, do sexto ao oitavo ano de cultivo dos clones de palma forrageira (4º corte). Novamente, os custos totais de produção estiveram relacionados apenas com os custos variáveis. Este último cenário fecha o ciclo de vida útil do sistema de irrigação (8 anos).

Os dados de produtividade (MV e MS), NCT e análise econômica (RB, RL e B/C) foram submetidos à ANOVA e ao teste de média de Tukey (5%), utilizando-se o Software de Assistência Estatística – ASSISTAT Versão 7.7 beta (SILVA & AZEVEDO, 2009).

### **3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Figura 1 (A e B) são apresentados os valores totais de rendimento de matéria verde (MV) e seca (MS), obtidos aos 18 meses após o corte (DAC) dos clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM) - *Opuntia*, IPA Sertânia (IPA) e Miúda (MIU) - *Nopalea*, cultivados sob espaçamento de 1,6 x 0,2 m em função dos parâmetros avaliados no experimento. Não houve efeito ( $p > 0,05$ ) das lâminas e/ou frequências de irrigação adotadas. No entanto, o clone OEM apresentou valores superiores de matéria verde (MV) (Figura 1 A) e seca (MS) (Figura 1 B) ( $p < 0,05$ ) com média geral de 85 ( $\pm 17,91$ ) e 6,56 ( $\pm 1,11$ ) ton ha<sup>-1</sup>,

enquanto os clones IPA 63,09 ( $\pm 13,19$ ) e 4,12 ( $\pm 0,72$ ) ton ha<sup>-1</sup>, MIU 54,63 ( $\pm 12,99$ ) e 4,20 ( $\pm 0,91$ ) ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Também pode ser observado o rendimento médio de matéria verde e seca dos clones de palma forrageira IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, 62,92 e 4,62 ton ha<sup>-1</sup>, 45,92 e 3,98 ton ha<sup>-1</sup>, 101,19 e 8,27 ton ha<sup>-1</sup>, nessa ordem, obtidos em experimento conduzido paralelamente a este na condição de sequeiro, onde o mesmo recebeu 471,00 mm, proveniente da precipitação pluvial. O teor médio de MS de 7,77% ( $\pm 0,49\%$ ). Estes valores são próximos aos de Santos et al. (2006), que obtiveram 10,21%.

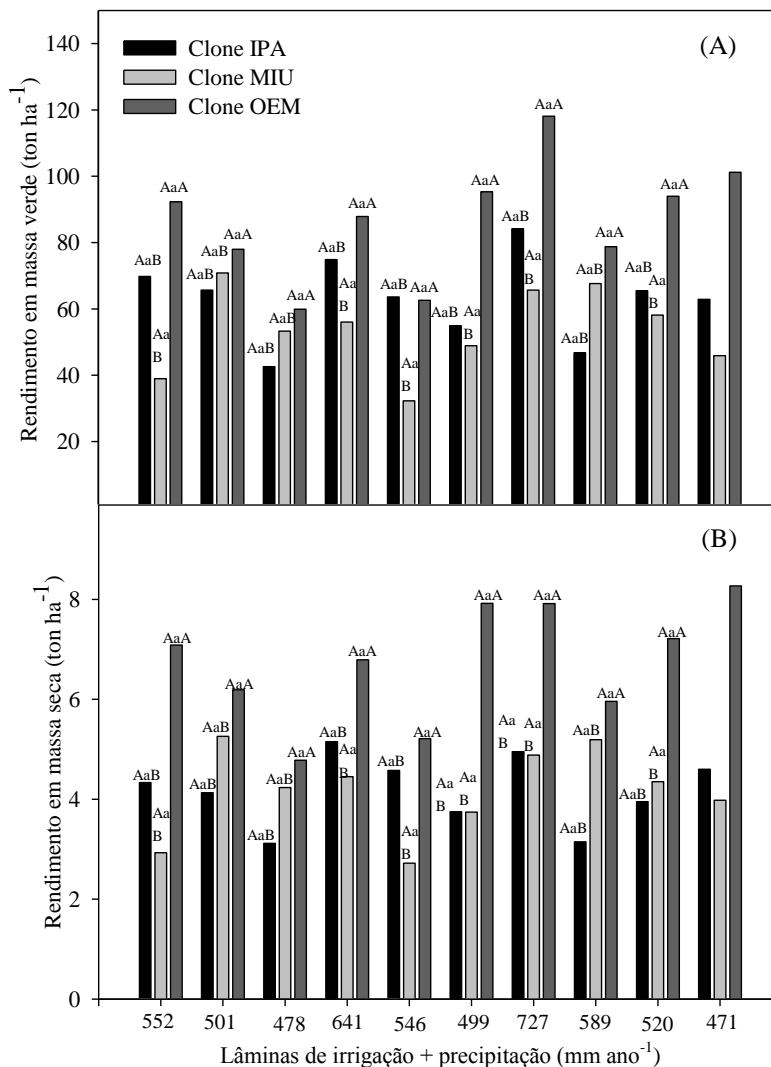
Os rendimentos em base verde são semelhantes ao por Nascimento (2008), que foi de 92,79 t ha<sup>-1</sup> de MV aos 330 dias após o plantio para cultivar Rendonda (*Opuntia ficus indica*) cultivada num espaçamento 1,7 x 0,10 m em regime de sequeiro com índice de precipitação pluvial de 823,67 mm ano<sup>-1</sup>. Dantas et al. (2015) obtiveram para o clone Miúda (*Nopalea*) submetida a irrigação por gotejamento com água salina (5,25 dS.m<sup>-1</sup>) e adubação orgânica com 50 ton ha<sup>-1</sup> de esterco bovino, uma produtividade média de 97,88 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para uma lâmina total de 800 mm ano<sup>-1</sup> na EMPARN - RN.

Durante o ciclo de cultivo da palma forrageira a temperatura média do ar foi de 26,2°C, com máxima de 32,6°C e mínima de 20,9°C e umidade relativa do ar média de 53%, com média da máxima e da mínima de 78,5% e 26,8%. De acordo com Lira et al. (2006), no Sertão pernambucano as noites quentes e baixos valores umidade do ar resultam em cladódios murchos. No Seridó e Sertão Central - RN, ocorrem murchas severas que chegam a inviabilizar a utilização da palma como reserva forrageira estratégica para o período seco (LIMA et al., 2010).

Para o índice de infestação (IFC, %) não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos avaliados. Os valores médios para os clones IPA (4,94%), MIU (5,58%) e OEM (7,76%) na condição irrigada e no experimento conduzido em sequeiro os valores médios 3,33%, 0,0% e 4,3%, respectivamente. De modo geral, as plantas conduzidas em condição irrigada apresentaram uma maior infestação pela Cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti*) e doenças como: Podridão de fusarium (*Fusarium solani*), Podridão escamosa (*Scytalidium lignicola*) e Podridão mole (*Erwinia carotovora*).

Segundo Santos et al. (2006), a Cochonilha de escama ocorre em todas as regiões onde a cactácea é cultivada, o inseto infesta a planta e causa danos diretos como clorose por meio do aparelho picador-sugador ao sugar a seiva para se alimentar e indiretos pela abertura de orifícios por onde penetram microrganismos que causam o apodrecimento e morte da planta,

podendo causar redução 100% na produtividade. Nas condições estudadas por Dantas et al. (2015) descritas anteriormente, observaram que a irrigação promoveu perdas no stand, ocasionadas pela podridão mole que chegaram a 7,14% na maior lâmina (30 mm mês<sup>-1</sup>).

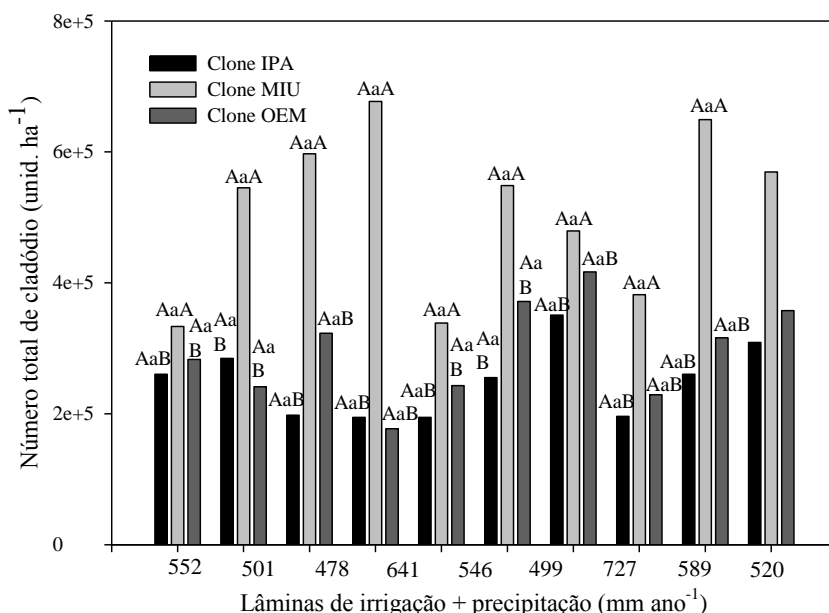


**Figura 1.** Rendimento de massa fresca (A) e seca (B) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

Como observado, o ataque da Cochonilha de escama, pode ser outra justificativa pra baixa produtividade, uma vez que a área irrigada foi mais infestada pela praga. A dispersão dessa praga pode ser por meio de formigas, vento e pelo homem. Portanto, ao se deslocar dentro da área de cultivo para aplicação dos tratamentos de irrigação feitos semanalmente e demais tratos culturais, o contato direto com as plantas infestadas contribuiu para essa dispersão. No cultivo de sequeiro o deslocamento dentro da área só era feita mensalmente para realização de capinas e adubação. Ainda de acordo com Santos et al. (2006), o

desenvolvimento inicial da Podridão de fusarium ocorre no cladódio basal causando, assim, a queda da planta e, é favorecido em solos com alta umidade.

O número total de cladódios (NTC) não apresentou diferença significativa entre as lâminas e frequências de irrigação ( $p > 0,05$ ) (Figura 2). Entre os clones avaliados a MIU apresentou um número total médio de 505.594,14 unid  $ha^{-1}$  ( $p < 0,05$ ), enquanto que a IPA e OEM, apresentaram valores em torno de 243.827,15 e 288.966,05 unid  $ha^{-1}$ , respectivamente. Silva et al. (2015) observaram em condições de sequeiro para a Miúda, no município de Serra Talhada-PE, um número médio de 1.093.750,00 unid  $ha^{-1}$ , durante um ciclo bienal. Para esta mesma cultivar, Leite (2009), observou o valor médio de 760.000 unid  $ha^{-1}$  num cultivo de 3 anos manejado com adubação organo-mineral e com densidade de 20.000 plantas  $ha^{-1}$ .



**Figura 2.** Número total de cladódios de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

Em termos de análise econômica, o custo total médio de produção de palma forrageira irrigada foi de R\$ 7.911,42  $ha^{-1}$  entre as lâminas e intervalos de reposição de água (Tabela 1).

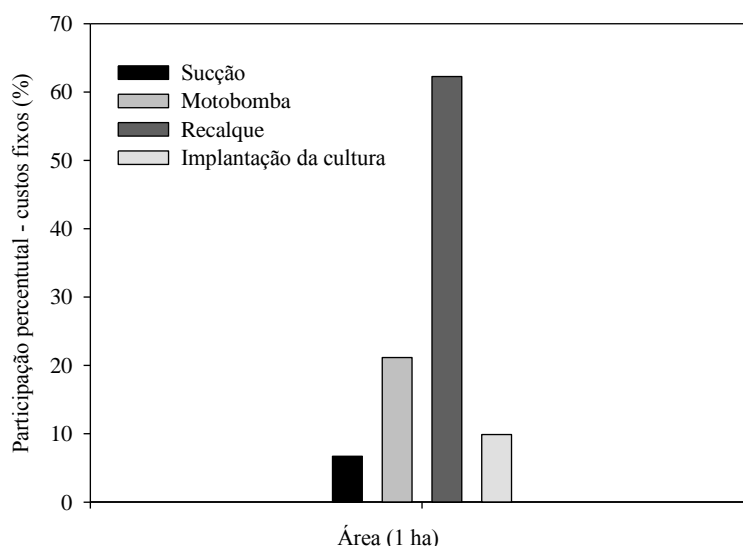
Nas Figuras 3 e 4, pode ser observada a participação percentual de cada componente nos custos fixos (CFs) e variáveis (CVs) no sistema de cultivo dos clones de palma forrageira. Em relação aos CFs, o componente recalque composto pelo filtro, válvulas, tubulações, fitas de gotejo e conexões representaram cerca de 62% do investimento, seguida do conjunto moto-bomba (21%). Para os CVs, a depreciação, juros sobre capital investido e mão de obra,

tiveram uma participação de 36%, 31% e 18%, nessa ordem. Segundo Vieira et al (2011), essa partição permite ao produtor a busca de alternativas que venham minimizar o custo de forma pontual, como por exemplo, uso de mão de obra da própria família, redução do diâmetro nominal das tubulações, etc.

**Tabela 1.** Custos (R\$ ha<sup>-1</sup>) dos equipamentos de irrigação e de implantação do sistema de cultivo exclusivo dos clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) sob diferentes lâminas e frequências de irrigação complementar em Serra Talhada - PE, Semiárido brasileiro.

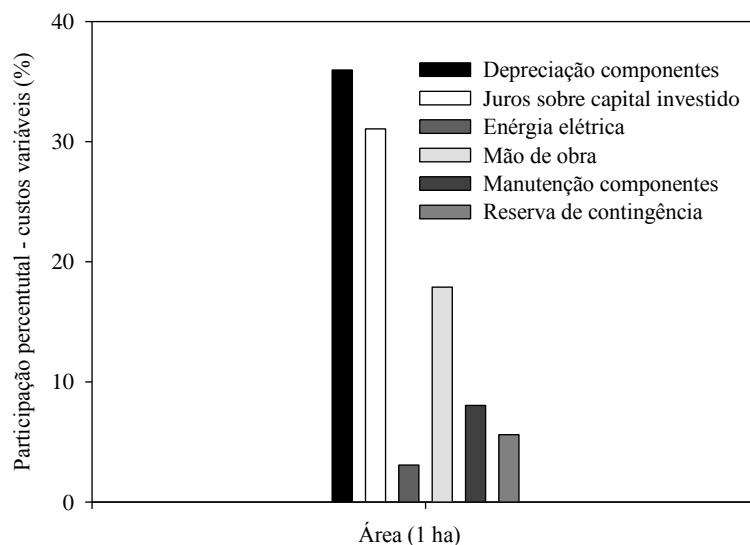
		Lâminas e frequências de irrigação + *precipitação pluvial								
Sistema		L2,5F7	L2,5F14	L2,5F28	L5,0F7	L5,0F14	L5,0F28	L7,5F7	L7,5F14	L7,5F28
Exclusivo		552	501	478	640	545	499	727	589	520
		mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>	mm ano <sup>-1</sup>
Custos fixos		6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4	6.372,4
Custos variáveis		1.533,5	1.516,1	1.507,0	1.568,2	1.533,5	1.515,4	1.602,7	1.550,7	1.523,7
Custo Total		7.905,9	7.888,5	7.879,4	7.940,6	7.905,9	7.887,8	7.975,1	7.923,1	7.896,1

\*precipitação pluvial (320,35 mm ano<sup>-1</sup>).



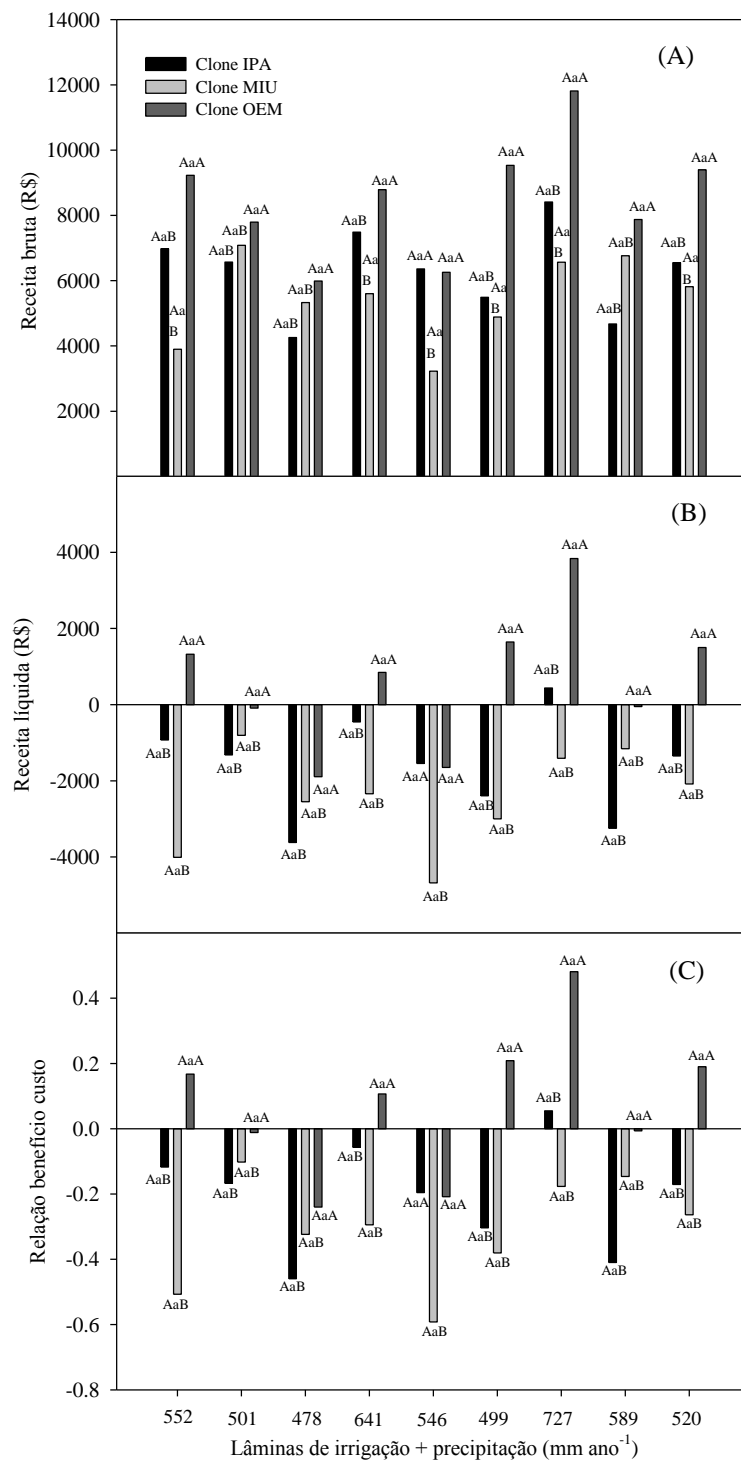
**Figura 3.** Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos fixos em cultivo exclusivo de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



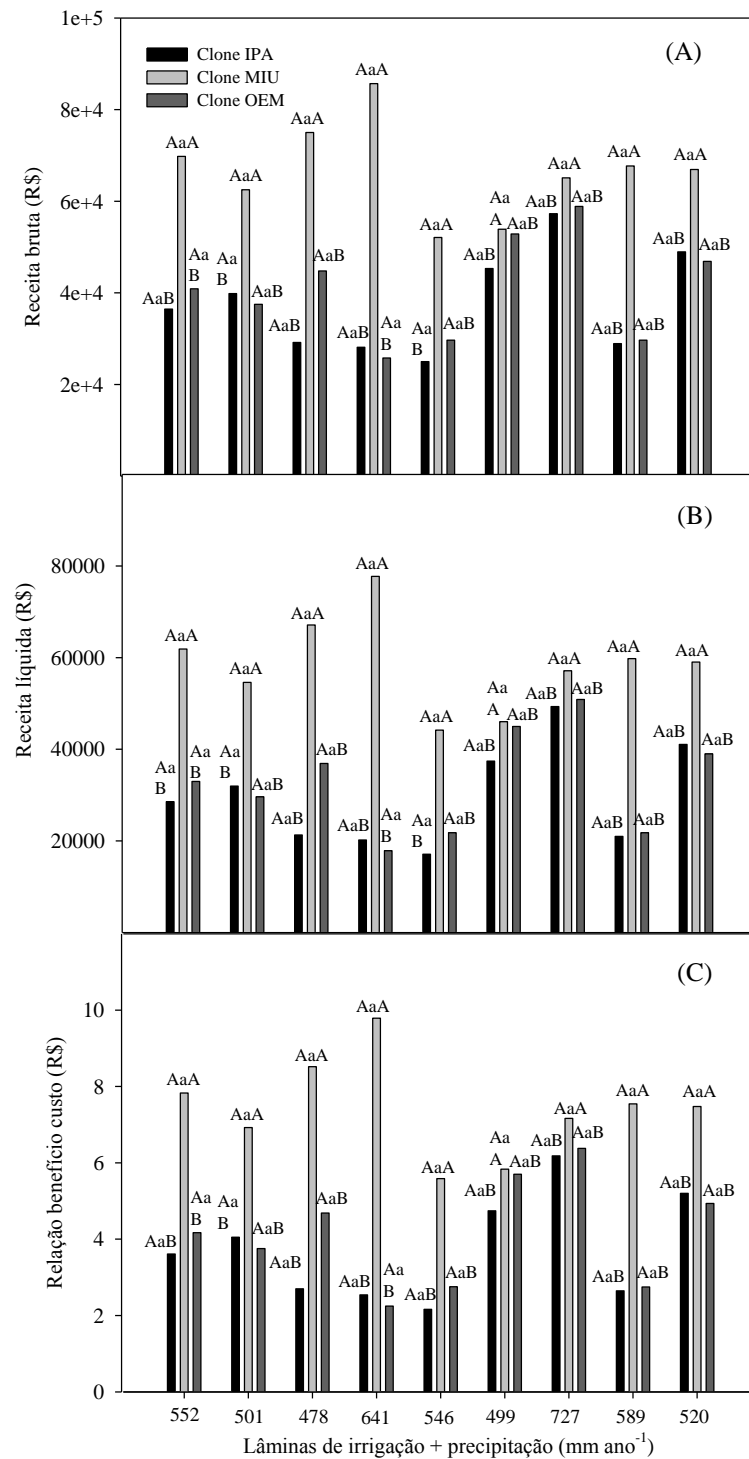


**Figura 4.** Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos variáveis em cultivo exclusivo de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

As receitas bruta e líquida e a relação benefício custo variaram conforme o destino final do produto (Figuras 5 e 6). Não houve efeito significativo das lâminas e intervalos de reposição ( $p > 0,05$ ). Porém o clone Orelha de Elefante Mexicana apresentou diferença significativa em relação aos outros clones ( $p < 0,05$ ), considerando-se a palma destinada à forragem, a receita líquida apresentou valor médio de R\$ 607,8 e a relação benefício custo ( $p < 0,05$ ) de 0,08, indicando a não viabilidade econômica para o primeiro ciclo de cultivo (18 meses), pois para cada R\$ 1,00 de investimento no sistema de produção há um retorno médio de apenas R\$ 0,08. Para os clones IPA Sertânia e Miúda, os valores médios receita líquida foram de R\$ -1.602,48 e R\$ -2.448,07 e a relação benefício custo -0,2 e -0,31, nessa ordem. Neste caso, para que o empreendimento seja viável e o produtor tenha um lucro mínimo de 10% já no primeiro ciclo, a tonelada de forragem de cada um dos clones deve ser vendida a um preço médio acima de R\$ 115,00 (OEM), R\$ 180,00 (MIU) e R\$ 155,00 (IPA).



**Figura 5.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 6.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), em cultivo exclusivo sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

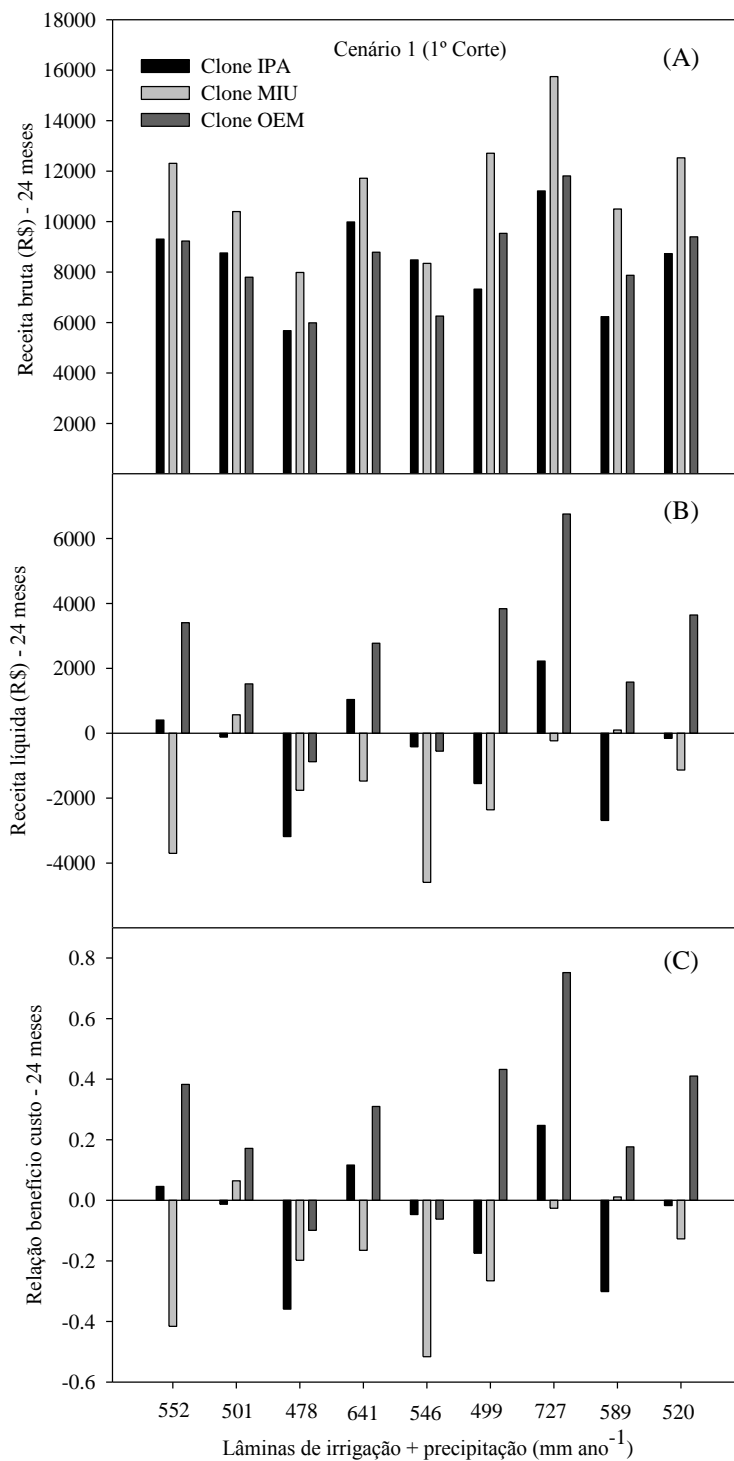
Já considerando a venda dos cladódios como “semente” (Figura 6), o clone Miúda apresentou valores superiores de receita líquida e benefício custo ( $p < 0,05$ ) com médias de R\$

58.610,57 e 7,41, respectivamente, ou seja, para cada R\$ 1,00 de investimento há um retorno médio de R\$ 7,41. Para os clones IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana, os valores médios receita líquida foram de R\$ 37.673,61 e R\$ 32.858,28 e a relação benefício custo 3,76 e 4,15, nessa ordem.

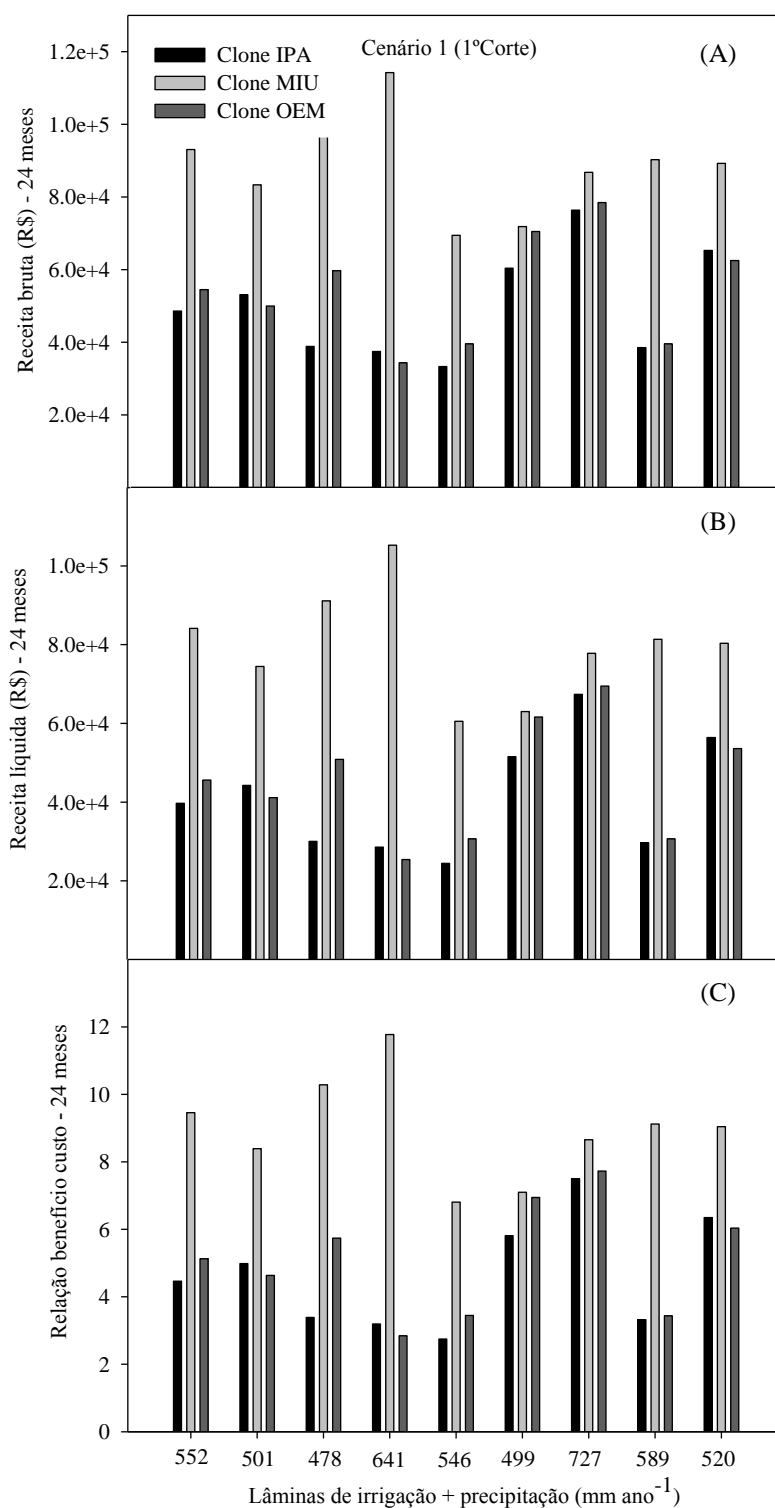
Cabe destacar que esse tipo de sistema de irrigação (gotejamento) tem uma vida útil média de 8 anos, assim, no segundo ciclo o custo total de produção será composto apenas pelos CVs, reduzindo de forma expressiva os gastos e aumentando a receita líquida e a relação benefício custo. Desse modo, nas Figuras 7 a 14 são apresentados os resultados das simulações da análise econômica para os cenários 1, 2, 3 e 4 considerando a destinação do rendimento para venda como forragem ou semente.

Para o Cenário 1 (Figura 7) quando os clones tiveram seu rendimento destinado à venda como forragem, observa-se que de modo geral as receitas do 1º corte não cobrem os gastos com a implantação do sistema. A receita líquida e a relação benefício custo média para todas as condições de disponibilidade hídrica foram de R\$ 2.453,95 e 0,27 (OEM), R\$ -493,91 e -0,06 (IPA), R\$ -1.620,55 e -0,18 (MIU), nessa ordem. Quando destinado à venda como semente no Cenário 1 (Figura 8), apresentaram valores médios de R\$ 79.790,99 e 8,96 (MIU), R\$ 45.454,57 e 5,10 (OEM), R\$ 41.326,48 e 4,64 (IPA), respectivamente. De acordo com Arêdes et al. (2007) e Silva et al. (2003) um estudo de análise econômica na fase de planejamento para implantação de um sistema de irrigação, torna-se indispensável já que se trata de uma tecnologia que requer investimentos significativos.

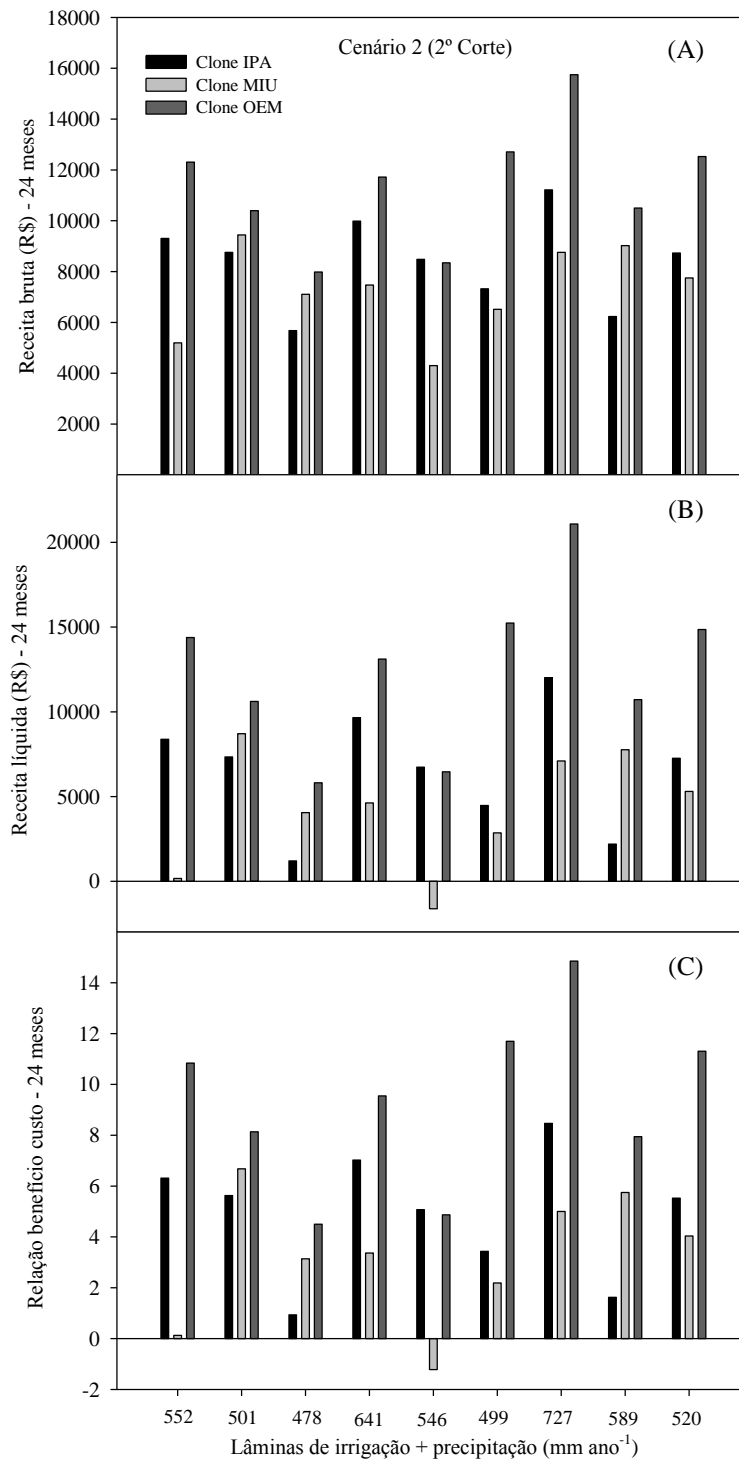
No Cenário 2 (2º corte) do segundo ao quarto ano (Figura 9), os valores médios da receita líquida e benefício custo, mostram que até na condição em que o rendimento é destinado a venda como forragem os benefícios já superam os custos com implantação do sistema e o produtor consegue pagar dívidas restantes do primeiro ciclo, apresentando os seguintes valores R\$ 12.478,40 e 9,30 (OEM), R\$ 7.416,99 e 4,89 (IPA), R\$ 4.329,41 e 3,23 (MIU). No segundo corte para o clone Orelha de Elefante Mexicana, para cada R\$ 1,00 investido, o produtor já tem um retorno de R\$ 9,30. Quanto à destinação como semente (Figura 10) os valores médios são R\$ 87.361,49 e 65,45 (MIU), R\$ 53.025,07 e 39,75 (OEM), R\$ 48.896,98 e 36,59 (IPA).



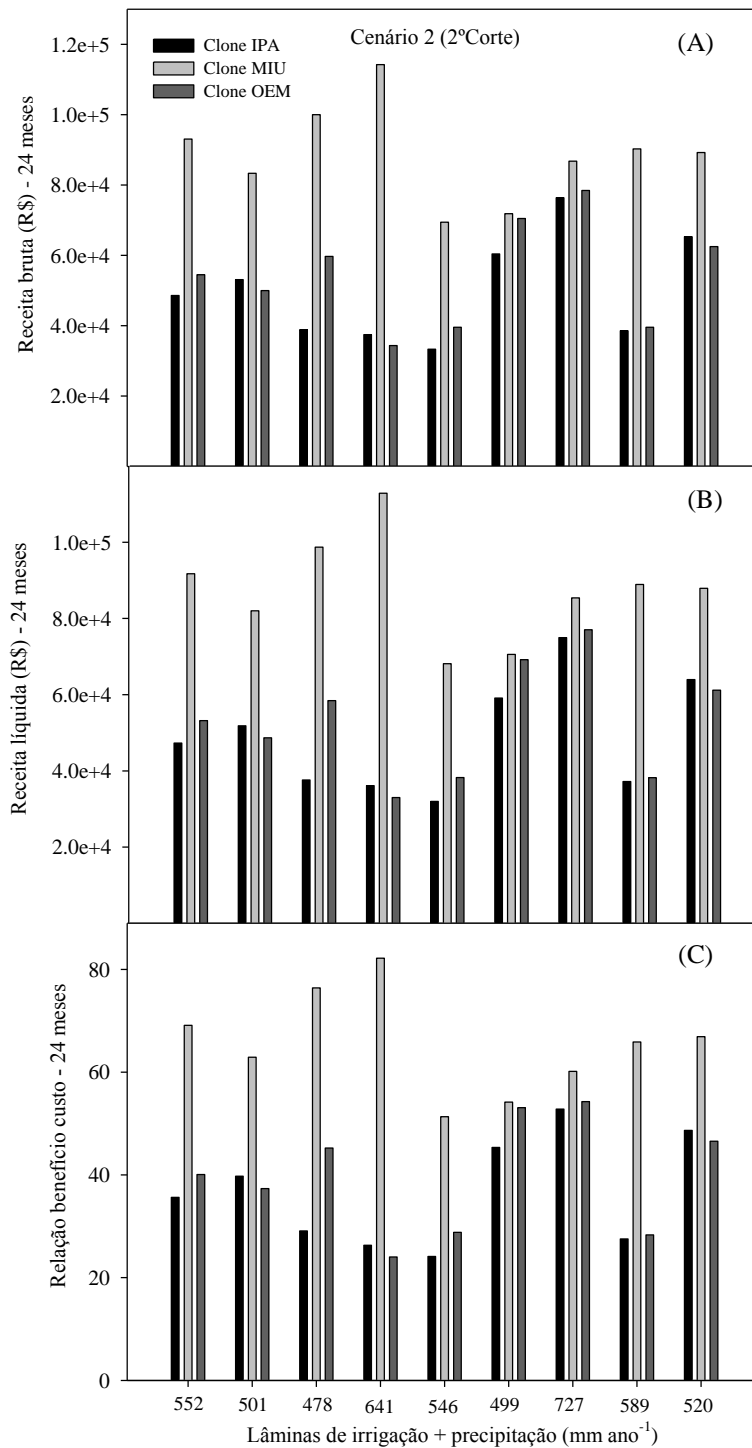
**Figura 7.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 1 (1º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 8.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 1 (1º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 9.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 2 (2º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

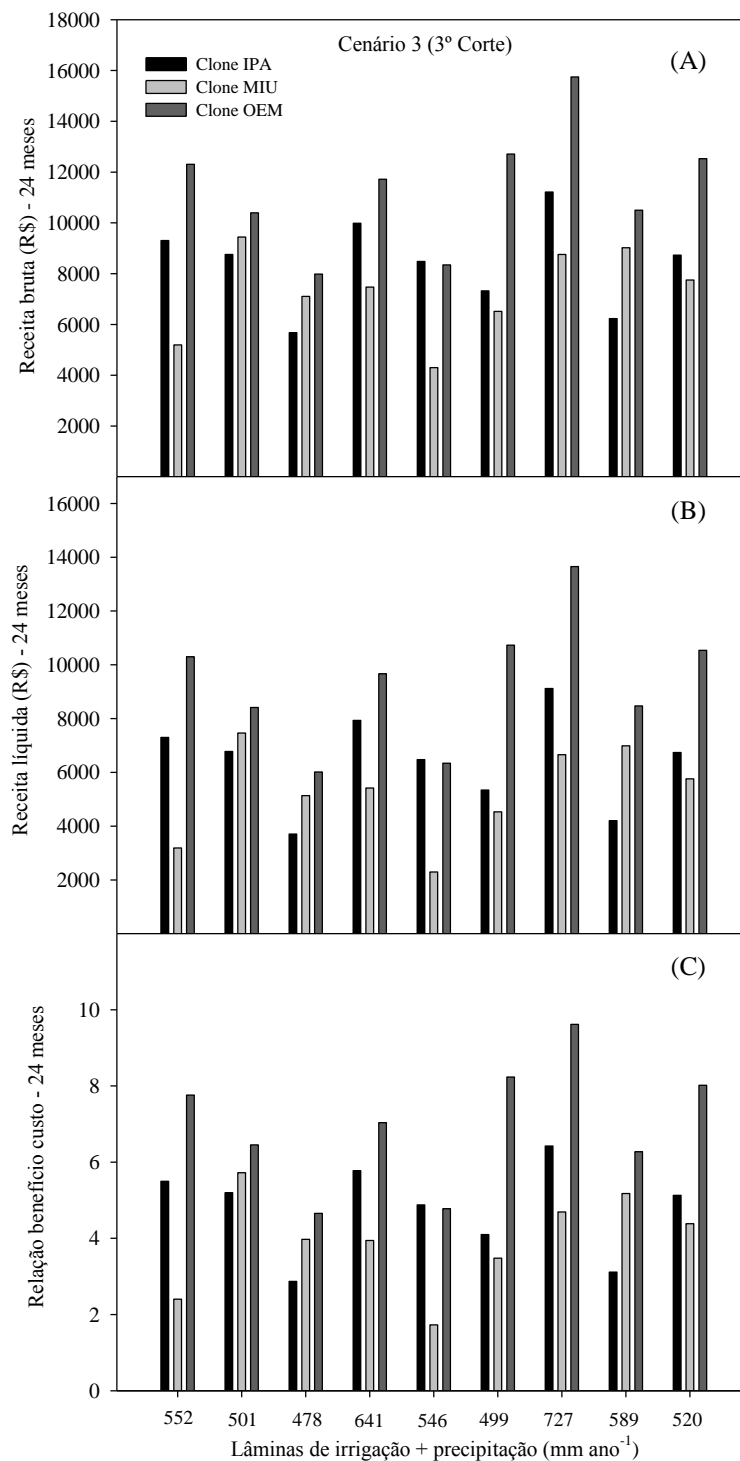


**Figura 10.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 2 (2º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

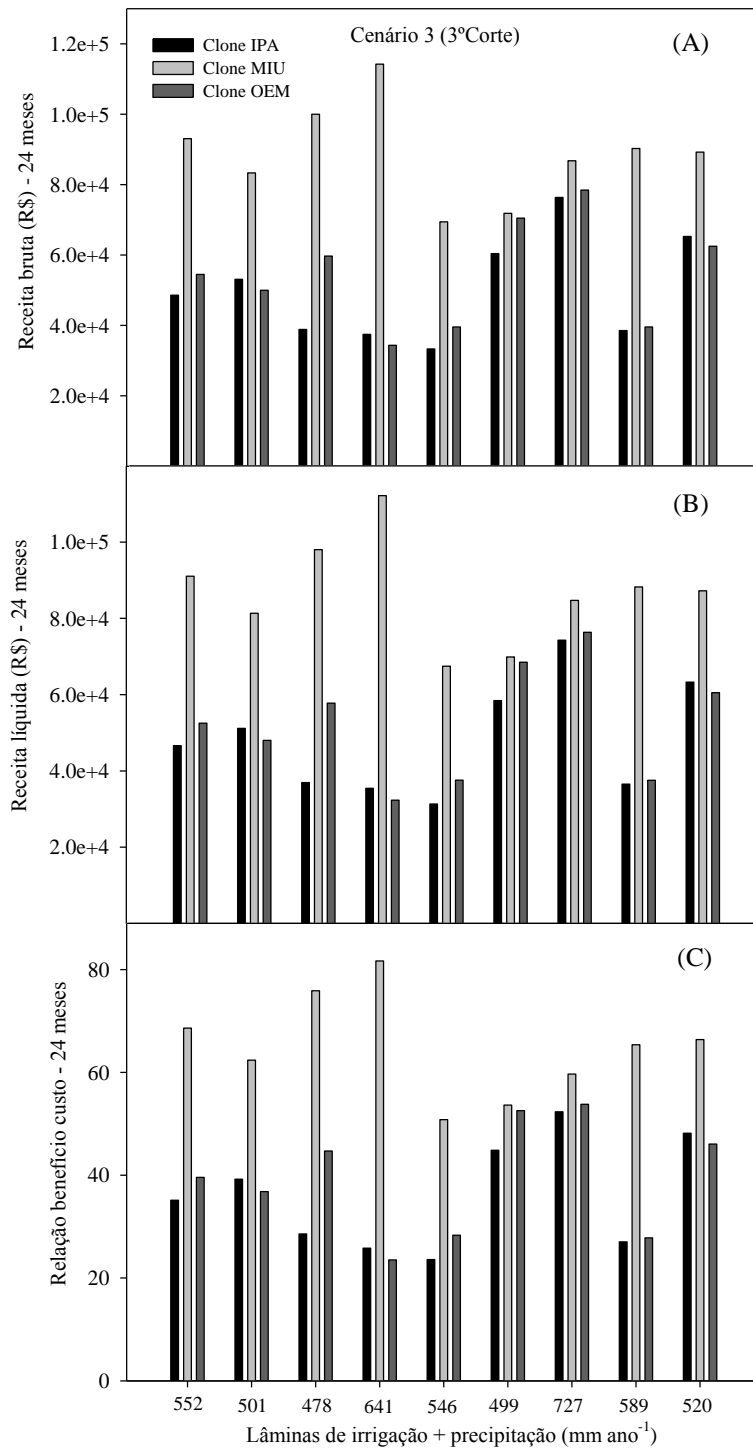


Para o Cenário 3 (Figura 11) quarto ao sexto ano, considerando que o palmar foi totalmente renovado, observa-se que as receitas do 3º corte cobrem os gastos com a implantação da cultura, uma vez que o sistema de irrigação foi mantido. A receita líquida e a relação benefício custo média para todas as condições de disponibilidade hídrica foram de R\$ 9.346,83 e 6,98 (OEM), R\$ 6.399,79 e 4,78 (IPA), R\$ 5.272,33 e 3,95 (MIU), nessa ordem. Quando destinado à venda como semente no Cenário 3 (Figura 12), apresentaram valores médios de R\$ 86.683,86 e 64,94 (MIU), R\$ 52.347,44 e 39,24 (OEM), R\$ 48.219,36 e 36,08 (IPA), respectivamente.

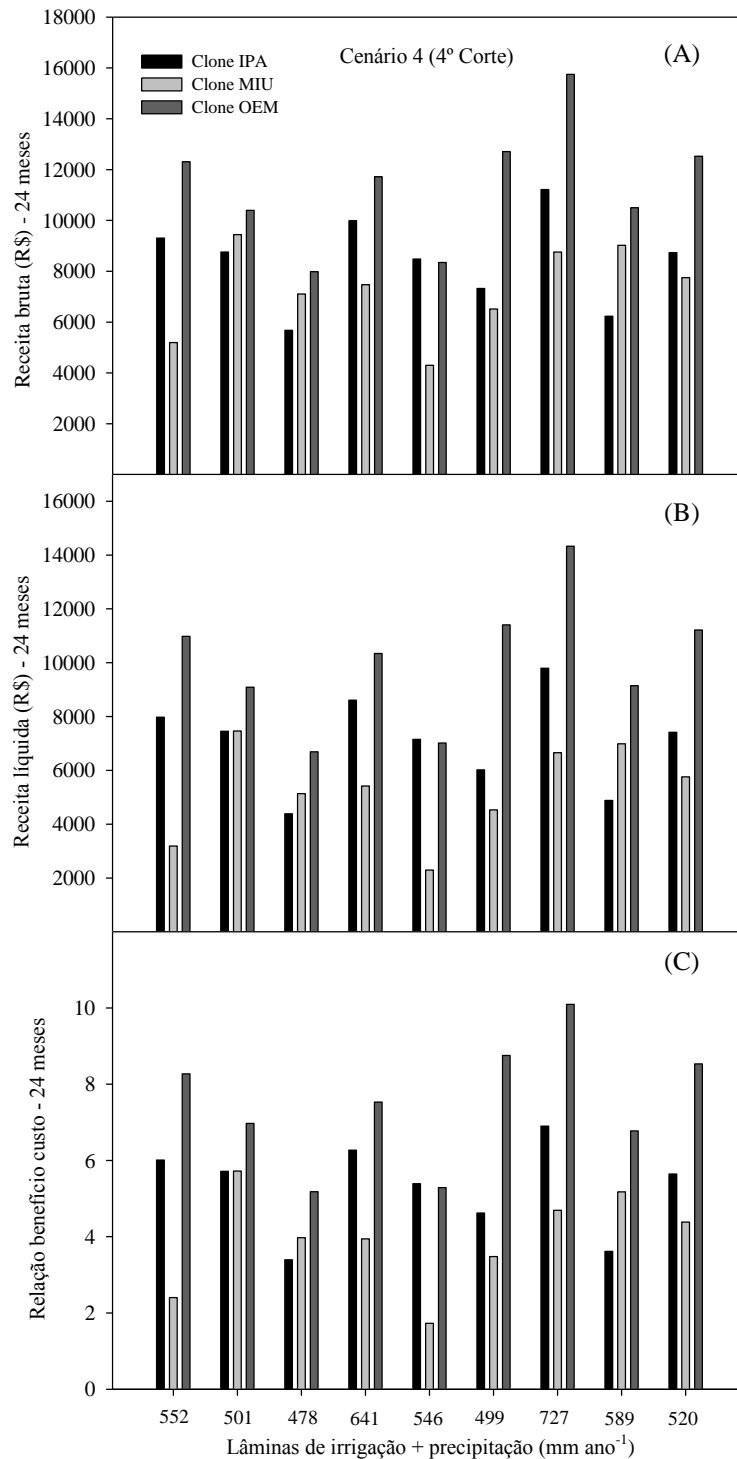
No Cenário 4 (4º corte) do sexto ao oitavo ano (Figura 13), os valores médios da receita líquida e benefício custo apresentaram os seguintes valores R\$ 10.024,45 e 7,49 (OEM), R\$ 7.077,91 e 5,28 (IPA), R\$ 5.949,96 e 4,45 (MIU) com a venda destinada a forragem. Assim, para o clone Orelha de Elefante Mexicana, a cada R\$ 1,00 investido o produtor tem um retorno de R\$ 7,49. Quanto à destinação como semente (Figura 14) os valores médios são R\$ 87.361,49 e 65,45 (MIU), R\$ 53.025,07 e 39,75 (OEM), R\$ 48.896,98 e 36,59 (IPA).



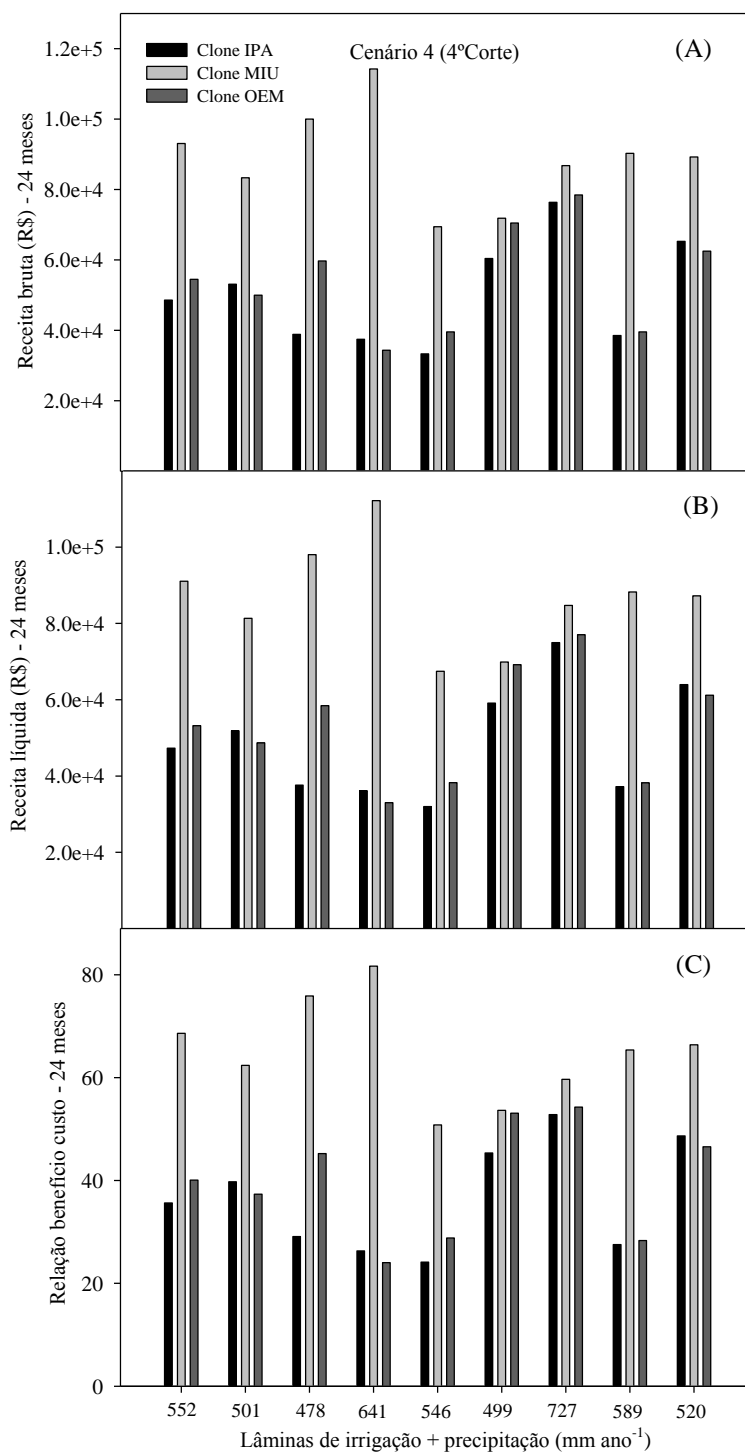
**Figura 11.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 3 (3º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 12.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 3 (3º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 13.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 4 (4º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como forragem em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.



**Figura 14.** Receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício custo (C) no Canário 4 (4º corte) de clones de palma forrageira, IPA Sertânia (*Nopalea cochenillífera*), Miúda (*Nopalea cochenillífera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar destinada para venda do cladódio como semente em Serra Talhada – PE, Semiárido brasileiro.

#### 4 - CONCLUSÕES

1. Os rendimentos de matéria verde e seca da palma forrageira irrigada com água salina durante 18 meses no Semiárido de Pernambuco foram inferiores aos observados em outras áreas irrigadas com a cultura, e semelhante a estudos realizados em condições de sequeiro.
2. A Orelha de Elefante Mexicana, do gênero *Opuntia*, em condições irrigadas apresentou o maior desempenho produtivo quando comparado aos demais clones (Miúda e IPA Sertânia) do gênero *Nopalea*.
3. Independentemente do clone, a venda dos cladódios como “semente” proporcionaram maior viabilidade econômica ao sistema exclusivo de palma forrageira.
4. Os cenários 1, 2, 3 e 4, mostraram para todas as condições estudadas independente do clone e destinação do rendimento que a partir do 2º corte o cultivo da palma forrageira irrigada demonstra viabilidade econômica.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. **A palma forrageira na região semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade.** 95 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2011.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. **In:** FERNANDES, M.S. Ed. Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa-MG, p. 253-280, 2006.
- ARÊDES, A. F. et al. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 5, n. 2, p. 207-226, 2007.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação.** 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.
- CHIACCHIO, F. P. B.; MESQUITA, A. S.; SANTOS, J. R. Palma forrageira: uma oportunidade econômica ainda desperdiçada para o semi-árido baiano. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 3, p. 39-49, 2006.
- 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**, Delaware, v. 1, p. 1-15, 2013.
- DANTAS, F. D. G. et al. Produtividade da palma Miúda sob irrigação com diferentes níveis de água salina e doses de adubação orgânica no semiárido do Rio Grande do Norte. **In:** 52ª BRASILEIRA DE ZOOTECNIA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE, Belo Horizonte, 2015.
- DUBEUX JR., J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A. 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.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2ª ed, 2006. 306 p.
- FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café.** 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476 p.
- FABRICANTE, J. R.; FEITOSA, S. S. **Palma Forrageira.** Grupo Cultivar de publicações Ltda. Artigo técnico. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/artigos/artigo.asp>>. Acesso em: 10/05/2014.

- FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Austrália, v. 70, p. 97-107, 2004.
- FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: EMBRAPA, 2005. 626 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 652 p, 1990.
- LEITE, M. L. M. V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- LENZI, M.; ORTH, A. I. Mixed reproduction systems in *Opuntia monacantha* (Cactaceae) in Southern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, São Paulo, v. 35, p. 49-58, 2012.
- LIMA, G. F. C. **Reservas estratégicas de forragem: Uma alternativa para melhorar a convivência dos rebanhos familiares com a seca**. Natal: EMPARN, 83p. (Série Circuito de Tecnologias Adaptadas para a Agricultura Familiar, 1), 2006.
- LIMA, G. F. C. et al. **Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, fenos e silagem**. Natal: EMPARN, 53 p. (Circuito de tecnologias adaptadas para a agricultura familiar, 7), 2010.
- LIRA, M. A. et al. Sistemas de produção de forragem: alternativas para a sustentabilidade da produção. **In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, p. 491-511, 2006.
- LOPES, E. B. et al. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmin (*Dactylopius opuntiae* cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.
- MENDONÇA, F. C. et al. **Evolução dos custos e avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura**. Uberlândia: UFU, p.45-78, 2001.
- MORAIS, D. A. E. F.; VASCONCELOS, A. M. Alternativas para incrementar a oferta de nutrientes no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 01-24, 2007.
- NASCIMENTO, J. P. **Caracterização morfolométrica e estimativa da produção de *Opuntia ficus-indica* Mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no semi-árido**



**da Paraíba, Brasil.** 47 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

NASCIMENTO, J. P. et al. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, p. 21-26, 2011.

OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, p. 27-37, 2010.

QUEIROZ, M. G. **Desempenho produtivo e parâmetros agrometeorológicos da Palma forrageira clone orelha de elefante mexicana no Semiárido Brasileiro.** 2014. 84f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2014.

REYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; HERNÁNDEZ, H. M. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactáceae). **Agrociência**, v. 39, n. 4, p. 395-408, 2005.

SANTOS, D. C. et al. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. IPA. **Documentos**, 30. 48 p, 2006.

SANTOS, M V. F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JR, J. C. B. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 204 - 215, 2010.

SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 34-74, 2003.

SILVA, F. A. S. E; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical assistance. **In: 7th World Congress on Computers in Agriculture**, 2009.

SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

VIEIRA, G. H. S. et al. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na agricultura**, v.19, n.1, p. 53-61, 2011.

WINTER, K.; GARCIA, M.; HOLTUM, J. A. M. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C<sub>3</sub> mode. **Journal of Experimental Botany**, Alemanha, v. 62, n. 11, p. 4037-4042, 2011.