

LUCIVANIA RODRIGUES LIMA

VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA CONSORCIADO PALMA FORRAGEIRA -  
SORGO EM CONDIÇÕES IRRIGADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Serra Talhada-PE

2015

L  
I  
M  
A

L  
R

V  
I  
A  
B  
I  
L  
I  
D  
A  
D  
E  
E  
C  
O  
N  
Ô  
M  
I  
C  
A

D  
O

S  
I  
S  
T  
E  
M  
A

·  
·  
2  
0  
1  
5

LUCIVANIA RODRIGUES LIMA

VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA CONSORCIADO PALMA FORRAGEIRA -  
SORGO EM CONDIÇÕES IRRIGADAS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

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

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Co-orientadores: Pesq. Dr. Erinaldo Viana de Freitas e Prof. Dr. André Quintão de Almeida

Serra Talhada-PE

2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

### Ficha catalográfica

L732v Lima, Lucivania Rodrigues

Viabilidade econômica do sistema consorciado palma forrageira - sorgo em condições irrigadas no Semiárido pernambucano / Lucivania Rodrigues Lima. – Serra Talhada : O autor, 2015.

56 f.: il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Coorientador: André Quintão de Almeida.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, 2015.

Inclui Referências e apêndice.

1. Palma forrageira - aspectos econômicos. 2. Evapotranspiração. 3. Viabilidade econômica. I. Silva, Thieres George Freire da, orientador. II. Almeida, André Quintão de, coorientador. III. Título.

CDD 631

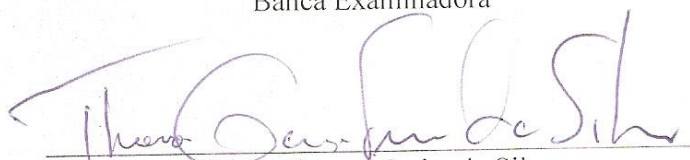
LUCIVANIA RODRIGUES LIMA

VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA CONSORCIADO PALMA  
FORRAGEIRA - SORGO EM CONDIÇÕES IRRIGADAS NO SEMIÁRIDO  
PERNAMBUCANO

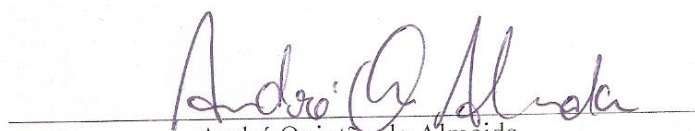
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em 25/02/2015.

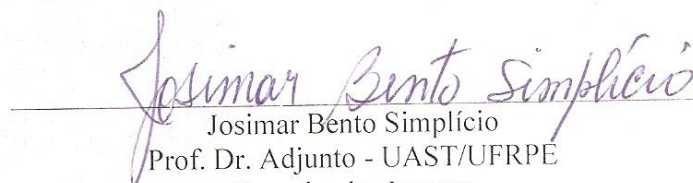
Banca Examinadora



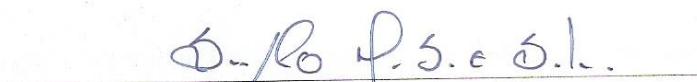
Thières George Freire da Silva  
Prof. Dr. Adjunto – UAST/UFRPE  
Orientador



André Quintão de Almeida  
Prof. Dr. - UFS Aracajú, SE  
Co-orientador



Josimar Bento Simplicio  
Prof. Dr. Adjunto - UAST/UFRPE  
Examinador Interno



Sérvulo Mercier Siqueira e Silva  
Dr. Pesquisador - IPA, Serra Talhada  
Examinador Externo

Ao meu pai Luiz Souza Lima (*in memoriam*) por ter incentivado na realização do meu sonho durante o período que estive entre nós. Eu tenho certeza que se tivesse presente nesse momento da minha vida estaria muito orgulhoso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar ao meu lado, ajudando a superar todas as dificuldades e em segundo lugar a minha mãe, Maria Julia, por ter contribuído psicologicamente e financeiramente para minha formação acadêmica.

Obrigada a vocês meus irmãos, Juliano e Douglas, por ter dividido comigo a responsabilidade de administrar uma família sem os pais, mas unidos em busca de um futuro melhor.

Agradeço muito ao meu esposo, Edney, por estar ao meu lado, contribuindo significativamente para que conseguisse superar todas as dificuldades que apareceram durante a minha vida acadêmica. Obrigada por acreditar e investir no meu sonho!

Tenho que agradecer aos meus colegas de turma por compartilhar todos os momentos de alegria e desesperos que passamos juntos e em especial aos meus amigos Gerffeson, Luiz, Thiago, Gleymerson, Valdeany e Amaury.

Muito obrigada ao professor Thieres George Freire da Silva pela oportunidade de trabalhar ao seu lado, oferecendo todo o apoio acadêmico que precisei durante o mestrado com muita paciência e boa vontade. Agradeço ainda, a todos os integrantes do grupo de agrometeorologia no semiárido (GAS) pelo empenho durante todas as atividades.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal (PGPV) pelo apoio técnico-científico e a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia (FACEPE) pela bolsa a mim concedida.

## RESUMO GERAL

Objetivou-se avaliar as características morfológicas, a eficiência e o incremento produtivo-econômico do consórcio palma-sorgo em relação ao sistema exclusivo da palma, ambos submetidos a diferentes lâminas de irrigação complementar no Semiárido brasileiro e sob pressão abiótica de água salina. O estudo foi realizado no município de Serra Talhada, PE, onde a palma foi disposta em blocos ao acaso, em arranjo fatorial (5×2) composto por cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET<sub>o</sub>), e dois sistemas de plantio (sistema exclusivo da palma e consórcio palma-sorgo). O experimento foi conduzido durante um ano produtivo de palma forrageira, que comportou dois ciclos do sorgo dupla aptidão (planta e rebrota). O crescimento e produtividade da palma, e o rendimento do sorgo foram determinados ao final dos ciclos. O consumo de água (ET) foi obtido por resíduo do método do balanço de água no solo. Estimou-se a eficiência do uso da água e o uso da terra parcial, além da razão ET/ET<sub>o</sub>. A viabilidade econômica foi analisada por meio da receita líquida e da relação benefício/custo da palma destinada à venda para forragem ou como “semente”. Os resultados revelaram que a adoção do sistema consorciado afetou mais as características morfológicas da planta em vez dos cladódios ( $p < 0,05$ ). A razão ET/ET<sub>o</sub> reduziu com o aumento da lâmina de água no sistema consorciado, que apresentou maior eficiência do uso da água, com base na ET, na lâmina superior (803 + 393 = 1202 mm) (54,73 t MV ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2,26 t MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Os sistemas de plantio e as lâminas de irrigação não afetaram a eficiência do uso da terra parcial, apresentando média de 0,83. Verificou-se que a adoção do sistema consorciado afetou o rendimento da palma, em base seca, quando a lâmina de irrigação complementar foi de 655 mm ( $p < 0,05$ ), com precipitação pluviométrica de 393 mm, totalizando 1048 mm de água recebida no ciclo. O consórcio apresentou desempenho produtivo em base seca superior ao do exclusivo, quando a lâmina de irrigação complementar foi maior do que 583 mm (lâmina total de água recebida de 976 mm no ciclo). A receita líquida e a relação benefício/custo mostraram que a adoção do sistema consorciado com os cladódios da palma destinados à “semente” apresentou vantagem em relação ao sistema exclusivo, independente da lâmina de água recebida. Assim, a adoção do consórcio palma-sorgo aumenta a rentabilidade econômica da palma a depender do destino final do seu produto (forragem ou “semente”).

**Palavras-chave:** evapotranspiração, eficiência do uso da água e da terra, rendimento, viabilidade econômica



## GENERAL ABSTRACT

The objective was to evaluate the morphological characteristics, the efficiency and the productive-economic increment of cactus-sorghum intercropping system in relation to the sole system of the cactus forage, both subjected to different blades of supplementary irrigation in Semi-arid Brazilian and on abiotic pressure of saline water. The study was conducted in the district of Serra Talhada, State of Pernambuco, where the cactus forage was willing in random block in factorial arrangement (5×2) composed of five blades of supplementary irrigation based on reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) (0%, 8.75%, 17.5%, 26.25% and 35%.ET<sub>o</sub>), and two crop systems (cactus forage sole system and cactus-sorghum intercropping system). The experiment was conducted during a productive year of forage cactus forage, which included two cycles of sorghum (plant and regrowth). The growth and yield of the cactus forage, and the yield of sorghum were determined at the end of the cycle. Water consumption (ET) was obtained by residue of water balance method in the soil. It has been estimated the efficiency of water use and the use of partial land, beyond ET/ET<sub>o</sub> ratio. Economic viability was analyzed by means of net revenue and the benefit/cost ratio of cactus for sale for fodder or as "seed". The results revealed that the adoption of the intercropping system affected more the morphological characteristics of the plant instead of cladode ( $p < 0.05$ ). The ET/ET<sub>o</sub> ratio reduced with increasing blades of supplementary irrigation in consortium, which showed the highest efficiency of water use, based on ET, on upper blade (803 + 393 = 1202 mm) (54.73 t MV ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2,26 t MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Crop systems and irrigation blades don't affect the efficiency of the use of partial land, showing average of 0.83. It was found that the adoption of the intercropping system affected the yield of the cactus on dry basis, when the blade of supplementary irrigation was 655 mm ( $p < 0.05$ ), with precipitation of 393 mm, totalizing 1048 mm of water received in the cycle. The consortium presented productive performance in dry basis higher than exclusive when the blade of supplementary irrigation was greater than 583 mm (blade total water received from 976 mm in the cycle). The net revenue and the benefit/cost ratio revealed that the adoption of the intercropping system intended for the production of "seed" has advantage over sole system, independent of the incoming blade of water. Thus, the adoption of the cactus-sorghum increases the economic viability of cactus depending on the final destination of your product (forage or "seed").

**Keywords:** evapotranspiration, water use efficiency and Earth, yield, economic feasibility

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	20
<b>Figura 1</b> Variáveis meteorológicas ao longo ciclo da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, no Semiárido brasileiro.....	29
<b>Figura 2</b> Razão ET/ET <sub>o</sub> (ET = evapotranspiração real da cultura e ET <sub>o</sub> = evapotranspiração de referência) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	33
<b>Figura 3</b> Eficiência do uso da água (EUA) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	34
<b>Figura 4</b> Uso eficiente da terra parcial (UET) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	35

<b>CAPÍTULO 2</b> .....	39
<b>Figura 1</b> Rendimento de matéria verde e seca do sorgo dupla aptidão, consorciado com a palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob diferentes lâminas de irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência no Semiárido brasileiro.....	48
<b>Figura 2</b> Rendimento de matéria fresca e seca da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água recebida pelo sistema via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	50
<b>Figura 3</b> . Número total de cladódios da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), do sistema exclusivo e consorciado palma-sorgo sob diferentes lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração no Semiárido brasileiro.....	51
<b>Figura 4</b> Renda líquida e relação custo benefício da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), no sistema exclusivo, e do sistema consorciado palma-sorgo em diferentes condições de irrigação complementar no Semiárido brasileiro.....	52

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	20
<b>Tabela 1</b> Efeito do sistema consorciado palma-sorgo sobre as características estruturais da planta, em relação ao sistema exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência sob condição deficitária de precipitação pluviométrica no Semiárido brasileiro.....	30
<b>Tabela 2</b> Efeito do sistema consorciado palma-sorgo sobre as características estruturais do cladódio, em relação ao sistema exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	31
<b>Tabela 3</b> Valores médios acumulados de precipitação pluviométrica e irrigação (P+I), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) e evapotranspiração real acumulada de um solo cultivado com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano <sup>-1</sup> ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano <sup>-1</sup> ) no Semiárido brasileiro.....	32
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	39
<b>Tabela 1</b> Custos de implantação dos sistemas de cultivos consorciado palma-sorgo e exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ), ambos submetidos a diferentes lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração.....	52

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	13
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO MORFO-HÍDRICO DO SISTEMA CONSORCIADO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR</b> .....	20
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	36
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36
<b>CAPÍTULO 2 - INCREMENTO PRODUTIVO-ECONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR</b> .....	39
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	41
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	42
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	53
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	54

## APRESENTAÇÃO

O Semiárido ocupa ampla parte do Nordeste brasileiro, e se caracteriza pela irregularidade na distribuição das chuvas (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006), reduzindo a atividade agropecuária, sobretudo no período de estiagem, quando a produção de forragem é dificultada (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010).

Por esse motivo, a palma acaba sendo uma excelente opção forrageira, e isso se deve as suas características morfofisiológicas de espécie MAC (metabolismo ácido das crassuláceas) com alto conteúdo de água nos cladódios, mucilagem, resíduo mineral, alto coeficiente de digestibilidade da matéria seca e elevada produtividade por unidade de área (SANTOS, 2006). É uma planta que suporta elevada temperatura do ar e déficit hídrico, e a condições físico-químicas de solos de zonas semiáridas, com pouca fertilidade e baixo intemperismo. Mesmo sob essas condições, a palma consegue acumular biomassa, com alta eficiência no uso da água (RANGEL et al., 2009; NOBEL, 2008). Possui múltiplas utilidades, sendo usada na alimentação humana, na produção de medicamentos, cosméticos e corantes, na conservação e recuperação de solos, cercas vivas, paisagismo, além de uma infinidade de usos (LEITE, 2006).

Dentre os principais clones dessa espécie, a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) apresenta excelente rendimento no Semiárido brasileiro (ARAÚJO PRIMO, 2013) e imunidade à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.); praga esta que foi disseminada nos últimos anos, tornando-se um dos principais limitantes da produtividade da cultura (LOPES et al., 2010; FARIAS et al., 2000).

Todavia, um maior incremento produtivo pela palma é atingido quando cultivada com correção e adubação do solo, plantio na densidade adequada, controle de plantas daninhas e manejo correto da colheita; mas, também depende da capacidade de conversão de energia em produção de matéria seca, que é função do índice da área do cladódio, fotoperíodo, temperatura do ar, radiação solar e da disponibilidade hídrica (CUNHA et al., 2008). Cultivos bem conduzidos de palma forrageira produzem uma biomassa superior a 150 toneladas de matéria verde ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (equivalente a 15 toneladas de matéria seca ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) (SANTOS, 2006).

A irregularidade do regime pluvial nas várias regiões brasileiras é considerada como um fator de restrição ao desenvolvimento agrícola, pois mesmo em estações chuvosas ocorrem veranicos (dias sem chuva dentro do período chuvoso). Em

decorrência disso, o uso da irrigação é de fundamental importância logo que pode melhorar a eficiência quanto ao uso da água.

Contudo, para a sua aplicabilidade, faz-se necessário informações relacionadas às necessidades hídricas das culturas e de suas produtividades sob diferentes condições de cultivo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002; FIGUERÊDO et al., 2008). Esse tipo de informação é bastante relevante por causa da escassez dos recursos hídricos, especialmente nos ambientes semiáridos, que se destacam também pela má qualidade; esse sendo outro fator muito importante a ser avaliado, visto que em condições de água salina há uma redução no desempenho da palma (BERRY; NOBEL, 1985).

Atualmente, diversos trabalhos tem sido desenvolvidos no sentido de promover o uso racional da água na agricultura (CARDOSO, 2002; NETO et al., 2006; MEDEIROS, 2007; BATISTA et al., 2009), de modo a garantir o sucesso da agricultura irrigada, devido a melhoria do gerenciamento da água.

Neste intuito vários métodos e critérios podem ser adotados na melhoria do manejo de irrigação, que variam desde simples turnos de rega até esquemas mais complexos que consideram a integração do sistema solo, água, planta e atmosfera (FIGUERÊDO et al., 2008). Por exemplo, a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) que é muito usada na obtenção da lâmina líquida de reposição às plantas, quando associada ao coeficiente de cultura para determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

A estimativa dessa variável interfere diretamente na precisão de obtenção da lâmina de irrigação. Por isso, o uso do método de Penman-Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO em conjunto com dados meteorológicos de estações automáticas e da cultura permite a obtenção da ET<sub>c</sub> de forma mais precisa, contribuindo no ganho de eficiência de aplicação da água no sistema de plantio (COELHO, 2013).

Além da irrigação, sistemas consorciados influenciam na produtividade das culturas. Muitos agricultores, em diversas regiões do mundo, preferem o sistema consorciado por obterem maiores produtividades, por unidade de área, do que a monocultura (BARROS JÚNIOR, 2004). Dentre suas vantagens destacam-se o melhor uso do solo, da água e da área cultivada; os problemas de pragas e doenças são minimizados, e o controle de plantas espontâneas torna-se mais eficiente (KOLMANS; VÁSQUEZ, 1999). Cabe ainda citar o melhor aproveitamento da radiação solar, a diminuição dos riscos de perdas das culturas consorciadas em função do clima e o aumento da diversificação da renda do produtor (MULLER et al., 2000).

O consórcio de culturas é prática comum na maioria das pequenas propriedades do Brasil, sendo grande parte cultivada com milho e feijão (MACIEL et al., 2004), de tal modo a aumentar a oferta de alimentos (ANDRADE et al., 2001). É uma prática que incrementa o retorno financeiro e diminui o impacto ambiental proporcionado em relação à monocultura (REZENDE et al., 2002a).

De acordo com Altieri et al. (2003), algumas das características das culturas a serem consideradas nos sistemas consorciados incluem as suas respostas ao fotoperíodo, idade de maturação e uniformidade, estatura, resistência a insetos e patógenos, efeito da fertilidade do solo e potencial produtivo. Quando duas ou mais espécies cultivadas são plantadas na mesma área, as interações resultantes podem ter efeitos mutuamente benéficos e reduzir a necessidade de insumos externos (GLIESSMAN, 2000).

A utilização de culturas anuais intercaladas com a palma como milho, sorgo, feijão, fava, jerimum, mandioca etc., já foi estudada com objetivo de analisar a viabilidade econômica da adoção do consórcio com essa cultura (BEZERRA, 2007). Entretanto, todas essas experiências foram feitas em condições de sequeiro.

Dentre as culturas anuais consorciadas com a palma forrageira, o sorgo pode fornecer silagem mais barata e de valor nutritivo próximo à do milho. Embora o sorgo tenha estas características e seja uma alternativa importante para a região semiárida, torna-se uma cultura de risco, devido às irregularidades das chuvas e longos períodos de estiagem que ocorrem nessa região (WANDERLEY et al, 2002). Farias et al. (2000), analisando a produção consorciada de palma com sorgo granífero, em diferentes espaçamentos observaram que a produtividade deste consórcio sofre influência do espaçamento entre as fileiras. Porém, pesquisas tem mostrado que o consórcio com a palma forrageira depende da segunda cultura, como citado por Silva et al. (2013), que observaram maior renda bruta, melhor uso eficiente da terra e melhor rendimento da fibra do algodão em consórcio com a palma forrageira quando comparada com o monocultivos.

Segundo Araújo et al. (2008), a avaliação dos agrossistemas consorciados deve envolver indicadores agroeconômicos, como a vantagem monetária e renda líquida. Estimativas de custo e de indicadores de lucratividade são ferramentas importantes que permitem ao produtor conhecer o sistema de produção, facilitando a tomada de decisão, o controle das operações e recursos produtivos, e a determinação da viabilidade de sua atividade (SANTOS et al., 2009).



Diante deste contexto, o presente estudo almejou testar as seguintes hipóteses: a) o sistema consorciado induz ao menor desempenho das culturas, porém a produtividade da área é superior quando comparado ao sistema exclusivo de uma delas; b) o sistema consorciado palma-sorgo em condições irrigadas é mais produtivo do que em sequeiro c) o aumento dos custos de implantação da irrigação no consórcio é compensado pela maior produtividade do sistema.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M.A.; SILVA, E.N.; NICHOLLS, C.I. **O papel da biodiversidade no manejo de pragas**. Ribeirão Preto: Holos, 2003. 226p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de *et al.* Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 06, n. 01, p. 17-20, 2002.
- ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 242-250, 2001.
- ARAÚJO, A. C.; BELTRÃO, N. E. M.; MORAIS, M. S.; ARAÚJO, J. L. O.; CUNHA, J. L. X. L.; PAIXÃO, S. L. Indicadores agroeconômicos na avaliação do consórcio algodão herbáceo + amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1467-1472, 2008.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.
- BARROS JÚNIOR, A. P. **Densidades populacionais das culturas componentes no desempenho agroeconômico do consórcio cenoura e alface em bicultivo em faixa**. 2004. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2004
- BATISTA P. F; PIRES M. M. M. L.; SANTOS J. S.; QUEIROZ S. O. P.; ARAGÃO C. A.; DANTAS B. F. Produção e qualidade de frutos de melão submetidos a dois sistemas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n.2, p. 246-250, 2009.
- BERRY, W. L.; NOBEL, P. S. Influence of soil and mineral stress on cacti. **Journal of Plant Nutrition**, v. 8, n. 8, p. 679-696, 1985.

- BEZERRA, A. P. A.; PITOMBEIRA, J. B.; TÁVORA, F. J. A. F.; NETO F. das C. V. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.104-108, 2007.
- CARDOSO S.S. **Doses de CO<sub>2</sub> e de potássio aplicadas através da irrigação no meloeiro rendilhado (Cucumis melo L.) cultivado em ambiente protegido.** Piracicaba. 2002 101f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- COELHO, E. F.; SILVA A. J. P. da. **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação.** Embrapa Mandioca e Fruticultura, 26 p. Il, 2013.
- CUNHA, F. F. *et al.* Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 01, p. 103-108, 2008.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. dos; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.
- Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135, 2010.
- FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.35, n.2, p.341-347, 2000.
- FIGUERÊDO, S. F. et al. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no cerrado. **Irriga**, v. 13, n. 03, p. 378-391, 2008.
- GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Universidade, UFRGS, 2000. 653p.
- KOLMANS, E.; VÁSQUEZ, D. **Manual de agricultura ecológica: una introduccion a los principios básicos y su aplicacion.** Habana, Cuba: Actaf, 1999. 150p.
- LEITE, M. L.de V. **Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenilifera*).** Areia, julho, 2006.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. H. de; ALBUQUERQUE, I C.; BATISTA, J. de L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Napalea* spp.) resistentes à

cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v.7, n.1, p.204-215, 2010.

MACIEL, A. D.; ARF, O.; SILVA, M. G.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ANDRADE, J. A. C.; BIANCHINI SOBRINHO, E. Comportamento do milho consorciado com feijão em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 309-314, 2004.

MEDEIROS, J. F. Uso racional e preservação de recursos hídricos na agricultura. In: FREITAS, F. C. L., KARAM, D., OLIVEIRA, O. F., PROCOPIO, S. O. I Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no semi-árido. Mossoró-RN, 2007, p.35-52.

MULLER, A. M.; PAULUS, G.; BARCELLOS, L. A. R. **Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. 86p.

NETO F. C.; GUERRA H. O. C.; CHAVES, L. H. G. Natureza e parcelamento de nitrogênio na produção e qualidade dos frutos do meloeiro. *Caatinga* 19: 153-160. 2006.

NOBEL, P.S.; ZUTTA, B.R. Temperature tolerances for stems and roots of two cultivated cacti, *Nopalea cochenillifera* and *Opuntia robusta*: Acclimation, light and drought. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 5, p. 633-642, 2008.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA R. P. da; et. al. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v.5, n.4, p. 27-37, 2010.

RANGEL, J.A.F.; SANTOS, E.M.; LEITE,M.L.M.V.; VIANA, B.L.; LOPES, I.S.; SILVA, J.E.R.; FIGUEIREDO, J.M. Caracterização dos sistemas de plantio da palma forrageira no Cariri Ocidental Paraibano. **Jornada de ensino pesquisa e extensão**. Anais. 2009.

REZENDE, B.L.A.; CANATO, G.H.D.; CECÍLIO FILHO, A.B. Consorciação de alface e rabanete em diferentes espaçamentos e épocas de estabelecimento do consórcio, no inverno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., **Resumos...**, Uberlândia. v.20, n.2, 2002a.

SILVA G. dos S; OLIVEIRA R. A. de; QUEIROZ N. L.; et al. Desempenho agrônomo de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.975–981, 2013.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, N. C. B. dos; TARSITANO, M. A. A.; et al. Análise econômica do consórcio feijoeiro e milho-verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8 n.1, p. 1-12, 2009.

WANDERLEY, W. L.;2, FERREIRA, M. de A.; ANDRADE, D. K. B. de; et al. Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) em Substituição à Silagem de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) na Alimentação de Vacas Leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.273-281, 2002.

## **CAPÍTULO 1 - DESEMPENHO MORFO-HÍDRICO DO SISTEMA CONSORCIADO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR**

### **RESUMO**

Objetivou-se avaliar a resposta das características morfológicas e da eficiência do consórcio palma-sorgo em relação ao sistema exclusivo da palma, ambos submetidos a diferentes lâminas de irrigação complementar no Semiárido brasileiro e sob pressão abiótica de água salina. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE, onde a palma foi disposta em blocos ao acaso, em arranjo fatorial (5×2) composto por cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET<sub>o</sub>), e dois sistemas de plantio (sistema exclusivo da palma e consórcio palma-sorgo). O experimento foi realizado durante um ano produtivo de palma forrageira, que comportou dois ciclos do sorgo dupla aptidão (planta e rebrota). O crescimento da palma foi avaliado ao final do ciclo. O consumo de água (ET) foi obtido por resíduo do método do balanço de água no solo. Estimou-se a eficiência do uso da água e o uso da terra parcial com base no rendimento de matéria verde e seca dos sistemas de plantio, além da razão ET/ET<sub>o</sub>. Os resultados revelaram que a adoção do sistema consorciado afetou mais as características morfológicas da planta em vez dos cladódios ( $p < 0,05$ ). A relação ET/ET<sub>o</sub> reduziu com o aumento da lâmina de água no sistema consorciado, que apresentou maior eficiência do uso da água, com base na ET, na lâmina superior (803 + 393 = 1202 mm ano<sup>-1</sup>) (54,73 t MV ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, 2,26 t MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Os sistemas de plantio e as lâminas de irrigação não afetaram a eficiência do uso da terra parcial, apresentando média de 0,83.

**Palavras-chave:** evapotranspiração, eficiência do uso da água e da terra, rendimento

# MORPHO-YIELD PERFORMANCE OF THE PALM-SORGHUM INTERCROPPING SYSTEM UNDER DIFFERENT BLADES COMPLEMENT IRRIGATION

## ABSTRACT

Objective to evaluate the response of the morphological characteristics and efficiency of the intercropping system of cactus-sorghum in relation to the sole system of cactus forage both subjected to different supplementary irrigation blades in Brazilian Semi-arid and abiotic pressure of saline water. The experiment was conducted in the municipality of Serra Talhada, State of Pernambuco, where the cactus forage was distributed in random block in factorial arrangement (5 x 2) composed of five blades of supplementary irrigation based on reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) (0%, 8.75%, 17.5%, 26.25% and 35%.ET<sub>o</sub>), and two plantation systems (sole system and intercropping cactus-sorghum). The experiment was accomplished during a productive year of cactus forage, which included two cycles of sorghum (plant and regrowth). The growth of the cactus forage was monitored at the end of the cycle. Water consumption (ET) was obtained by residue of water balance method in the soil. It has been estimated the efficiency of water use and the partial land use with base in the yield of dry and green matter, beyond ratio ET/ET<sub>o</sub>. The results revealed that the adoption of the intercropping system affected more the morphological characteristics of the plant instead of cladodes ( $p < 0.05$ ). The ratio ET/ET<sub>o</sub> reduced with increasing water blade in the intercropping system, which presented higher water use efficiency based on ET in greater blade (803 + 393 = 1202 mm ano<sup>-1</sup>) (54.73 t MV ha<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>, 2.26 t MS ha<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>). Planting systems and irrigation blades don't affect the partial use land efficiency, showing average of 0.83.

**Keywords:** evapotranspiration, land and water use efficiency, yield

## 1 INTRODUÇÃO

A alta variabilidade espaço-temporal das chuvas no Semiárido brasileiro provoca uma diminuição e instabilidade da produção de forragem no período de estiagem, reduzindo a viabilidade técnica e econômica da produção animal. Desta forma, a palma destaca-se como uma excelente forrageira, logo que pode suportar longos períodos de déficit hídrico. É uma cactácea com alto conteúdo de água nos cladódios, mucilagem e resíduo mineral; além disso, possui elevada digestibilidade da matéria seca e boa produtividade por unidade de área (ALMEIDA, 2012). Mas, apresenta limitações quanto ao teor de proteínas e de fibras, comumente não atendendo as necessidades nutricionais do rebanho, e quando fornecida de maneira isolada pode causar redução da ruminação, e diarreia (SANTOS, 2006).

Assim, sua oferta com outras fontes alimentares pode melhorar o desempenho produtivo do animal (ALMEIDA, 2012). Portanto, a adoção de sistemas consorciados de palma com outras culturas forrageiras induz a vários benefícios como aumento da diversificação da produção agrícola e maior eficiência do uso da terra (FURTADO et al., 2012; SILVA et al., 2013). Na literatura há registro de consórcios da palma com sorgo, algodão, amendoim, gergelim, feijão-de-corda, milho, fava, jerimum, mandioca e entre outras culturas (SILVA et al., 2013). Dentre eles, a configuração palma-sorgo foi avaliada em condições de sequeiro, permitindo o aumento da qualidade de grãos e de restolhos do sorgo, em detrimento à produção da palma (FARIAS et al., 2000). Todavia, pesquisas têm mostrado que os desempenhos produtivo e econômico, e a eficiência do consórcio da palma, em relação ao seu monocultivo, dependem da cultura secundária (SILVA et al., 2013).

Não se conhece o desempenho do consórcio palma-sorgo sob diferentes condições de irrigação complementar, com o intuito de suprir a sua necessidade hídrica, quando cultivado em condições deficitárias de precipitação pluviométrica. Todavia, estudos mostram que o uso de irrigação em sistemas exclusivo de palma forrageira é uma ótima alternativa na melhoria da produtividade da cultura (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004).

Esse tipo de informação é importante para a melhoria do manejo de água; porém são necessários dados de evapotranspiração e da produtividade da cultura sob diferentes condições de plantio (NETO et al., 2006; FIGUERÊDO et al., 2008; BATISTA et al., 2009). A adoção da irrigação com base na evapotranspiração é uma excelente

alternativa para o manejo de sistemas agrícolas em regiões semiáridas, onde a demanda atmosférica elevada promove alta perda de água, em conjunto com a ineficiência de aplicação de vários sistemas de irrigação (CARVALHO et al., 2011; YANG et al., 2011).

Além disso, o uso de irrigação no semiárido em muitos casos está vinculado à extração de água de poços artesianos, rios e barragens com moderados teores de salinidade. Logo, a utilização de águas salinas na irrigação pode representar uma alternativa na produção de alimentos para os animais, porém as alterações físico-químicas do solo em proporções que desfavoreçam o crescimento e desenvolvimento da cultura induz a necessidade de análise do desempenho de cada sistema de produção em condições de ambiente salino (LIMA et al., 2012; NUNES et al., 2013).

Com isso, a adoção do sistema consorciado palma-sorgo pode levar a um menor desempenho das duas culturas, porém a produtividade da área deve atingir valores superiores ao do sistema exclusivo. Além disso, o uso de irrigação complementar em sistemas de plantio de palma, apenas durante o período em que a precipitação pluviométrica é inferior à demanda da cultura, pode proporcionar o incremento na produtividade da palma consorciada com sorgo em relação ao cultivo em sequeiro; ainda que, com a utilização de água salina.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar a resposta das características morfológicas e a eficiência do consórcio palma-sorgo em relação ao sistema exclusivo de palma, ambas as configurações submetidas a diferentes lâminas de irrigação complementar no Semiárido brasileiro e sob pressão abiótica de água salina.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido no município de Serra Talhada, PE (latitude: 7°59'S, longitude: 38°15'O e altitude: 431 m), microrregião do Vale do Pajeú, Semiárido brasileiro. A área experimental foi implantada em março de 2011, quando se realizou gradagem e sulcagem, e os cladódios de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), foram plantados com 50% de seus comprimentos enterrados, em curva de nível. A cultura foi conduzida sob sistema de plantio exclusivo e em condições de sequeiro até maio de 2012, quando foi feito um corte de uniformização, mantendo-se apenas os cladódios basais. A partir de junho de 2012,



iniciou-se o segundo ciclo produtivo da palma forrageira, período experimental do presente estudo, sendo conduzido até junho de 2013, e perfazendo 380 dias.

A palma forrageira foi disposta em blocos casualizados em arranjo fatorial (5×2), com quatro repetições, compostos por cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET<sub>o</sub>) e dois sistemas de plantio, um exclusivo com a palma forrageira, e outro com consórcio palma-sorgo. Cada unidade experimental possuía quatro fileiras de seis metros de comprimento e 15 plantas, espaçadas em 1,6 x 0,2 m, das quais as duas mais externas e duas plantas de cada lado das fileiras centrais foram consideradas bordaduras, totalizando 38,4 m<sup>2</sup> de área total, e 12,8 m<sup>2</sup> de área útil com 22 plantas.

O sistema consorciado foi implantado em novembro de 2012, com a inserção de uma fileira de sorgo forrageiro de dupla aptidão, cv. IPA2501, espaçado em 0,25 m da palma. Nessa ocasião, foram abertas covas contínuas de seis metros de comprimento com profundidade média de 0,05 m, e plantadas 18 sementes por metro linear. O sorgo foi conduzido durante dois ciclos produtivos, o de planta e de rebrota, o primeiro colhido em fevereiro de 2013, e o segundo em junho de 2013, totalizando 246 dias, dentre os 380 dias da palma forrageira.

As irrigações foram feitas apenas nos períodos em que a precipitação pluviométrica foi inferior a ET<sub>o</sub> acumulada entre os dias de reposição de água no solo. Para isso, foi usado um sistema de irrigação por gotejamento com vazão nominal de 1,35 L/h sob a pressão de 1,0 atm, onde as mangueiras foram posicionadas mais próximas da cultura da palma, no sistema exclusivo, e em pontos equidistantes entre as fileiras de palma e sorgo, no sistema consorciado. Para os eventos de irrigação foi utilizada a água do Açude Saco, nas proximidades da área experimental, em que a condutividade elétrica variou entre 1,1 a 1,6 dS m<sup>-1</sup> ao longo do ciclo das culturas.

Até novembro de 2012, não houve diferenciação das lâminas de irrigação, com o intuito de se permitir o estabelecimento inicial das culturas. Entre dezembro de 2012 e junho de 2013, as culturas foram submetidas às condições de lâminas de irrigação complementar com base na ET<sub>o</sub>. Adicionalmente, adubação a lanço foi realizada mensalmente com o formulado 14-00-18, de acordo com as recomendações do Instituto Agrônômico de Pernambuco, e capinas e os controles fitossanitários foram feitos, sempre que necessários.

A ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método de Penman Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), usando dados meteorológicos obtidos de uma estação

automática do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, instalada no município de Serra Talhada, a menos de 1500 m da área experimental.

As características morfológicas foram obtidas a partir da coleta de dados biométricos e de biomassa. No primeiro foi mensurado o número de cladódios por planta; altura e largura do dossel; e a ordenamento dos cladódios. Nesses também foi registrado o comprimento, largura, perímetro e a sua área, e o índice de área do cladódio, conforme procedimentos descritos por Silva et al. (2014a).

A evapotranspiração real acumulada dos sistemas exclusivo da palma e consorciado palma-sorgo foi estimada pelo somatório dos valores estimados pelo resíduo do balanço de água no solo, para intervalos de tempo de 14 dias, conforme descrito por Silva et al. (2014b). Nesse método, os seus componentes foram quantificados para um volume de controle de 0,60 m. As entradas e saídas de água por escoamento superficial e subsuperficial foram desprezadas devido à baixa declividade da área, o plantio em curva de nível e a adoção do sistema de irrigação por gotejamento (LIBARDI, 2005). Assim, tem-se:

$$-ET = \Delta A - P - I \pm Q \quad (1)$$

em que, ET é a evapotranspiração real,  $\Delta A$  é a variação do armazenamento de água no solo (mm), P é a precipitação pluviométrica (mm), I é a irrigação (mm), e, Q é o fluxo vertical de água no solo (mm).

A  $\Delta A$  foi obtida pela diferença dos valores inicial e final do armazenamento de água no solo do intervalo de 14 dias, obtidos pelo somatório dos dados de lâmina de água no perfil de 0,60 m, monitorados após a instalação de um tubo de acesso por subparcela experimental, a 0,10 m de distância da palma e do sorgo, e o uso de uma sonda capacitiva (Diviner@2000, Sentek Pty Ltda. Austrália), calibrada previamente para as condições edáficas do experimento, conforme descrito por Araújo Primo (2013). As leituras eram feitas em frequência relativa e, convertidas automaticamente em lâmina de água a cada 0,10 m de profundidade (SENTEK, 2000), até a profundidade de 0,7 m; uma camada abaixo do volume de controle de 0,6 m. As leituras foram registradas em intervalos de três dias, desde junho de 2012 a junho de 2013.

O Q é representado pela drenagem profunda (sinal negativo) ou ascensão capilar (sinal positivo), determinado pela equação proposta por Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$Q = -K(\theta) \frac{\Delta \psi t}{\Delta z} \quad (2)$$

em que,  $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica do solo,  $\Delta\psi_t/\Delta z$  o gradiente do potencial total de água no solo, entre as camadas de 0,50 e 0,70 m.

O parâmetro  $K(\theta)$ , expresso em  $m\ h^{-1}$ , foi estimado em função do conteúdo de água no solo, usando a equação abaixo, calibrada para a profundidade de 0,60 m, por meio do método do perfil instantâneo, conforme descrito por Araújo Primo (2013).

$$K(\theta) = K_o e^{\gamma(\theta - \theta_o)} \quad (3)$$

em que,  $\gamma$  é uma constante de ajuste (67,8977), e  $K_o$  ( $0,0001\ m\ h^{-1}$ ) e  $\theta_o$  ( $0,3105\ m^3\ m^{-3}$ ) são os valores iniciais da condutividade hidráulica e do conteúdo de água no solo, correspondente ao tempo zero de redistribuição, ou seja, na condição de saturação e,  $\theta$  é o conteúdo de água no solo ( $m^3\ m^{-3}$ ), registrado pela sonda capacitiva.

O gradiente do potencial total de água no solo ( $\Delta\psi_t/\Delta z$ ), em  $m\ m^{-1}$ , entre as camadas de 0,50 e 0,70 m, foi obtido pela estimativa  $\psi_t$  em ambas as profundidades, para cada tubo de acesso, por meio dos valores de conteúdo de água no solo, registrado pela sonda capacitiva, e da equação abaixo ajustada conforme descrito por Araújo Primo (2013).

$$\psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (4)$$

em que,  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros adimensionais que foram ajustados, por meio do método do perfil instantâneo, para as profundidades de 0,50 m (249,9288 e -20,2236) e 0,70 m (789,0253 e -19,1510).

A razão  $ET/ET_o$  foi obtida pela relação entre a  $ET$  das diferentes lâminas de irrigação complementar e sistemas de plantio, e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), com o intuito de analisar a interação do consumo de água dos sistemas de plantio em resposta a demanda atmosférica.

A eficiência do uso da água foi calculada pela relação entre o rendimento dos sistemas de plantio (exclusivo e consorciado) em cada condição de lâmina de irrigação complementar, e a evapotranspiração real acumulada e a precipitação mais irrigação, conforme equação:

$$EUA = \frac{Y}{L} \quad (5)$$

sendo,  $EUA$  é a eficiência do uso da água,  $ton.\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ;  $Y$  é rendimento da cultura da palma no sistema exclusivo ou consorciado com o sorgo,  $ton.\ ha^{-1}$ ;  $L$  é a evapotranspiração real acumulada pela cultura ou a lâmina total de água recebida durante o ciclo de 380 dias,  $mm$ .

O uso eficiente da terra (UET) parcial foi calculado a partir de dados dos rendimentos apenas da palma forrageira nos sistemas consorciado e exclusivo, como mostra a equação:

$$UET = \frac{Y(P)_{\text{consórcio}}}{Y(P)_{\text{exclusivo}}} \quad (6)$$

em que,  $Y(P)_{\text{consórcio}}$  é o rendimento, em base seca, da palma forrageira no sistema consorciado com o sorgo, ton. MS ha<sup>-1</sup>, e  $Y(P)_{\text{exclusivo}}$  é o rendimento, em base seca, da palma forrageira no sistema exclusivo, ton. MS ha<sup>-1</sup>.

O rendimento da palma foi extrapolado para toneladas por hectares, considerando, em base fresca, o peso total e o número de plantas da área útil da parcela experimental, e a densidade final de plantas na ocasião da colheita (15.625 plantas ha<sup>-1</sup>). Adicionalmente, foi utilizado o conteúdo de matéria seca em percentagem (CMS), para obter o rendimento em base seca. Esse foi determinado conforme a equação 7, tanto para os cladódios e quanto para as partes estruturais do sorgo.

$$CMS = \frac{MS}{MF} \times 100 \quad (7)$$

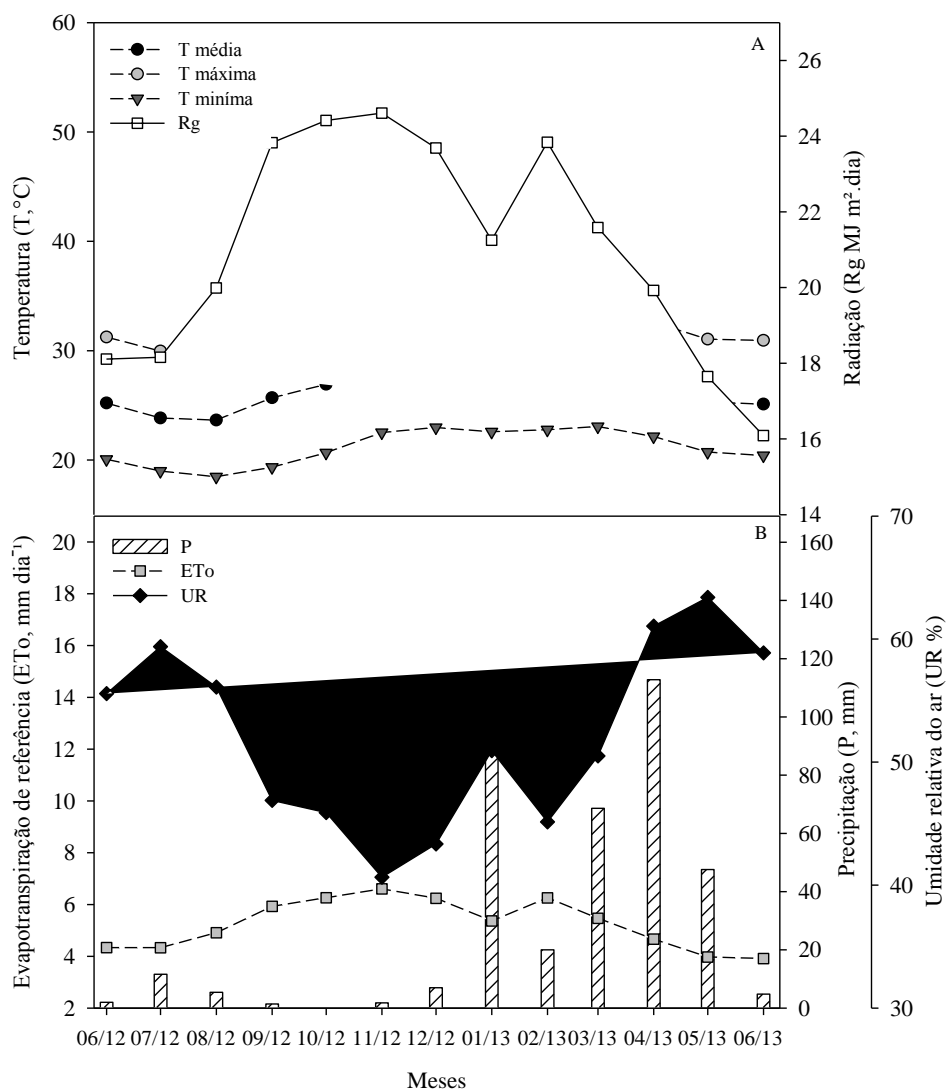
Por sua vez, no sorgo foi assumido o peso fresco das dez plantas, a densidade final de plantas pela contagem do número de indivíduos por metro linear na ocasião das colheitas nos ciclos de planta e rebrota, e o conteúdo de matéria seca. O desempenho produtivo do sistema consorciado foi expresso pelo somatório dos rendimentos da palma forrageira mais os obtidos nos dois ciclos do sorgo.

No total, foram avaliadas sete características estruturais da planta (altura e largura do dossel, número total de cladódios, número de cladódios de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem e índice de área do cladódio) e 21 dos cladódios (comprimento, largura, espessura, perímetro e área dos cladódios de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem, biomassa fresca e seca individual dos cladódios de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordem), os componentes do balanço de água no solo (evapotranspiração real, variação do armazenamento de água no solo e fluxo vertical de água no solo), a razão ET/ET<sub>o</sub> e as eficiências do uso da água e da terra parcial. Esses dados foram submetidos ao teste de normalidade, análise de variância pelo teste F; e uma vez significativa, e constatada interação entre os fatores lâminas de irrigação complementar e sistemas, as variáveis foram submetidas ao teste de média de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o Software GENES (Genética Quantitativa e Estatística Experimental) (CRUZ, 2006).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os 380 dias de ciclo da palma forrageira (junho/2012 a junho/2013) os maiores valores para as temperaturas do ar média e máxima, radiação e evapotranspiração de referências foram registrados no mês de novembro. A umidade relativa variou de 40 a 63%. Enquanto a precipitação pluviométrica totalizou 393 mm ano<sup>-1</sup> (abaixo da normal climatológica local de 656 mm ano<sup>-1</sup>), dos quais 70% (274 mm) ocorreram após o plantio do sorgo no sistema consorciado (novembro de 2012). As lâminas de irrigação complementar à condição deficitária de precipitação pluviométrica, incluindo as lâminas de uniformização que ocorreram até novembro de 2012, e os tratamentos de 0%; 8,75%; 17,5%; 26,25% e 35%.ETo, foram de 583 mm ano<sup>-1</sup>, 655 mm ano<sup>-1</sup>, 703 mm ano<sup>-1</sup>, 759 mm ano<sup>-1</sup> e 809 mm ano<sup>-1</sup>, respectivamente, resultando em lâminas totais de água recebidas pelos sistemas de plantio, variando de 976 mm ano<sup>-1</sup> a 1202 mm ciclo<sup>-1</sup>, nessa ordem (Figura 1).

O sistema consorciado palma-sorgo afetou as características estruturais da palma ( $p < 0,05$ ), sobretudo àquelas relacionadas à planta (altura e largura do dossel - AD e LD, número total de cladódios - NTC, número de cladódios de 3ª ordem - NC3, e índice de área do cladódio - IAC) (Tabela 1), e em lâminas de irrigação complementar inferiores ( $< 655$  mm ano<sup>-1</sup>). O NTC foi maior do que o obtido por Ramos et al. (2011) para a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), cv. Italiana (11,45 ud.), aos 455 DAP (dias após o plantio) sob uma precipitação de 808,2 mm. Desta forma, observa-se que a irrigação tem influência direta no crescimento da palma forrageira, uma vez que o incremento produtivo da palma depende da disponibilidade hídrica (CUNHA et al., 2008). Enquanto, Flores-Hernández et al. (2004), avaliando clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* cultivadas em sistema exclusivo, não observaram influência da irrigação complementar no IAC.



**Figura 1.** Variáveis meteorológicas ao longo ciclo da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, no Semiárido brasileiro.

As características do cladódio foram menos afetadas pela competição com o sorgo. Dentre as 21 variáveis analisadas, apenas a espessura do cladódio de 2<sup>a</sup> ordem, na lâmina de irrigação complementar de 655 mm ano<sup>-1</sup>, foi superior estatisticamente no sistema consorciado ( $p < 0,05$ ), porém em detrimento ao comprimento e a área do cladódio de 1<sup>a</sup> ordem, e o perímetro do cladódio de 2<sup>a</sup> ordem, que apresentaram maiores magnitudes no sistema exclusivo, em lâminas de irrigação inferiores a 703 mm ano<sup>-1</sup> (Tabela 1). Esses valores mesmo assim são superiores aos encontrados por Ramos et al. (2011) para a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.), cv. Italiana (407,80 cm<sup>2</sup>), aos 455 DAP sob uma precipitação de 808,2 mm.

**Tabela 1.** Efeito do sistema consorciado palma-sorgo sobre as características estruturais da planta, em relação ao sistema exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência sob condição deficitária de precipitação pluviométrica no Semiárido brasileiro.

Sistemas de cultivo	Lâminas de irrigação complementar + precipitação				
	583+393 mm ano <sup>-1</sup>	655+393 mm ano <sup>-1</sup>	703+393 mm ano <sup>-1</sup>	759+393 mm ano <sup>-1</sup>	809+393 mm ano <sup>-1</sup>
<b>Altura do dossel (cm)</b>					
Conso	53,7 <sup>b</sup>	70,3 <sup>a</sup>	80,3 <sup>a</sup>	76,3 <sup>a</sup>	75,3 <sup>a</sup>
Exclu	+27,5% <sup>a</sup>	+2,7% <sup>a</sup>	-1,2% <sup>a</sup>	-4,3% <sup>a</sup>	-11,1% <sup>a</sup>
<b>Largura do dossel (cm)</b>					
Conso	64,0 <sup>b</sup>	74,7 <sup>a</sup>	70,0 <sup>a</sup>	84,8 <sup>a</sup>	75,0 <sup>a</sup>
Exclu	+38,5% <sup>a</sup>	+22,4% <sup>a</sup>	+17,6% <sup>a</sup>	-8,0% <sup>a</sup>	+6,0% <sup>a</sup>
<b>Número total de cladódios (unidades)</b>					
Conso	14,0 <sup>a</sup>	12,3 <sup>b</sup>	18,0 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	15,0 <sup>a</sup>
Exclu	+20,0% <sup>a</sup>	+43,3% <sup>a</sup>	-11,1% <sup>a</sup>	-20,6% <sup>a</sup>	+1,6% <sup>a</sup>
<b>Número de cladódios de 3ª ordem (unidades)</b>					
Conso	0,3 <sup>b</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,0 <sup>a</sup>	0,25 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a</sup>
Exclu	+86,7% <sup>a</sup>	+100,0% <sup>a</sup>	+100,0% <sup>a</sup>	+66,6% <sup>a</sup>	+33,5% <sup>a</sup>
<b>Comprimento do cladódio de 1ª ordem (cm)</b>					
Conso	23,0 <sup>a</sup>	27,2 <sup>a</sup>	23,85 <sup>b</sup>	24,7 <sup>a</sup>	25,8 <sup>a</sup>
Exclu	+0,8% <sup>a</sup>	-8,1% <sup>a</sup>	+15,3% <sup>a</sup>	-6,8% <sup>a</sup>	-1,3% <sup>a</sup>
<b>Perímetro do cladódio de 2ª ordem (cm)</b>					
Conso	52,8 <sup>a</sup>	49,7 <sup>b</sup>	67,7 <sup>a</sup>	72,9 <sup>a</sup>	49,4 <sup>a</sup>
Exclu	+28,5% <sup>a</sup>	+37,4% <sup>a</sup>	+13,6% <sup>a</sup>	-6,8% <sup>a</sup>	+11,7% <sup>a</sup>
<b>Espessura do cladódio de 2ª ordem (mm)</b>					
Conso	5,30 <sup>a</sup>	27,63 <sup>a</sup>	9,91 <sup>a</sup>	10,71 <sup>a</sup>	7,61 <sup>a</sup>
Exclu	+45,6% <sup>a</sup>	-62,8% <sup>b</sup>	+8,7% <sup>a</sup>	+8,9% <sup>a</sup>	+20,1% <sup>a</sup>
<b>Área do cladódio de 1ª ordem (cm<sup>2</sup>)</b>					
Conso	362,0 <sup>a</sup>	425,4 <sup>a</sup>	340,7 <sup>b</sup>	354,2 <sup>a</sup>	414,8 <sup>a</sup>
Exclu	-7,0% <sup>a</sup>	-15,3% <sup>a</sup>	+26,7% <sup>a</sup>	-6,2% <sup>a</sup>	-7,4% <sup>a</sup>
<b>Índice de área do cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)</b>					
Conso	0,7 <sup>a</sup>	0,7 <sup>b</sup>	0,9 <sup>a</sup>	1,0 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>
Exclu	+26,3% <sup>a</sup>	+46,7% <sup>a</sup>	+19,5% <sup>a</sup>	-21,8% <sup>a</sup>	+6,4% <sup>a</sup>
<b>Biomassa seca dos cladódios de 1ª ordem</b>					
Conso	49,1 <sup>a</sup>	44,2 <sup>a</sup>	36,2 <sup>b</sup>	35,8 <sup>a</sup>	44,3 <sup>a</sup>
Exclu	-13,2% <sup>a</sup>	-9,0% <sup>a</sup>	+29,9% <sup>a</sup>	+2,0% <sup>a</sup>	+7,3% <sup>a</sup>

Médias seguidas pelas mesmas letras minúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma lâmina de irrigação complementar. Os valores expressos em percentagem (%) indicam as diferenças entre os dados do sistema consorciado em relação ao sistema exclusivo.

Não houve efeito isolado das lâminas de irrigação complementar sobre as características estruturais da palma ( $p > 0,05$ ). Porém, a sua interação com os sistemas de plantio promoveu efeito em características da planta e dos cladódios de 1ª ordem (Tabela 2).

O número de cladódios de 1ª ordem foi mais afetado na condição em que o sistema consorciado foi submetido à lâmina de irrigação de 655 mm ano<sup>-1</sup>, enquanto que o perímetro e a biomassa dos cladódios de 1ª ordem foram mais influenciados pela competição do sorgo na lâmina de 703 mm. Acevedo et al. (1983) observaram que o aumento na área fotossintética da *Opuntia ficus-indica* depende do surgimento de novos cladódios, visto que sua expansão varia conforme a idade do vegetal cladódios com aproximadamente 1,4 anos de idade apresentam um crescimento de apenas 14% ao ano.

**Tabela 2.** Efeito do sistema consorciado palma-sorgo sobre as características estruturais do cladódio, em relação ao sistema exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro.

Sistemas de cultivo	Lâminas de irrigação complementar + precipitação				
	583+393 mm ano <sup>-1</sup>	655+393 mm ano <sup>-1</sup>	703+393 mm ano <sup>-1</sup>	759+393 mm ano <sup>-1</sup>	809+393 mm ano <sup>-1</sup>
Número de cladódios de 1ª ordem (unidades)					
ConSORCIADO	5,7 <sup>Aa</sup>	6,7 <sup>Ba</sup>	7,3 <sup>Aa</sup>	7,8 <sup>Aa</sup>	6,0 <sup>Aa</sup>
EXCLUSIVO	+9,3% <sup>Ab</sup>	+37,9% <sup>Aa</sup>	+7,0 <sup>Ab</sup>	+6,8 <sup>Ab</sup>	+7,5 <sup>Ab</sup>
Espessura dos cladódios de 1ª ordem (mm)					
ConSORCIADO	14,9 <sup>Aab</sup>	35,3 <sup>Aa</sup>	12,8 <sup>Ab</sup>	13,8 <sup>Aab</sup>	14,8 <sup>Aab</sup>
EXCLUSIVO	+1,1% <sup>Aa</sup>	-55,3% <sup>Ba</sup>	+16,6% <sup>Aa</sup>	+12,1% <sup>Aa</sup>	+7,5% <sup>Aa</sup>
Perímetro dos cladódios de 1ª ordem (cm)					
ConSORCIADO	67,5 <sup>Aa</sup>	74,6 <sup>Aa</sup>	66,2 <sup>Ba</sup>	66,4 <sup>Aa</sup>	70,7 <sup>Aa</sup>
EXCLUSIVO	+0,8% <sup>Aab</sup>	-10,0% <sup>Ab</sup>	+17,3% <sup>Aa</sup>	+1,7% <sup>Ab</sup>	-1,1% <sup>Aab</sup>
Biomassa fresca do cladódio de 1ª ordem (g)					
ConSORCIADO	669,3 <sup>Aa</sup>	679,4 <sup>Aa</sup>	509,8 <sup>Ba</sup>	559,7 <sup>Aa</sup>	725,7 <sup>Aa</sup>
EXCLUSIVO	-2,0% <sup>Aab</sup>	-14,3% <sup>Ab</sup>	+40,6% <sup>Aa</sup>	+2,3% <sup>Ab</sup>	+14,2% <sup>Aab</sup>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma lâmina de irrigação complementar, enquanto as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si no mesmo sistema de plantio. Os valores expressos em percentagem (%) indicam as diferenças entre os dados do sistema consorciado em relação ao sistema exclusivo.

Semelhante à espessura dos cladódios de 1ª ordem, a dos cladódios de 2ª ordem foi inferior no sistema exclusivo que recebeu 655 mm ano<sup>-1</sup> de lâmina de irrigação complementar, o que pode está associado ao incremento do número total de cladódios e a redistribuição do conteúdo de água na planta.



Em termos dos componentes do balanço hídrico, a adoção do sistema consorciado modificou a magnitude da variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) apenas na maior lâmina de água ( $809 + 393 = 1202 \text{ mm ano}^{-1}$ ) ( $p < 0,05$ ) (Tabela 3). Por outro lado, a drenagem profunda (DP) e a evapotranspiração (ET) não apresentaram nenhuma diferença significativa entre lâminas e sistemas de cultivo analisados (Tabela 3). A variável ascensão capilar (AC) ocorreu somente no sistema exclusivo na reposição hídrica de 1048 mm.

**Tabela 3.** Valores médios acumulados de precipitação pluviométrica e irrigação (P+I), drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ) e evapotranspiração real acumulada de um solo cultivado com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809  $\text{mm ano}^{-1}$ ) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393  $\text{mm ano}^{-1}$ ) no Semiárido brasileiro.

Sistemas	Componentes	Lâminas de irrigação complementar				
		583 $\text{mm ano}^{-1}$	655 $\text{mm ano}^{-1}$	703 $\text{mm ano}^{-1}$	759 $\text{mm ano}^{-1}$	809 $\text{mm ano}^{-1}$
	P+I	976 $\text{mm ano}^{-1}$	1048 $\text{mm ano}^{-1}$	1096 $\text{mm ano}^{-1}$	1152 $\text{mm ano}^{-1}$	1202 $\text{mm ano}^{-1}$
Conso- r- ciado	DP	-33,9 <sup>Aa</sup>	-84,0 <sup>Aa</sup>	-134,6 <sup>Aa</sup>	-37,8 <sup>Aa</sup>	-21,2 <sup>Aa</sup>
	AC	0,0 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Ba</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>
	$\Delta A$	18,9 <sup>Ac</sup>	27,5 <sup>Abc</sup>	41,4 <sup>Ab</sup>	34,4 <sup>Ab</sup>	63,2 <sup>Aa</sup>
	ET	-922,8 <sup>Aa</sup>	-935,3 <sup>Aa</sup>	-918,5 <sup>Aa</sup>	-1076,6 <sup>Aa</sup>	-1113,9 <sup>Aa</sup>
Exclusivo	DP	-104,0 <sup>Aa</sup>	-28,9 <sup>Aa</sup>	-19,4 <sup>Aa</sup>	-104,6 <sup>Aa</sup>	-121,8 <sup>Aa</sup>
	AC	0,0 <sup>Aa</sup>	17,2 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>	0,0 <sup>Aa</sup>
	$\Delta A$	16,4 <sup>Ad</sup>	22,6 <sup>Acd</sup>	33,8 <sup>Abc</sup>	43,7 <sup>Aab</sup>	49,8 <sup>Ba</sup>
	ET	-855,3 <sup>Aa</sup>	-1012,4 <sup>Aa</sup>	-1041,1 <sup>Aa</sup>	-1000,6 <sup>Aa</sup>	-1026,8 <sup>Aa</sup>

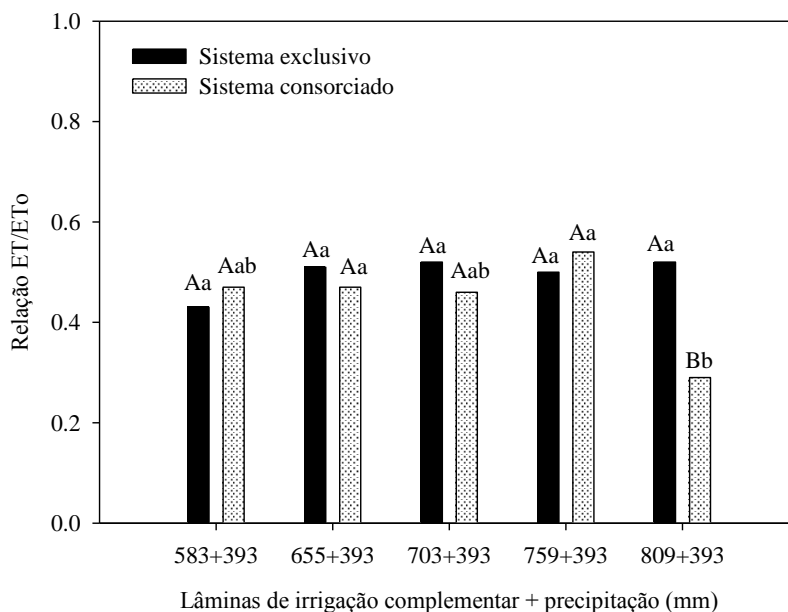
Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical não diferem estatisticamente entre si dentro da mesma lâmina de irrigação complementar, enquanto as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si no mesmo sistema de plantio. Os valores expressos em porcentagem (%) indicam as diferenças entre os dados do sistema consorciado em relação ao sistema exclusivo.

A ET nesse sistema foi superior na lâmina de irrigação complementar de 759  $\text{mm ano}^{-1}$ , enquanto no sistema exclusivo não houve diferença entre as lâminas recebidas pela cultura. Em condição de sequeiro na região Semiárida de Kingsville, Texas, EUA, estudando o cultivo exclusivo da *Opuntia ellisiana L.*, Han e Felker (1997) observaram evapotranspiração de 499  $\text{mm ano}^{-1}$  sob precipitação de 833  $\text{mm ano}^{-1}$ . O sistema de plantio exclusivo influenciou isoladamente na ascensão capilar apenas na

lâmina de 655 mm ano<sup>-1</sup>, onde o consórcio apresentou magnitude superior ao sistema exclusivo (Tabela 3).

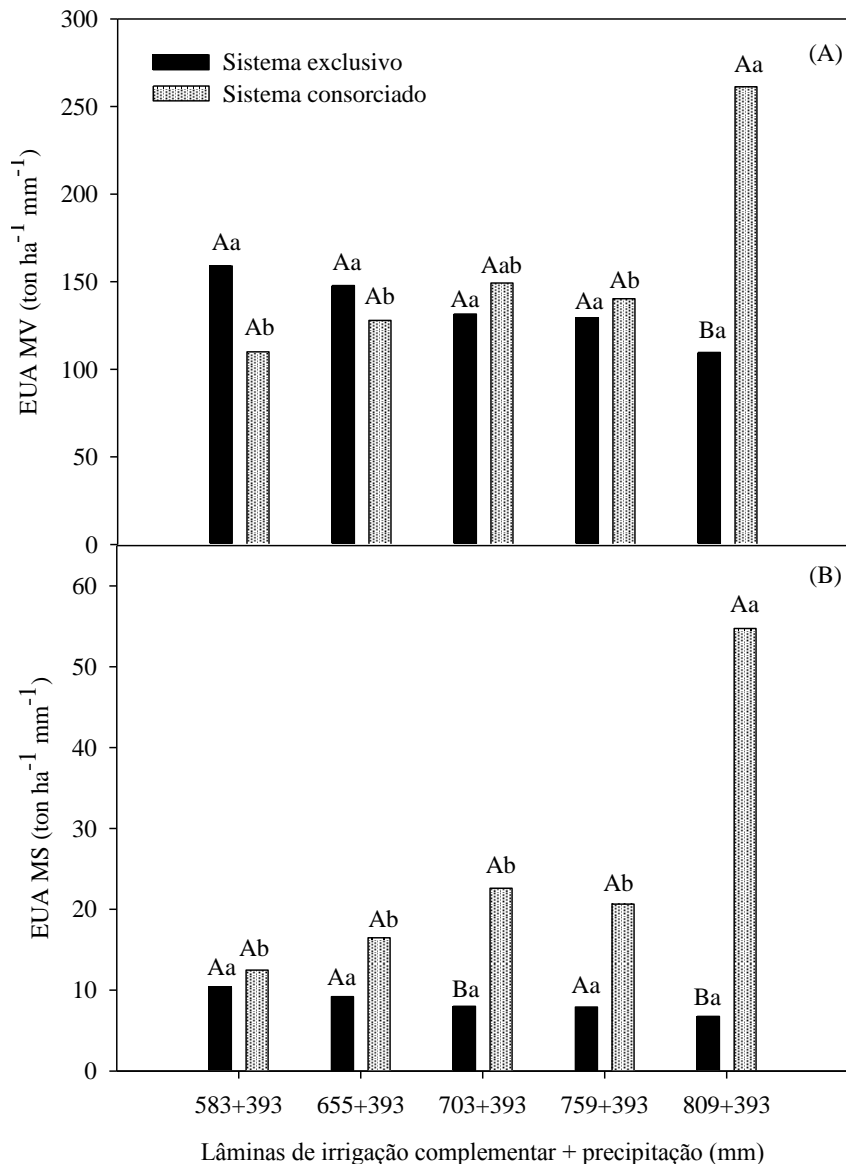
Em decorrência da associação do sistema consorciado com a lâmina de irrigação complementar de 809 mm ano<sup>-1</sup>, que resultou em lâmina total recebida de 1202 mm ano<sup>-1</sup>, verificou-se redução da razão ET/ET<sub>o</sub> (Figura 2), indicando uma diminuição da resposta do consumo de água do sistema palma-sorgo à variação da demanda atmosférica. Nas condições de 583 mm ano<sup>-1</sup> (976 mm ano<sup>-1</sup>), 655 mm ano<sup>-1</sup> (1048 mm ano<sup>-1</sup>) e 759 mm ano<sup>-1</sup> (1906 mm ano<sup>-1</sup>) no sistema de plantio consorciado não houve diferenças entre os valores de ET/ET<sub>o</sub>, resultando em uma média de 0,49, que em condições potenciais de cultivo representa o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>).

Esse valor é próximo da razão ET/ET<sub>o</sub> do sistema exclusivo (0,50), mostrando que no sistema de plantio de palma forrageira com a aplicação de lâminas inferiores a 1048 mm por ano, não necessita de modificação do manejo de água da palma em decorrência da inserção do sorgo forrageiro dupla aptidão. Consoli et al. (2013), também encontraram um K<sub>c</sub> máximo de 0,50 para palma forrageira em cultivo exclusivo, nas condições do Mediterrâneo da Itália.



**Figura 2.** Razão ET/ET<sub>o</sub> (ET = evapotranspiração real da cultura e ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro.

Houve interação entre esses fatores quando se considerou eficiência do uso da água com base na evapotranspiração dos sistemas (Figura 3).

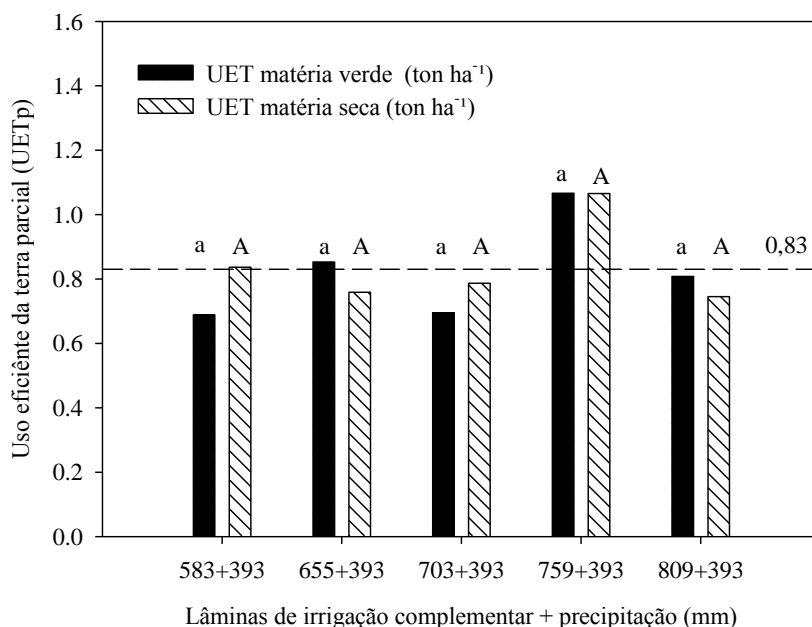


**Figura 3.** Eficiência do uso da água (EUA) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro.

Devido, a menor evapotranspiração do consórcio na lâmina de irrigação complementar de 803 mm ano<sup>-1</sup> (P+I = 1202 mm ano<sup>-1</sup>), a eficiência do uso água apresentou maior magnitude (EUA<sub>ET</sub> ~ 136,5 t MV ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> e EUA<sub>ET</sub> ~ 12,5 t MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) (Figura 3A e 3B). Mas, nas demais lâminas de irrigação complementar não se verificaram, em termos de matéria fresca, efeitos da adoção do sistema de plantio palma-sorgo sobre a eficiência do uso da água.

Com base em matéria seca, o consórcio melhorou a eficiência nas lâminas de irrigação complementar de 703 mm ano<sup>-1</sup> e 809 mm ano<sup>-1</sup>. Consoli et al. (2013), estudando a palma forrageira em sistema de plantio exclusivo obtiveram uma eficiência do uso da água de 45 t MS ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para um período de dois anos de cultivo. Resultados semelhantes são relatados na literatura, indicando o aumento da eficiência do uso da água dos sistemas consorciados em relação aos exclusivos (MIRITI et al., 2012).

O uso eficiente da terra (UET) não foi afetado pela adoção do sistema palma-sorgo e pelas diferentes lâminas de irrigação complementar, tanto com base no rendimento de matéria verde quanto de matéria seca, resultando em um UET parcial médio de 0,83 (Figura 4).



**Figura 4.** Uso eficiente da terra parcial (UET) da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro.

De acordo com Yang et al. (2011), o sistema consorciado apresenta vantagem no rendimento quando UET for superior a 1,0. Registro de sistemas consorciados de palma forrageira foi feito por Silva et al. (2013), analisando as configurações algodão + gergelim + palma forrageira; algodão + palma forrageira; e algodão + amendoim + palma forrageira, os quais obtiveram valores de UET parcial de 0,65; 0,56 e 0,62, respectivamente, mostrando que nesses casos a produtividade da palma forrageira consorciada foi reduzida em função da competição entre as culturas.

## 4 CONCLUSÃO

A adoção do sistema consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido e sob pressão abiótica de água salina afeta principalmente as características estruturais da planta (i.e. número total de cladódios, altura e largura do dossel, etc.), em vez das características dos cladódios (i.e. comprimento, largura, espessura, etc.).

As lâminas de irrigação complementar (583 mm, 655 mm, 703 mm, 759 mm e 809 mm) aos eventos deficitários de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>, abaixo da normal climatológica local de 656 mm ano<sup>-1</sup>) não afetaram o crescimento da palma forrageira nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado.

O consumo de água do sistema de plantio de palma não aumenta em decorrência da inserção do consórcio com o sorgo forrageiro dupla aptidão, apresentando coeficientes de cultura com magnitudes semelhantes ( $K_c \sim 0,50$ ).

Nesse tipo de ambiente, a adoção do sistema palma-sorgo eleva a eficiência do uso da água, porém pouco modificou o uso eficiente da terra parcial.

## REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, E.; BADILLA, I.; NOBEL, P. S. Water Relations, Diurnal Acidity Changes, and Productivity of a Cultivated Cactus, *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiol.** v. 72, p. 775-780, 1983.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMUTH, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56
- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde**, v.7, n.4, p.8-14, 2012.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.
- BATISTA, P. F.; PIRES M. M. M. L.; SANTOS J. S.; QUEIROZ S. O. P.; ARAGÃO C. A.; DANTAS B. F. Produção e qualidade de frutos de melão submetidos a dois sistemas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v.27, n.2, p. 246-250, 2009.

CARVALHO, C. M. DE; VIANA, T. V. DE A.; MARINHO, A. B.; LIMA JÚNIOR, L. A. DE; AZEVEDO, B. M. DE; VALNIR JÚNIOR, M. Influência de diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial do pinhão manso. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.1, p.75-81, 2011.

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.139, p.680-690, 2013.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: análise multivariada e simulação**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, p.175, 2006.

CUNHA, F. F. et al. Produtividade do capim Tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.1, p.103-108, 2008.

FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.341-347, 2000.

FIGUERÊDO, S. F. et al. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômicos no cerrado. **Irriga**, v.13, n.3, p.378-391, 2008.

FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.70, p.97-107, 2004.

FURTADO, G. F.; SOUSA JUNIOR, J. R.; SOUSA, J. R. M. S.; LACERDA, R. R. A.; SOUZA, A. S. Produtividade e uso eficiente da terra no consórcio de mamona com gergelim e feijão-caupi no Semiárido Paraibano. **Revista Verde**, v.7, n.2, p.156-162, 2012.

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

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 335p. 2005.

LIMA, A. S.; MIRANDA, N. DE O.; MEDEIROS, J. F. DE; BARRETO, H. B. F.; AMARAL JÚNIOR, V. P. Avaliação de parâmetros de salinidade em dois solos submetidos a lâminas crescentes de irrigação com água salina. **Revista Verde**, v.7, n.1, p.154 – 158, 2012.

MIRITI, J.M.; KIRONCHI G.; ESILABA, A.O.; HENG, L.K.; GACHENE, C.K.K.; MWANGI, D.M. Yield and water use efficiencies of maize and cowpea as affected by

tillage and cropping systems in semi-arid Eastern Kenya. **Agricultural Water Management**, v.115, p.148-155, 2012.

NUNES, R. L. C.; DIAS, N. da S.; MOURA, K. K. C. de F.; SOUZA NETO, O. N. de, COSTA, J. M. da. Efeitos da salinidade da solução nutritiva na produção de pimentão cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 48 - 53, 2013.

RAMOS, J. P. de F.; LEITE, M. L. de M. V.; OLIVEIRA JUNIOR, S. de; NASCIMENTO, J. P. do; SANTOS, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v. 24, n.3, p.41-48, 2011.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SENTEK. Diviner 2000: user guide version 1.4. **Stepney**: Sentek Pty Ltd, 2007.

SILVA, G. dos S.; OLIVEIRA, R. A. de; QUEIROZ, N. L.; et al. Desempenho agrônômico de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.975-981, 2013.

SILVA, T. G. F. da; MIRANDA, K. R. de; SANTOS, D. C. dos; QUEIROZ, M. G. de; SILVA, M. da C.; CRUZ NETO, J. F. da; ARAÚJO, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Agrária**, v.9, p.633-641, 2014a.

SILVA, T. G. F. da; PRIMO, J. T. A; SIQUEIRA E SILVA, S. M; MOURA, M. S. B. de; SANTOS, D. C. dos; SILVA, M. DA C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v.73, p.184-191, 2014b.

YANG, C.; HUANG, G.; CHAI, Q.; LUO, Z. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. **Field Crops Research**, v.124, p.426-432, 2011.

## **CAPÍTULO 2 - INCREMENTO PRODUTIVO-ECONÔMICO DO CONSÓRCIO PALMA-SORGO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COMPLEMENTAR**

### **RESUMO**

Objetivou-se avaliar o incremento produtivo-econômico da adoção do sistema consorciado palma-sorgo sob diferentes lâminas de irrigação complementar em ambiente Semiárido e sob pressão abiótica de água salina. A pesquisa foi conduzida em Serra Talhada-PE, com delineamento em blocos ao acaso, arranjo fatorial (5×2), quatro repetições, onde os tratamentos foram compostos por cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET<sub>o</sub>), e dois sistemas de plantio (sistema exclusivo da palma e sistema consórcio palma-sorgo). O experimento foi mantido por um ano produtivo de palma, que comportou dois ciclos do sorgo (planta e rebrota). Ao final dos seus ciclos foram obtidas as produtividades. A viabilidade econômica foi analisada por meio da receita líquida e a relação benefício/custo da palma destinada à venda para forragem ou como “semente”, e do sorgo exclusivamente para forragem. Verificou-se que a adoção do consórcio palma-sorgo não afetou a produtividade da palma forrageira em base fresca ( $p > 0,05$ ), porém trouxe um incremento significativo em termos de matéria seca para o sistema de produção ( $> 18,46 \text{ ton. MS ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), devido os benefícios da aplicação de lâminas de irrigação complementar sobre o sorgo forrageiro dupla aptidão ( $> 703 \text{ mm ano}^{-1}$ ). Porém, lâminas de irrigação complementares de  $583 \text{ mm ano}^{-1}$  a  $703 \text{ mm ano}^{-1}$  proporcionaram maior viabilidade econômica ao sistema de produção da palma, quando os seus cladódios foram destinados à venda como “semente”, e o sorgo forrageiro dupla aptidão foi vendido como forragem.

**PALAVRA-CHAVE:** ambiente salino, *Opuntia stricta*, relação benefício/custo, Semiárido, viabilidade econômica



# **PRODUCTIVE-ECONOMIC INCREMENT OF THE CACTUS-SORGHUM INTERCROPPING SYSTEM UNDER DIFFERENT BLADES OF SUPPLEMENTARY IRRIGATION**

## **ABSTRACT**

The objective was to evaluate the productive-economic increase of the adoption of cactus-sorghum intercropping system under different blades of supplementary irrigation in Semi-arid environment and under pressure of abiotic saline water. The experiment was conducted in district of Serra Talhada, State of Pernambuco, with delineation in randomized factorial arrangement ( $5 \times 2$ ), four repetitions, where the treatments were composed of five blades of supplementary irrigation based on reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) (0%, 8.75%, 17.5%, 26.25% and 35%.ET<sub>o</sub>), and two crop systems (cactus forage sole system and cactus-sorghum intercropping system). The experiment was kept in a productive year of cactus forage, which included two cycles of sorghum (plant and regrowth). At the end of their cycles were obtained the productivity. Economic viability was analyzed by means of net revenue and the benefit/cost ratio of cactus for sale for fodder or as "seed", and sorghum for forage. It was found that the adoption of the cactus-sorghum hasn't affected the productivity of cactus forage in fresh base ( $p > 0.05$ ), but brought a significant increase in terms of dry matter for the production system ( $> 18.46 \text{ ton. MS ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), because the benefits of irrigation blades application on forage sorghum ( $> 703 \text{ mm year}^{-1}$ ). However, supplementary irrigation blades of  $583 \text{ mm year}^{-1}$  to  $703 \text{ mm year}^{-1}$  provided greater economic viability to the production system of the cactus forage, when his cladode were intended for sale as "seed", and forage sorghum as fodder.

**KEYWORDS:** saline environment, *Opuntia stricta*, benefit/cost ratio, Semi-arid, economic feasibility

## 1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é a principal fonte de alimento para os rebanhos no Semiárido brasileiro, sobretudo durante o período de estiagem (ALMEIDA, 2012), atingindo valores acima de 150 ton. de matéria verde por hectare quando cultivada sob correção e adubação do solo, densidade de plantio adequada, controle de plantas daninhas, disponibilidade hídrica apropriada e manejo correto da colheita (CUNHA et al., 2008; SANTOS, 2006).

Dentre os fatores responsáveis pelo desempenho produtivo da palma, destaca-se a sazonalidade da disponibilidade hídrica e o estresse salino; características essas comuns em ambiente semiárido, e que as suas influências sobre essa cultura depende do tipo de cultivar, do nível de salinidade da água, das condições edafoclimáticas locais, e de outros aspectos associados ao manejo da cultura (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006; FREIRE, 2012). Estudos tem sido conduzidos, em condições de campo, com a palma sob diferentes lâminas de irrigação complementar em ambiente semiárido, porém não se tem registro do uso de água salina (CONSOLI et al., 2013; FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; MERWE et al., 1997). Freire (2012) cita a sensibilidade da cv. Miúda à salinidade, a depender da lâmina de irrigação e da condutividade elétrica da água, em condições de cultivo em vaso, e destaca a resposta produtiva de diferentes acessos de palma forrageira irrigados com água salina.

Desta forma, o uso de irrigação complementar no sistema de produção da palma, torna-se uma alternativa no aumento da produtividade da cultura, porém, é necessário conhecer a lâmina de água que induz a maior produtividade, embora em condições de salinidade hídrica. Associado a isso, a adoção do sistema consorciado, pode melhorar o uso da água, por meio da redução das perdas de produção, aproveitamento do uso da terra e melhoria do retorno econômico (ANDRADE et al., 2001).

Todavia, para a implantação de um sistema de produção em uma propriedade agrícola, Araújo et al. (2008) recomenda a aplicação de indicadores agroeconômicos, que permitem identificar ao produtor a vantagem do uso de novas técnicas de manejo, mediante o conhecimento da receita líquida e da relação benefício/custo, de modo a melhorar a tomada de decisão, o controle dos recursos produtivos e a viabilidade econômica (SANTOS et al., 2009).

Nesse tipo de análise, os custos do sistema de irrigação são considerados importantes, logo que é uma tecnologia que requer altos investimentos e ainda assume o

uso intensivo de insumos (SILVA et al., 2003; VIEIRA et al., 2011). Igualmente como o uso do consórcio, a implementação do sistema de irrigação torna-se viável se os benefícios gerados com o uso da irrigação forem positivos e superem os retornos provenientes da cultura não irrigada, ou seja, que o ganho monetário oriundo do aumento da produtividade compense a elevação do custo de produção ocasionada pela operacionalização do sistema (ARÊDES et al., 2007).

O uso de irrigação complementar em conjunto com a adoção de sistema consorciado tem sido relatado na literatura para diferentes culturas (BEZERRA et al., 2007; SOUZA et al., 2011; FAN et al., 2013; YANG et al., 2011), todavia não é referida para a palma forrageira, predominando apenas pesquisas de seus consórcios em condições de sequeiro (SILVA et al., 2013; FARIAS et al., 2000).

Neste contexto, os custos provenientes da implantação do sistema consorciado em conjunto com a irrigação complementar podem ser compensados diante do potencial produtivo da palma em ambiente Semiárido, e a opção de destino da produção para a venda como forragem ou como “semente” para plantio de novas áreas de cultivo, podendo contribuir com a viabilidade econômica do sistema de produção, mesmo em ambiente semiárido e sob pressão abiótica de água salina.

Portanto, objetivou-se avaliar o incremento produtivo-econômico da adoção do sistema consorciado palma-sorgo sob diferentes lâminas de irrigação complementar no Semiárido brasileiro e sob pressão abiótica de estresse salino.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido no município de Serra Talhada, PE (latitude: 7°59'S, longitude: 38°15'O e altitude: 431 m), microrregião do Vale do Pajeú, Semiárido brasileiro. A área de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), foi implantada em março de 2011. Para isso, foi feita gradagem e sulcagem do solo, espaçados em 1,6 x 0,2 m, e os cladódios foram plantados com 50% de seus comprimentos enterrados. Até final de maio de 2012, a cultura foi conduzida em sistema de plantio exclusivo e em condições de sequeiro. Nessa ocasião, realizou-se o primeiro corte, deixando apenas os cladódios basais, e iniciou-se o segundo ciclo produtivo, período experimental do presente estudo, o qual foi conduzido durante 380 dias, até junho de 2013, ou seja, aproximadamente um ano produtivo.

O delineamento experimental da palma forrageira foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial (5×2), quatro repetições, com parcelas compostas por cinco lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) (0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35%.ET<sub>o</sub>) e subparcelas por dois sistemas de plantio (sistema exclusivo da palma forrageira, e sistema consorciado palma-sorgo). Cada unidade experimental possuía quatro fileiras de seis metros de comprimento e 15 plantas, das quais as duas fileiras centrais, com exceção das duas plantas de cada lado das mesmas, foram consideradas como área útil de 12,8 m<sup>2</sup>, contendo 22 plantas, dentre as 60 plantas da parcela experimental de 38,4 m<sup>2</sup> de área total.

A implantação do sistema consorciado foi feita em novembro de 2012, com a inserção do sorgo forrageiro de dupla aptidão, cv. IPA2502, espaçado em 0,25 m da fileira da palma. Para o plantio do sorgo foram abertas covas contínuas de seis metros de comprimento com profundidade de 0,05 m, e plantadas 18 sementes por metro linear. O sorgo foi conduzido por dois ciclos produtivos, o de planta e o de rebrota, sendo as colheitas em fevereiro de 2013 e em junho de 2013, totalizando 246 dias, dentre os 380 dias de ciclo da palma forrageira.

As irrigações foram realizadas por um sistema de gotejamento, com vazão nominal de 1,35 L/h sob a pressão de 1,0 atm, nos períodos em que a precipitação pluviométrica foi inferior a ET<sub>o</sub> acumulada entre os dias de reposição de água no solo. Todavia, com o intuito de permitir o estabelecimento inicial das culturas, a diferenciação das lâminas de irrigação ocorreu a partir de dezembro de 2012 (um mês após o plantio do sorgo), prosseguindo até junho de 2013, quando ocorreu a colheita da palma e do sorgo no ciclo de rebrota. Para os eventos de irrigação foi utilizada a água do Açude Saco, nas proximidades da área experimental, em que a condutividade elétrica variou entre 1,1 a 1,6 dS m<sup>-1</sup> ao longo do ciclo das culturas.

Realizou-se ainda, adubação a lanço, em intervalo mensal com o formulado 14-00-18, de acordo com as recomendações do Instituto Agrônomo de Pernambuco, e capinas e controles fitossanitários, sempre que necessários.

A ET<sub>o</sub> foi estimada pelo método de Penman Monteith parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998), usando dados meteorológicos obtidos de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, instalada no município de Serra Talhada, a menos de 1500 m da área experimental.

A produtividade da palma forrageira foi estimada para toneladas por hectares (t/ha), considerando, a matéria verde, o peso total e o número de plantas da área útil da

parcela experimental, e a densidade final de plantas na ocasião da colheita (15.625 plantas ha<sup>-1</sup>). Adicionalmente, utilizou-se o conteúdo de matéria seca, para obter o rendimento em base seca. Para o sorgo assumiu-se o peso fresco de dez plantas; a densidade final de plantas, pela contagem do número de indivíduos por metro linear na ocasião das colheitas nos ciclos de planta e rebrota; e o conteúdo de matéria seca. O desempenho produtivo do sistema consorciado foi expresso pelo somatório dos rendimentos da palma forrageira mais os obtidos nos dois ciclos do sorgo.

A viabilidade econômica da adoção do sistema consorciado palma-sorgo foi calculada mediante a estimativa dos custos da implantação e manutenção das duas culturas, e do sistema de irrigação por gotejamento, ambos referentes a um hectare.

Na implantação da área considerou-se o plantio do sorgo (compra de sementes e mão de obra para plantio) e tratos culturais (capinas e adubações). Os custos de uso do sistema de irrigação foram levantados os valores dos seus componentes em três comércios de produtos agropecuários, um na cidade de São José do Belmonte - PE e dois na cidade de Serra Talhada - PE, obtendo-se a média dos valores (R\$) de cada componente, e o orçamento final do custo fixo para implantação de um hectare.

A partir do custo fixo total da implantação do sistema de irrigação, calculou-se os seguintes custos variáveis: depreciação dos componentes do sistema (DC); juros sobre o capital investido (JC); custos variáveis de energia elétrica (CEE); custos de mão de obra (CMO) e de manutenção dos componentes dos sistemas (CMC); e reserva de contingência (RC).

O cálculo dos custos de depreciação dos equipamentos seguiu a metodologia sugerida por Fernandes et al. (2008) e Frizzone e Andrade Jr. (2005), que avalia o valor de aquisição do componente no comércio; valor residual ou de sucata, em que nesse cálculo retirou-se 20% do valor de compra de cada componente; e a vida útil de 15 anos para os equipamentos, por meio da equação 1:

$$DC = \frac{[(VAC) - (0,2 \times VAC)]}{VU} \quad (1)$$

em que, 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 custo dos juros sobre o capital investido foi contabilizado considerando a taxa de rendimentos bancários da categoria poupança, que gira em torno de 7,2% ao ano, e o valor de aquisição dos equipamentos adquiridos no comércio, ou seja, o investimento inicial para implantação do sistema de irrigação, segundo a equação 2:

$$JC = TAJ \times VAE \quad (2)$$

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

Na obtenção dos custos com energia elétrica para o bombeamento de água no sistema foi obtido o valor do quilowatt-hora (kWh) cobrado pela companhia energética de Pernambuco - CELPE (R\$ = 0,42 kWh); o tempo em horas anuais de funcionamento do equipamento (média 444 h ano<sup>-1</sup>); e a potência exigida do conjunto motobomba (2 cv), considerando o rendimento da bomba e do motor elétrico, conforme sugerido por Mendonça (2001), e equação 3:

$$CEE = V_{\text{kwh}} \times T \times \left( \frac{736 \times \text{Pot}}{1000 \times \eta} \right) \quad (3)$$

em que: CE = custo com energia (R\$); V<sub>kWh</sub> = 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 η = rendimento do conjunto motobomba (decimal).

Para calcular as despesas com a mão de obra utilizada na manutenção do sistema de irrigação, considerou-se a área em hectare; o número de funcionários necessários para um hectare irrigado por sistema de gotejamento (0,04 homens ha<sup>-1</sup>); e o salário mínimo atual do brasileiro, incluindo os encargos tributários cobrados pelo governo, de acordo com a fórmula 4 (FERNANDES et al., 2008; KELLER; BLIESNER, 1990):

$$CMO = AS \times EMS \times SM \quad (4)$$

sendo, 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\$).

Os custos com a manutenção anual dos componentes do sistema de irrigação por gotejamento foram contabilizados utilizando valores percentuais médios para a manutenção de cada componente do sistema, da seguinte forma: tubulações enterradas (0,5%), tubulações em superfície (1%), estruturas (1,5%), motobombas (6%), emissores (7%) e filtros (8%). Para este cálculo acrescentou-se o valor de compra de cada componente no comércio, de acordo com Fernandes et al. (2008) e Keller e Bliesner (1990), conforme a equação 5:

$$CMC = VPM \times VAC \quad (5)$$

em que, 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\$).

A reserva de contingência empregada em casos emergenciais ocasionados por falhas humanas, mecânicas ou do sistema foi calculada por meio do adicionamento de 5% sobre os custos variáveis como depreciação dos componentes do sistema, juros sobre o capital investido, custos com energia elétrica, mão de obra e manutenção dos componentes dos sistemas (FERNANDES et al., 2008).

Ao término de todos os cálculos, obteve-se o custo total da implantação do sistema de irrigação, segundo a equação 6:

$$CT = \sum(CF + CV) \quad (6)$$

onde: CT= custo total da implantação do sistema de irrigação; CF custos fixos; CV custos variáveis.

As despesas referentes ao consumo de água não foram consideradas, logo que no município de Serra Talhada, PE, ainda não se faz cobrança da outorga de água.

A viabilidade econômica do uso de irrigação e da adoção do sistema consorciado palma forrageira-sorgo foi analisada mediante a comparação da receita líquida e da relação benefício custo, equivalente a um hectare, em comparação ao sistema de plantio exclusivo da palma forrageira.

As receitas líquidas dos sistemas de plantio exclusivo (palma forrageira) e consorciado (palma forrageira+sorgo) foram obtidas a partir da diferença entre a receita bruta (assumindo o destino da produção da palma para forragem ou o uso como “semente” para plantio de novas áreas, e do sorgo exclusivamente para venda como forragem), e os custos totais das despesas de implantação e manutenção, correspondentes a cada sistema de plantio, mais a implantação do sistema de irrigação, conforme equações 7 a 10:

$$RL_{(sistema\ exclusivo)} = RB_{palma(forrageira)} - \sum(CS + CT) \quad (7)$$

$$RL_{(sistema\ exclusivo)} = RB_{palma("semente")} - \sum(CS + CT) \quad (8)$$

$$RL_{(sistema\ consorciado)} = RB_{palma(forrageira)+sorgo(forrageira)} - \sum(CS + CT) \quad (9)$$

$$RL_{(sistema\ consorciado)} = RB_{palma("semente")+sorgo(forrageira)} - \sum(CS + CT) \quad (10)$$

em que,  $RL_{(sistema\ exclusivo)}$  e  $RL_{(sistema\ consorciado)}$  = receita líquida do sistema de plantio exclusivo e consorciado, nessa ordem,  $RB_{palma(forrageira)}$ ,  $RB_{palma("semente")}$ ,

$RB_{\text{palma(forrage)}+\text{sorgo(forrage)}}$  e  $RB_{\text{palma("semente")+\text{sorgo(forrage)}}$  = renda bruta da palma destinada à venda para forragem ou como “semente”, e da palma mais sorgo para venda como forragem, ou da palma como “semente” e o sorgo como forragem, respectivamente; CS = custos com a implantação de cada sistema de plantio (exclusivo e consorciado); e, CT = custo total da implantação do sistema de irrigação.

A renda bruta foi calculada para a palma destinada à forragem e como “semente”, conforme equações 11 a 14:

$$RB_{\text{palma(forrage)}} = RMV \times VMP \quad (11)$$

$$RB_{\text{palma("semente")}} = NTC \times VMC \quad (12)$$

$$RB_{\text{palma(forrage)} + \text{sorgo(forrage)}} = RMV \times VMP + VMS \quad (13)$$

$$RB_{\text{palma("semente") + sorgo(forrage)}} = NTC \times VMC + VMS \quad (14)$$

em que, RMV = rendimento em matéria verde; VMP = valor de mercado da palma para destino como forragem (R\$100,00 t/ha); VMS = valor de mercado do restolho do sorgo (R\$150,00 t/ha) mais os grãos (R\$ 0,80 Kg); NTC = número total de cladódios (ud); e, VMC = valor de mercado do cladódio para a venda como “semente” (R\$0,15 ud).

A relação benefício custo (B/C) dos sistemas de plantio conforme a equação 15 a 18:

$$B/C_{\text{(sistema exclusivo)}} = \frac{RL_{\text{(forrage)}}}{\sum CT + CS} \quad (15)$$

$$B/C_{\text{(sistema exclusivo)}} = \frac{RL_{\text{("semente")}}}{\sum CT + CS} \quad (16)$$

$$B/C_{\text{(sistema consorciado)}} = \frac{RL_{\text{palma(forrage)} + \text{sorgo(forrage)}}}{\sum CT + CS} \quad (17)$$

$$B/C_{\text{(sistema consorciado)}} = \frac{RL_{\text{palma("semente") + sorgo(forrage)}}}{\sum CT + CS} \quad (18)$$

Os cálculos de viabilidade econômica da adoção do sistema consorciado palma-sorgo sob condição irrigada foram feitos para as cinco lâminas de irrigação complementar.

Os dados de rendimento dos sistemas exclusivo e consorciado, renda líquida e da relação benefício custo foram submetidos ao teste de normalidade, análise de variância pelo teste F; e uma vez significativa, e constatada a interação entre os fatores lâminas de irrigação complementar e sistemas, as variáveis foram aplicadas ao teste de média de

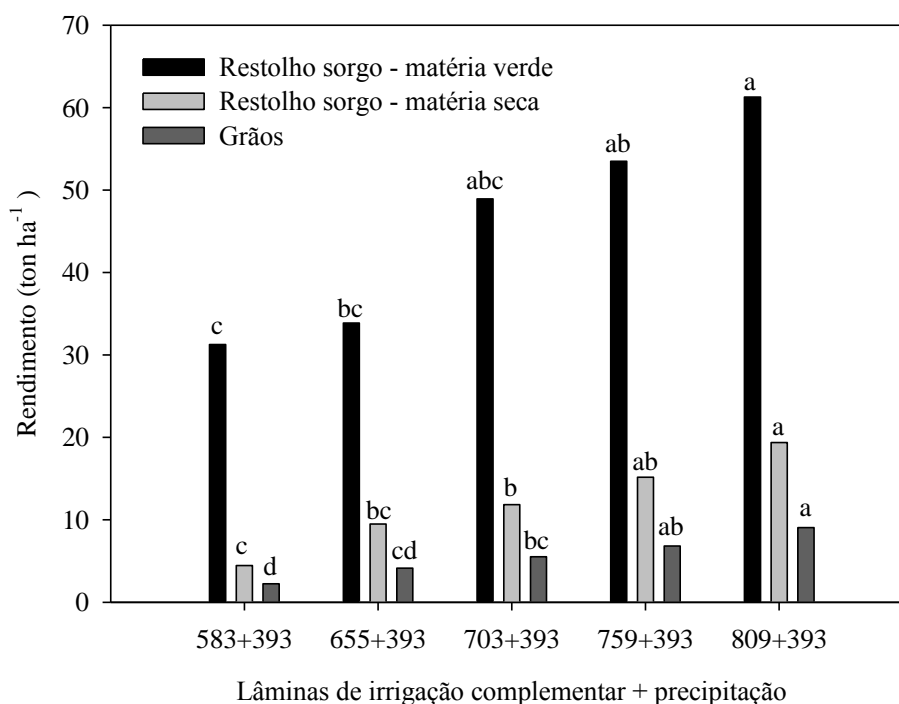


Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do software GENES (Genética Quantitativa e Estatística Experimental) (CRUZ, 2006).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os rendimentos do sorgo consorciado com palma forrageira diferiram entre as lâminas de irrigação complementar, onde as reposições de água de 759 mm ano<sup>-1</sup> e 809 mm ano<sup>-1</sup> à condição deficitária da precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) promoveram, concomitantemente, maiores produtividades de matéria verde, seca e de grãos. Na Figura 1 são mostrados os valores de rendimento acumulado durante os dois ciclos do sorgo forrageiro dupla aptidão (cv. IPA2502), que totalizaram 246 dias dentro do ciclo de 380 dias da palma forrageira.

Em média, o rendimento de matéria verde do restolho por ciclo do sorgo irrigado em consórcio com a palma forrageira, sob um espaçamento de 1,6 x 0,2 m, independentemente da lâmina de irrigação complementar, foi de 45,77 ton ha<sup>-1</sup>, enquanto de matéria seca e grãos foram iguais a 12,10 ton ha<sup>-1</sup> e 5,57 ton ha<sup>-1</sup>, nessa ordem.



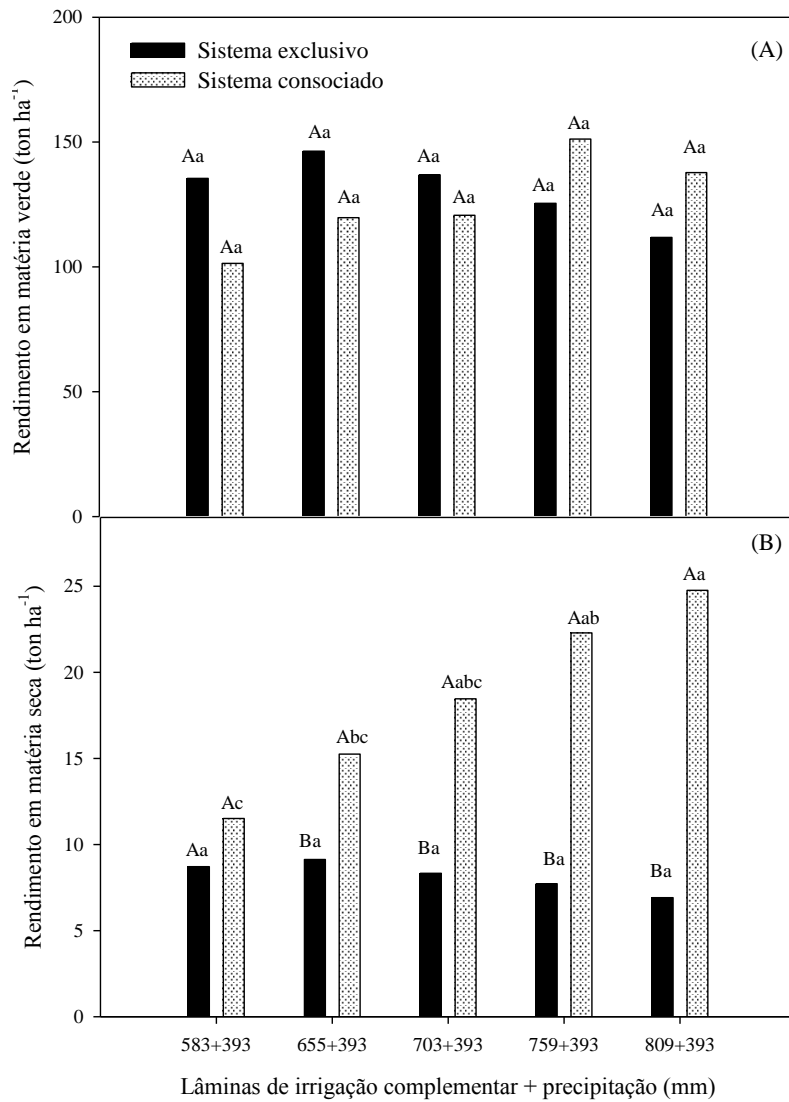
**Figura 1.** Rendimento de matéria verde e seca do sorgo dupla aptidão, consorciado com a palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), sob diferentes lâminas de irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência no Semiárido brasileiro.

Farias et al. (2000), analisando sistema consorciado de palma forrageira com o sorgo granífero, em condição de sequeiro, sob espaçamentos de 2,0m x 1,0m; 3,0m x 1,0m x 0,5m; e 7,0m x 1,0m x 0,5 m com densidades de plantio de 5.000, 10.000 e 5.000 plantas ha<sup>-1</sup>, nessa ordem, obtiveram em média 2,21; 2,31 e 3,12 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca de restolho e 1,90; 1,40 e 2,00 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de grãos. Um provável fator da baixa resposta produtiva observada por Farias et al. (2000) pode estar relacionada a precipitação média que foi 654,6 mm ano<sup>-1</sup>, enquanto no presente estudo a menor condição de disponibilidade de água para o sistema de plantio foi de 976 mm ano<sup>-1</sup>.

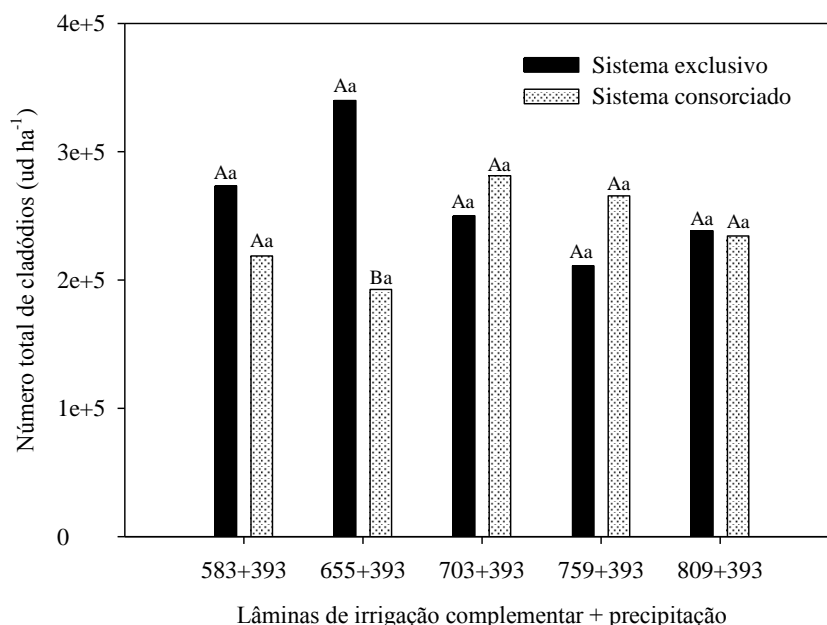
Não houve efeito do sistema de plantio e da lâmina de irrigação complementar sobre o rendimento de matéria verde da palma forrageira (Figura 2A) ( $p > 0,05$ ), ou seja, a adoção do sistema consorciado e o incremento de lâminas de irrigação complementar entre 583 mm ano<sup>-1</sup> e 809 mm ano<sup>-1</sup>, não contribuíram para o aumento do rendimento do sistema de plantio, em base de matéria verde.

Por outro lado, o rendimento em matéria seca do sistema de produção da palma foi aumentado pela adoção do consórcio com o sorgo (18,46 ton. MS ha<sup>-1</sup> a 24,77 ton. MS ha<sup>-1</sup>), apresentando incrementos expressivos em lâminas de irrigação complementar superiores a 703 mm ano<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ) (Figura 2B). O melhor desempenho produtivo do consórcio foi evidenciado na lâmina de 809 mm ano<sup>-1</sup> ( $P + I = 1202$  mm ano<sup>-1</sup>), com 24,77 ton. MS ha<sup>-1</sup>. Fan et al. (2013) também observaram que o aumento da lâmina de irrigação em sistemas consorciados incrementa a produtividade, em decorrência da melhoria do suprimento da necessidade hídrica de ambas as culturas.

Na Figura 3, o número total de cladódios (NTC) da palma forrageira apresentou diferença ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas de plantio apenas na lâmina de 655 mm ano<sup>-1</sup>, em que no sistema exclusivo o NTC foi superior a 340.000 ud ha<sup>-1</sup>, enquanto no sistema consorciado foi em torno de 193.000 ud ha<sup>-1</sup>, demonstrando uma grande influência da competição entre a palma e o sorgo. Dubeux Jr. et al. (2006) observaram para a palma forrageira, cv. IPA 20, em condições de sequeiro (~ 600 mm ano<sup>-1</sup>), no município de Serra Talhada-PE, sob densidade populacional de 40.000 plantas ha<sup>-1</sup>, durante um ciclo bienal, valores de NCT de 260.000 ud ha<sup>-1</sup>, sendo inferior ao do presente estudo.



**Figura 2.** Rendimento de matéria fresca e seca do sistema exclusivo e consorciado com sorgo dupla aptidão, submetidos a diferentes lâminas de água recebida pelo sistema via irrigação complementar em função da evapotranspiração de referência (583, 655, 703, 759 e 809 mm ano<sup>-1</sup>) sob condição deficitária de precipitação pluviométrica (393 mm ano<sup>-1</sup>) no Semiárido brasileiro.



**Figura 3.** Número total de cladódios da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), no sistema de plantio exclusivo e no consórcio palma-sorgo sob diferentes lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência no Semiárido brasileiro.

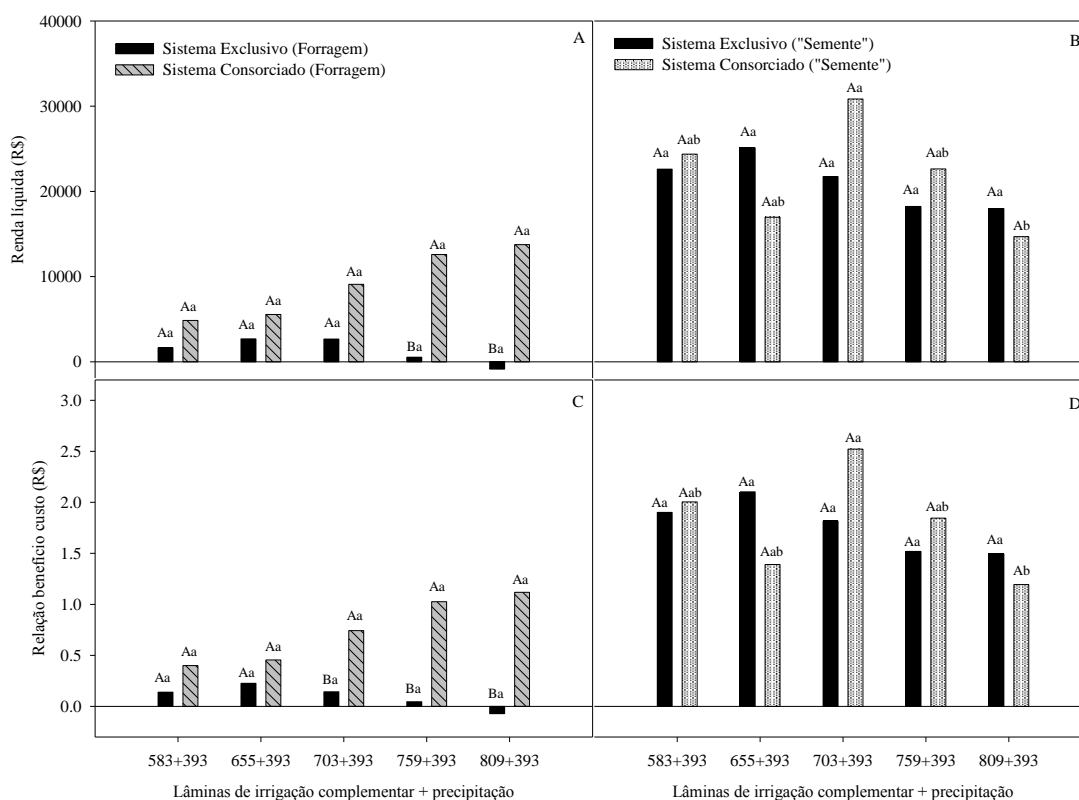
Em termos de viabilidade econômica, os valores totais provenientes dos custos fixos e variáveis, e dos gastos resultantes da inserção do sistema consorciado, durante o primeiro ano do segundo ciclo produtivo da palma, variaram de R\$12.422,67 a R\$12.563,63 por hectare entre as lâminas de irrigação complementar de 583 mm ano<sup>-1</sup> a 809 mm ano<sup>-1</sup>. Enquanto, o sistema exclusivo o custo máximo (R\$ 12.033,63) ocorreu para a reposição de 809 mm ano<sup>-1</sup>, diferindo apenas -4,2% nos custos em relação ao sistema consorciado para a mesma lâmina (Tabela 1).

As receitas variaram conforme o destino final do produto, caso à venda da palma e do sorgo seja para forragem, ou da palma para “semente” e o sorgo para forragem.

No sistema exclusivo, quando considerou a palma destinada à forragem (Figura 4A), observou-se que não houve efeito das lâminas de irrigação na renda líquida (RL) e na relação benefício custo (B/C). O mesmo foi observado no sistema consorciado (Figura 4C), todavia obteve melhor retorno econômico, quando comparado ao sistema exclusivo, em lâminas de irrigação complementar acima de 759 mm ano<sup>-1</sup> com uma renda líquida de R\$12.587,51 e relação B/C acima de 1,0.

**Tabela 1.** Custos de implantação do sistema de plantio consorciado palma-sorgo e exclusivo de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), ambos submetidos a diferentes lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência, no município de Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro.

Sistema	Lâminas de irrigação complementar + precipitação				
Consórcio	583+393 mm ano <sup>-1</sup>	655+393 mm ano <sup>-1</sup>	703+393 mm ano <sup>-1</sup>	759+393 mm ano <sup>-1</sup>	809+393 mm ano <sup>-1</sup>
Custos fixos	5.760,40	5.760,40	5.760,40	5.760,40	5.760,40
Custos variáveis	2.357,27	2.402,79	2.432,16	2.467,40	2.498,23
Tratos culturais	4.040,00	4.040,00	4.040,00	4.040,00	4.040,00
Implantação do sorgo	265,00	265,00	265,00	265,00	265,00
<b>Total</b>	<b>12.422,67</b>	<b>12.468,19</b>	<b>12.497,56</b>	<b>12.532,80</b>	<b>12.563,63</b>
Exclusivo	583+393 mm ano <sup>-1</sup>	655+393 mm ano <sup>-1</sup>	703+393 mm ano <sup>-1</sup>	759+393 mm ano <sup>-1</sup>	809+393 mm ano <sup>-1</sup>
Custos fixos	5.760,40	5.760,40	5.760,40	5.760,40	5.760,40
Custos variáveis	2.092,27	2.137,79	2.167,16	2.202,40	2.233,23
Tratos culturais	4.040,00	4.040,00	4.040,00	4.040,00	4.040,00
<b>Total</b>	<b>11.892,67</b>	<b>11.938,19</b>	<b>11.967,56</b>	<b>12.002,80</b>	<b>12.033,63</b>



**Figura 4.** Renda líquida e relação custo benefício da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), no sistema exclusivo e no consórcio palma-sorgo em diferentes condições de irrigação complementar no Semiárido brasileiro.

A adoção de lâminas de irrigação complementar abaixo de  $703 \text{ mm ano}^{-1}$ , não possui viabilidade econômica em ambos os sistemas de plantio, logo que a relação B/C foi inferior a 1,0, indicando que os benefícios advindos da venda são menores que os custos de produção.

As maiores rendas líquidas tanto no sistema de plantio exclusivo quanto consorciado foi obtido na venda dos cladódios da palma para “semente”.

Contudo, entre os sistemas de plantio, independentemente da lâmina de irrigação complementar, não houve diferença na RL (Figura 4B) ( $p > 0,05$ ) da palma destinada a venda para “semente” (Figura 4B), resultando em valores médios de RL de R\$21.898,92 e R\$21.131,90, para o consórcio e sistema exclusivo, respectivamente.

A venda dos cladódios como “semente” (Figura 4D), independente das lâminas de água em ambos os sistemas, resultou em uma relação B/C superior de 1,79 e 1,77, nessa ordem para o consórcio e sistema exclusivo, indicando que a cada R\$ 1,00 de investimento no sistema de produção da palma forrageira irrigada há um retorno médio de R\$ 1,78. Porém, a lâmina de irrigação complementar de  $809 \text{ mm ano}^{-1}$  apresentou efeito negativo sobre a relação B/C apenas no sistema consorciado ( $p < 0,05$ ), sugerindo que lâminas de água acima de  $1202 \text{ mm ano}^{-1}$  ( $809 \text{ mm ano}^{-1} + 393 \text{ mm ano}^{-1}$ ) podem reduzir drasticamente a viabilidade econômica do consorcio palma-sorgo.

Por sua vez, lâminas de irrigação complementar  $< 703 \text{ mm ano}^{-1}$  podem trazer retorno econômico e relação B/C mais vantajosa (RL = R\$ 24.061,06 e B/C = 1,97), com menor aplicação de água.

#### 4 CONCLUSÃO

A adoção do consórcio palma-sorgo em ambiente semiárido e sob pressão abiótica de água salina não afetou a produtividade da palma forrageira em base fresca, mas trouxe incremento significativo em termos de matéria seca para o sistema de produção, devido os benefícios da aplicação de lâminas de irrigação complementar no sorgo forrageiro dupla aptidão ( $> 703 \text{ mm ano}^{-1}$ ), em condições deficitárias de precipitação pluviométrica ( $393 \text{ mm ano}^{-1}$ ). Porém, lâminas de irrigação complementares de  $583 \text{ mm ano}^{-1}$  a  $703 \text{ mm ano}^{-1}$  proporcionaram maior viabilidade

econômica ao sistema de cultivo da palma forrageira, quando os seus cladódios foram destinados à venda como “semente”, e o sorgo forrageiro dupla aptidão foi vendido como forragem.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p. Irrigation and Drainage, 56.
- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde, Mossoró**, v. 7, n. 4, p. 08-14, out-dez, 2012.
- ANDRADE, M. J. B.; MORAIS, A. R.; TEIXEIRA, I. R.; SILVA, M. V. Avaliação de sistemas de consórcio de feijão com milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 2, p. 242-250, 2001.
- ARAÚJO, A. C. de; BELTRÃO, N. E. de M.; MORAIS, M. dos S.; ARAÚJO, J. de L. O.; CUNHA, J. L. X. L.; PAIXÃO, S. L. Indicadores agroecônômicos na avaliação do consórcio algodão herbáceo + amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1467-1472, 2008.
- ARÊDES, A. F.; SANTOS, M. L.; RUFINO, J. L. S.; REIS, B. S. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG. **Revista de Economia e Agronegócio**, v.5, p.207-225, 2007.
- CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.139, p.680-690, 2013.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes: análise multivariada e simulação**. Viçosa, Minas Gerais: UFV, p.175, 2006.
- BEZERRA, A. P. A.; PITOMBEIRA, J. B.; TÁVORA, F. J. A. F.; NETO F. das C. V. Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, n.1, p.104-108, 2007.
- CRUZ, T.M.L. TEIXEIRA, A. dos S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; SANTOS, C. C. dos; OLIVEIRA, A. D. S. de; DAHER, S. Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v.30, n.1, p.33-45, 2010.

CUNHA, F. F.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; PEREIRA, O. G.; ABREU, F. V. S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e frequências de irrigação. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.

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

FAN, Z.; CHAI, Q.; HUANG, G.; YUA, A.; HUANGA, P.; YANG, C.; TAOB, Z.; LIU, H. Yield and water consumption characteristics of wheat/maize intercropping with reduced tillage in an Oasis region. **European Journal of Agronomy**, v.45, p.52-58, 2013.

FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. dos; TAVARES FILHO, J. J.; SANTOS, M. V. F. dos; FERNANDES, A. de P. M.; SANTOS, V. F. dos. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.341-347, 2000.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: O Lutador, 2008. 476p.

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

FREIRE, J. de L. **Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) sob irrigação e salinidade**. 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

FRIZZONE, J.A.; ANDRADE Júnior, A.S. de. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília: EMBRAPA, 626 p, 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 652 p, 1990.

MENDONÇA, F. C. Evolução dos custos e avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura. In: SANTOS, C. M.; MENDONÇA, F. C.; BENJAMIN, M.; TEODORO, R. E. F.; SANTOS, V. L. M. **Irrigação da cafeicultura no cerrado**. 1. ed. Uberlândia: UFU, 2001. cap. 5, p.45-78.



MERWER, L. L. V. D.; WESSELS, A. B.; FERREIRA, D. I., Supplementary irrigation for cactus pear. In: CONGRESS ON CACTUS PEAR AND COCHINEAL. 3., 438, 1997. Midrand, **Resumos...** Midrand: ISHS Acta Horticulturae, 1997. p. 77-81.

SANTOS, D. C. dos; FARIAS, I.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F. dos; ARRUDA, G. P. de; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).

SANTOS, N. C. B. dos; TARSITANO, M. A. A.; ARF, O.; MATEUS, G. P. Análise econômica do consórcio feijoeiro e milho-verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2009.

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, G. dos S.; OLIVEIRA, R. A. de; QUEIROZ, N. L.; et al. Desempenho agrônomo de algodão orgânico e oleaginosas consorciados com palma forrageira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.9, p.975-981, 2013.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

VIEIRA, G. H. S; MANTOVANI, E. C; SOARES, A. A.; MONTES, D. R. P.; CUNHA, F. F. da. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamentos e tamanhos de área. **Engenharia na Agricultura**, v.19, n.1, p.53-61, 2011.

YANG, C.; HUANG, G.; CHAI, Q.; LUO, Z. Water use and yield of wheat/maize intercropping under alternate irrigation in the oasis field of northwest China. **Field Crops Research**, v. 124, p. 426-432, 2011.