



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Eficiência do uso da água e nutrientes da palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio

Méry Cristina de Sá Assís

2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MONOGRAFIA

Eficiência do uso da água e nutrientes da palma forrageira sob diferentes regimes
hídricos e sistemas de plantio

Méry Cristina de Sá Assís
Graduanda

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
Orientador

Serra Talhada– PE
Agosto de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada - PE, Brasil.

A848e Assís, Mery Cristina de Sá
Eficiência do uso da água e nutrientes da palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio/ Mery Cristina de Sá Assís. – Serra Talhada, 2018.
37 f.: il.
Orientador: Thieres George Freire da Silva
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharel em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Serra Talhada, 2018.
Inclui referências.

1. Cobertura morta (Agricultura). 2. Palma forrageira. 3. Irrigação. 4. Semiárido. I. Silva, Thieres George Freire da, Orient. II. Título.

CDD 636



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA
CURSO DE BACHARELADO EM ZOOTECNIA

MERY CRISTINA DE SÁ ASSÍS
Graduanda

Monografia submetida ao Curso de Zootecnia como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Zootecnia.

Aprovado em 27/08/2018

EXAMINADORES:

Dr. Thieres George Freire da Silva

Dr^a. Luciana Sandra Bastos de Souza

Dr^a. Thalyta Soares dos Santos

*A ele que foi meu maior
exemplo de esforço e dedicação,
meu protetor, amigo e irmão,
Alcimar Antônio de Sá Assís (in
memoriam).*

Com saudades

DEDICO

AGREDECIMENTOS

À DEUS, que me concedeu a dádiva de viver e a quem, na fé, tenho buscado graças e forças para continuar seguindo na vida.

À minha família, em especial meus pais, Antônio Joaquim de Assis Filho e Maria Margarida de Sá Assis, pela compreensão, apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva por me convencer a continuar no curso, me orientar e incentivar a crescer como pessoa e como profissional.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pela oportunidade de cursar o bacharelado em Zootecnia.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido, pelas análises do material do experimento.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, pela concessão da área experimental.

Ao corpo docente do curso de zootecnia pelos ensinamentos, orientações, paciência e incentivo.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido-GAS, pelo apoio, incentivo, amizade e ensinamentos.

Aos meus colegas do curso de Zootecnia, em especial Álvaro, Bruno, Caline, Ethiana, José Weliton, Leandro, Lucinéa e Nathaly, que desde o início acompanharam juntos as batalhas, vitórias, dificuldades e também os momentos de descontração.

Aos amigos Alexandre Jardim e George Araújo Júnior, por todas as contribuições na construção da monografia.

Aos meus amigos Demétrio, Cinthia, Leandro (Bolinha), Leone e Márcia pelo apoio, incentivo e compreensão, estando sempre ao meu lado em todos os momentos.

Aos amigos da Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST.

E por fim, a todos que contribuíram para meu crescimento e realização da monografia.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

RESUMO	09
ABSTRACT	10
1.INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 Caracterização do semiárido.....	12
2.2 Palma forrageira.....	12
2.3 Práticas de melhorias da resiliência agrícola.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Localização do experimento.....	17
3.2 Tratamentos e delineamento estatístico.....	17
3.3 Manejo da irrigação.....	18
3.4 Variáveis analisadas.....	20
3.5 Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matéria seca e composição da palma forrageira.....	14
Tabela 2. Teores médios de macrominerais de clones de palma forrageira.....	14
Tabela 3. Teores médios de microminerais da palma forrageira, clone Gigante, em diferentes idades de corte	15
Tabela 4. Valores da análise física do solo da área experimental do Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), Serra Talhada/PE.....	17
Tabela 5. Produtividade de massa seca ($t MS ha^{-1}$) com interação dos sistemas de plantio submetidos a diferentes lâminas de água, em Serra Talhada, Pernambuco.....	24
Tabela 6. Eficiência do uso da água e nutrientes, em matéria seca (MS), dos sistemas de plantio, submetido a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	27
Tabela 7. Eficiência do uso da água e nutrientes, em matéria seca, nos diferentes sistemas de plantio, em Serra Talhada, Pernambuco	27
Tabela 8. Interação da eficiência do uso do cálcio ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	28
Tabela 9. Interação da eficiência do uso do magnésio ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	29
Tabela 10. Interação da eficiência do uso do enxofre ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	29
Tabela 11. Interação da eficiência do uso do cobre ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	30
Tabela 12. Interação da eficiência do uso do ferro ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) dos sistemas de cultivo, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco.....	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura média do ar e umidade relativa do ar registradas durante o período experimental	19
Figura 2. Precipitação pluvial mensal acumulada durante o período experimental	20
Figura 3. Produtividade média de matéria verde dos sistemas de plantio (palma exclusiva, palma consorciada, palma com cobertura e sorgo exclusivo) nas diferentes lâminas de água	22
Figura 4. Produtividade de matéria verde (MV) da palma exclusiva, consórcio palma-sorgo, palma com cobertura e sorgo exclusivo, em Serra Talhada, Pernambuco. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade	23
Figura 5. Produtividade média de matéria verde do sorgo exclusivo nas diferentes lâminas de água	25
Figura 6. Produtividade média de matéria seca do sorgo exclusivo nas diferentes lâminas de água	26

RESUMO

A palma forrageira é uma cultura bastante empregada nos sistemas de produção animal na região semiárida brasileira, uma vez que apresenta grande adaptação a essa região. Assim, objetivou-se com o trabalho analisar a eficiência do uso da água e de nutrientes da palma forrageira submetida a diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio. O experimento foi conduzido em Serra Talhada – PE, no período de 11/2014 a 11/2015, com a palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana e o sorgo forrageiro cv. SF-15 distribuídos em blocos casualizados, com 4 repetições, em arranjo fatorial 5x4, sendo cinco lâminas de água (0%; 25%; 50%; 75% e 100% da evapotranspiração referência - ETo) e quatro sistemas de plantio (palma exclusiva, sorgo exclusivo, consórcio palma-sorgo e palma com cobertura). A produtividade das culturas foram obtidas na ocasião da colheita e, em seguida, foram calculados indicadores de eficiência do uso da água relacionando a produtividade da cultura nos sistemas com a lâmina de água, e eficiência do uso dos nutrientes relacionando a produtividade do nutriente com a lâmina de água. Não ocorreu interação entre lâmina de água e sistemas de plantio para eficiência do uso da água e dos nutrientes N, P, K, B, Mn, Zn e Na, no entanto, foi observado que a maior eficiência do uso da água, se tratando das lâminas de água, ocorreu na condição de sequeiro ou irrigado com base em 25% da ETo, e entre os sistemas, a palma exclusiva é o que possui menor eficiência. Com relação aos nutrientes, quando influenciadas pelas lâminas, nas condições hídricas menores (sequeiro e 25% da ETo) são obtidas as maiores eficiências, e se tratando de sistema de plantio a palma exclusiva possui a menor eficiência. Verificou-se interação entre lâmina de água e sistema de plantio para eficiência do uso dos nutrientes Ca, Mg, S, Cu e Fe, sendo observado maior influência do sistema de plantio que das lâminas de água. Diante da eficiência do uso da água com base na matéria seca, mesmo não tendo ocorrido interação entre sistemas de plantio e lâminas de água, os sistemas de plantio de palma forrageira, palma consorciada com sorgo e palma com cobertura, são mais eficientes que a palma exclusiva. Visto que a palma não deve ser fornecida aos animais como alimentação exclusiva, o consórcio da palma com o sorgo torna-se uma alternativa eficiente para suprir essa limitação. A aplicação de 208,3 mm de água de forma complementar distribuído regularmente no período de maior de déficit, promove aumento da produtividade de matéria verde da palma e matéria verde e seca do sorgo. Sendo indicado seu uso principalmente no sistema palma-sorgo, uma vez que o sorgo possui menor eficiência no uso da água. A utilização de cobertura morta, consórcio com sorgo, bem como a irrigação complementar com 208,3 mm no cultivo de palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., são estratégias eficientes para promover melhorias na produção de forragem. O uso de cobertura morta promove maior extração de nutrientes pela palma forrageira, bem como promove aumento da produtividade.

Palavras chave: Cobertura morta, Consórcio, Irrigação, *Opuntia stricta*, Semiárido

ABSTRACT

Forage cactus is a crop widely used in Brazilian semi-arid region animal production systems, since it presents great adaptation to this region. Thus, the objective of this work was to analyze water efficiency and nutrient use of forage cactus submitted to different water regimes and planting systems. The experiment was carried out in Serra Talhada - PE, from 11/2014 to 11/2015, with "Orelha de Elefante Mexicana" clone forage cactus and cv. SF-15 forage sorghum distributed in randomized blocks, with 4 replications, in a 5x4 factorial arrangement, with five water blades (0%, 25%, 50%, 75% and 100% of reference evapotranspiration - ETo) and four planting systems (exclusive forage cactus, exclusive sorghum, forage cactus-sorghum consortium and palm with cover). The crops productivity was obtained at harvest time and then, efficiency indicators of water use were calculated relating crop productivity in water blade systems, and nutrient use efficiency, relating nutrient productivity to water blades. There was no interaction between water slide and water and nutrient efficiency planting systems use for N, P, K, B, Mn, Zn and Na, however it was observed that higher efficiency of water use at water blades occurred in dry or irrigated condition based on ETo 25% and between the systems, exclusive forage cactus has lower efficiency. In relation to nutrients when influenced by slides under lowest water conditions (dryland and ETo 25%) highest efficiencies are obtained, and when it comes to planting system exclusive forage cactus has the lowest efficiency. There was interaction between water blade and planting system for nutrient utilization Ca, Mg, S, Cu and Fe, being observed a greater influence of the planting system than of water blade system. Considering the water use efficiently based on dry matter, even when there was no interaction between planting systems and water blades, forage cactus planting, forage cactus intercropped with sorghum and forage cactus with cover systems are more efficient than exclusive forage cactus since forage cactus should not be fed to animals as an exclusive diet, the forage cactus-sorghum consortium becomes an efficient alternative to overcome this limitation. The application of 208.3 mm of complementary water distributed regularly during greatest deficit period promotes an increase in forage cactus green matter yield and green and dry sorghum matter. It is indicated its use mainly in forage cactus-sorghum system, since the sorghum has less water use efficiency. Mulching use, consortium with sorghum, as well as complementary irrigation with 208.3 mm in forage cactus cultivation *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., are efficient strategies to promote forage production improvements. The Mulching use promotes greater extraction of nutrients by forage cactus, as well as promotes increased productivity.

Key words: Mulching, Consortium, Irrigation, *Opuntia stricta*, Semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

As atividades desenvolvidas na região semiárida estão em sua grande maioria, ligadas ao meio rural, com destaque para a agropecuária. Entretanto, como a alimentação desses animais, normalmente, é baseada na vegetação nativa ou de culturas em sequeiro, as quais são dependentes das condições ambientais, especialmente a precipitação, nesse contexto, a baixa disponibilidade de chuva associada a sua irregularidade, resultam em uma instabilidade na forragem (SANTOS et al., 2010).

Nesse sentido, melhorias na produção de forragem são de grande valia para potencializar o setor agropecuário. Para tanto, algumas técnicas têm sido utilizadas, tais como, o uso de cobertura morta (SOUSA et al., 2017), irrigação complementar (LIMA et al., 2018) e consorciação de culturas (PINTO; PINTO, 2012), bem como, a utilização de culturas adaptadas às condições ambientais podendo potencializar a adoção dessas práticas, a exemplo da palma e do sorgo.

A irrigação de forma controlada promove redução do estresse hídrico nas culturas favorecendo o desenvolvimento das mesmas. No entanto, a quantidade de água disponível nessa região é reduzida, tornando a utilização dessa prática limitada. Assim, a utilização de cobertura morta sobre o solo surge como uma alternativa para reduzir a erosão e o escoamento superficial, aumenta a infiltração e mantém a umidade do solo, além de fornecer nutrientes ao solo e conseqüentemente às plantas (SOUZA et al., 2018).

Assim como a utilização de cobertura morta, o consórcio entre plantas forrageiras visa um melhor aproveitamento da água, além de melhor uso da terra, por meio do cultivo de duas ou mais culturas na mesma área (BELTRÃO et al., 2006). O aumento da proteção vegetativa do solo e a diversidade da produção são algumas vantagens desse sistema de cultivo.

A adoção dessas técnicas demanda recurso financeiro e/ou mão de obra, tornando importante avaliar seus benefícios. Sendo o uso de indicadores agrometeorológicos, como a eficiência do uso da água e do uso de nutrientes, formas de avaliação. Podendo assim verificar qual sistema se adequa melhor a cada situação.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho analisar a eficiência do uso da água e de nutrientes da palma forrageira submetida a diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio. Especificamente, avaliar a produtividade de matéria verde e seca nos sistemas de plantio e lâminas de água; quantificar a exportação de macro e microminerais nos diferentes regimes hídricos e sistemas de plantio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização do Semiárido

A região Semiárida brasileira se estende por todos os estados da região Nordeste e parte do estado de Minas Gerais, com uma extensão de 1,03 milhão km² distribuído por 1.262 municípios (Ministério da Integração Nacional, 2018). Apresenta elevada evapotranspiração, cerca de 2.000 mm ano⁻¹ e precipitação pluviual inferior a 800 mm com distribuição irregular, sendo os meses de janeiro, fevereiro, março e abril considerados como chuvosos e um período prolongado de estiagem nos meses de maio a dezembro, provocando estresse hídrico na vegetação (MOURA et al., 2007; SOUZA et al., 2015; SANTOS et al., 2017).

Os solos rasos e as características climáticas intrínsecas são determinantes da exploração econômica local, tornando a possibilidade de utilização das culturas anuais reduzida e a pecuária uma das principais atividades desenvolvidas pela população do Nordeste brasileiro, baseada na exploração de recursos forrageiros da caatinga, os quais são limitados a um determinado período do ano (SANTOS et al., 2010).

Segundo Lacerda et al. (2016) o Nordeste do Brasil é uma região vulnerável processos de desertificação e eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e secas severas. Ribeiro et al. (2014) afirmam que, nessa região, diante da irregular distribuição de água oriunda de outras fontes e a elevada demanda em sua utilização, a água torna-se um dos recursos naturais de maior importância, principalmente para o setor agrícola, sendo necessários avanços no desenvolvimento de metodologias para uma melhor eficiência na utilização da água. Nesse contexto, o cultivo de plantas com menores exigências hídricas passaram a ser fator chave para a manutenção dos sistemas de produção (SANTOS et al., 2015), a exemplo da palma forrageira.

2.2 Palma forrageira

De origem mexicana, a palma forrageira é uma cactácea que foi introduzida no Brasil com o objetivo de produzir o carmim, um corante gerado pela cochonilha do carmim (*Dactylopius coccus*), no entanto a cochonilha introduzida foi a *Dactylopius opuntiae*, com o insucesso da atividade, a palma passou a ser utilizada como planta ornamental e no decorrer do tempo passou a ser observado seu potencial forrageiro (SANTOS et al., 2006).

A palma forrageira, com destaque para os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, é vista como uma cultura de salvação dos rebanhos durante a estiagem (CRUZ NETO et al., 2017) podendo ser empregada de forma estratégica para suprir a necessidade de água dos animais, uma vez que cerca de 90% de sua composição é água (ALMEIDA, 2012). Seu potencial de produção elevado com alto valor nutritivo, rusticidade e alta disponibilidade de água, quando comparada com a vegetação nativa, fazem da palma um importante recurso forrageiro (GALVÃO JÚNIOR et al., 2014). A adaptação dessa forrageira a escassez de água deve-se as características fisiológicas e morfoanatômicas, como a distribuição uniforme dos estômatos, capacidade de armazenamento de água nas células, Metabolismo Ácido das Crassuláceas, tricomas e estômatos profundos, suculência devido os cladódios serem espessos e os vacúolos cheio de água (RAMOS et al., 2015; FONSECA; MARTUSCELLO 2010; NASCIMENTO, 2008).

A palma é uma planta com inúmeras utilizações que variam desde o consumo *in natura*, até a produção de farelos ou como emoliente adicionada a restos culturais, palhadas e subprodutos industriais compondo até 80% da dieta dos animais, sobretudo no período de estiagem, conforme Soares II e Silva Júnior (2012). Sendo empregada também como cerca viva, alimentação humana, produção de medicamentos, conservação e recuperação de solos, além de estar presente como forragem em diversos sistemas de produção pecuário (SANTOS et al., 2014).

Diante da elevada eficiência no uso da água, promovida pelo Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), a palma forrageira se torna uma excelente opção de forragem para melhoria do rendimento agrícola nas regiões semiáridas, entretanto, quando conduzida em sequeiro, as alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente podem provocar alterações no seu crescimento e desenvolvimento, uma vez que é uma cultura de colheita bianual (SILVA et al., 2015a).

Experimentos em condições de sequeiro demonstraram produtividades anuais de aproximadamente 55 t de matéria seca ha⁻¹ ano⁻¹ (SANTOS et al., 2011), para palma na região semiárida de Pernambuco. Apesar de apresentar diversas características desejáveis, a palma apresenta uma limitação quanto sua utilização, a mesma necessita ser associada a uma fonte de fibra para o que ocorra equilíbrio no conteúdo de fibra da dieta (SOSA et al., 2005). A melhor maneira de fornecimento deve ser na forma de mistura completa, onde a palma, concentrados e as fontes de fibra são oferecidas juntas, proporcionando consumo adequado de nutrientes, sem comprometer o desempenho dos animais (NEVES et al., 2010). Santos (2006)

sugeriu que alimentos como feno, silagem, restolho de sorgo, de milho, de feijão ou mesmo capim seco, bem como fontes de proteína, sejam fornecidos juntos com a palma, com o objetivo de aumentar o consumo de matéria seca e proteína pelo animal, assim como, corrigir as diarreias que podem advir quando fornecida isoladamente ou à vontade. Rocha (2012) expressa em seu trabalho à matéria seca e a composição da palma forrageira (Tabela 1), informação de extrema relevância para adequação da dieta dos animais e avaliação da qualidade dos alimentos.

Tabela 1. Matéria seca e composição da palma forrageira

Nutrientes digestíveis totais (NDT)	62%
Carboidratos não fibrosos (CNF)	61,79%
Matéria seca (MS)	11,7%
Proteína bruta (PB)	4,8%
Fibra em detergente neutro (FDN)	26,87%
Fibra em detergente ácido (FDA)	18,9%
Matéria mineral (MM)	12,04%

Adaptado de Rocha (2012).

Ainda segundo Rocha (2012), os teores de FDN, FDA, PB e MS da palma são considerados baixos, rica em NDT e CNF, e matéria mineral aceitável. Na Tabela 2 estão expressos os teores médios dos macrominerais do clone IPA-20 (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010) e da palma gigante aos 390 e 620 dias após o plantio (SILVA et al., 2012).

Tabela 2. Teores médios de macrominerais de clones de palma forrageira

Clone	N	P	K	Ca	Mg	S
IPA-20	2,062	0,475	3,343	3,443	0,744	0,61
Gigante 390 DAP	1,25	0,08	2,44	1,75	0,77	0,30
Gigante 620 DAP	1,75	0,12	2,49	2,6	1,25	0,37

N- nitrogênio, P- fosforo, K- potássio, Ca- cálcio, Mg- magnésio, S- enxofre e DAP- dias após o plantio, adaptado de Dubeux Júnior et al. (2010) e Silva et al. (2012).

Com relação aos microminerais da palma forrageira Silva et al. (2012) obtiveram valores os médios expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Teores médios de microminerais da palma forrageira, clone Gigante, em diferentes idades de corte

Clone	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	%					
Gigante 390 DAP	0,00158	0,00122	0,00378	0,04440	0,00423	0,00402
Gigante 620 DAP	0,00224	0,00455	0,00452	0,13542	0,00653	0,00404

B- boro, Cu- cobre, Fe- ferro, Mn- manganês, Zn- zinco, Na- sódio e DAP- dias após o plantio, adaptado de Silva et al. (2012).

2.3 Práticas de melhorias da resiliência agrícola

Os principais entraves da produção agrícola no Semiárido estão na sua grande maioria ligados as condições climáticas dessa região, segundo Silva e Almeida (2017) o clima norteia a escolha de culturas, período de cultivo e técnicas de produção que melhor se adequam a cultura. Dessa forma, uso da agrometeorologia torna-se uma ferramenta de suma importância quando se trata de produção agropecuária no Semiárido brasileiro. Diante da sensibilidade da agricultura as oscilações climáticas, estratégias agrometeorológicas como a adequação de lâminas de irrigação (LIMA et al., 2018), utilização de cobertura morta (SOUSA et al., 2017) e a utilização de culturas de forma consorciadas (PINTO; PINTO, 2012), são práticas simples, de fácil acesso pelos produtores e que podem promover melhorias satisfatórias nos sistemas de produção e auxiliam na sustentabilidade das atividades agrícolas.

Como o volume e a qualidade da água está reduzindo gradativamente para a agricultura (SILVA et al., 2014a), a necessidade de melhorar o manejo de água torna-se cada vez maior. Dessa forma, o manejo da irrigação tem como ponto chave decidir quando, como e quanto irrigar (SILVA, 2017). A palma forrageira pode ter a produtividade elevada, de forma estável e substancial, como consequência à implementação de um programa de irrigação bem sucedido (SILVA, 2017).

Outra forma de otimizar a água é com a utilização de restos culturais e ou plantas daninhas como cobertura morta sobre o solo, por diminuir o escoamento da água da chuva e, consequentemente a erosão, manter a umidade do solo, fornecer nutrientes, reduzir a temperatura do solo e aumentar a infiltração de água no solo (SOUZA et al., 2018). Souza et al. (2016) observaram redução do estresse salino no crescimento das plantas com o uso de cobertura sobre o solo. De acordo com Rego et al. (2014) locais com baixa umidade relativa,

elevadas temperaturas, principalmente noturnas, alta evapotranspiração e déficit hídrico, levam a perda excessiva de água por transpiração e podem provocar o emurchecimento das plantas e até mesmo a morte, condição esta que pode ser minimizada pelo uso de cobertura morta sobre o solo.

Beltrão et al. (2006) destacam algumas vantagens do sistema de plantio consorciado como o aumento a proteção vegetativa do solo contra a erosão, diversificação da fonte de renda e produtos alimentares, garantia de produção, além de promover maior eficiência do uso da terra.

Farias et al. (2000) afirmam que a consorciação da palma com outras culturas reduz a sua produção. Entretanto, Santos et al. (2006) relatam que a adoção do plantio de milho, sorgo, feijão, fava, jerimum e mandioca, intercalado com a palma vem sendo uma prática adotada pelos produtores, objetivando viabilizar o cultivo em termos econômicos e de tratamentos culturais.

O sorgo possui grande importância para o nordeste, o qual é utilizado na alimentação animal, possui resistência a altas temperaturas e maior tolerância ao estresse hídrico, quando comparada a outras culturas, contudo, a sua produtividade apresenta grande variação anual (MARTINS, 2012), produzindo de 3,1 a 26 t ha⁻¹ de matéria seca, em sequeiro (SANTOS, 2007). Essas variações na produção de matéria verde e seca podem ser resultantes das condições de fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, adaptação dos genótipos e época de plantio (PARAÍSO et al., 2017).

Diante da heterogeneidade das respostas dos sistemas de produção às práticas implementadas podem se apresentar de diferentes formas, positivas, negativas ou indiferentes. Dessa forma, surge a necessidade de avaliar se a implantação de novas estratégias são viáveis dentro de cada sistema, sendo o uso de indicadores uma forma de efetuar essa avaliação. Nesse caso, a Eficiência do Uso da Água (EUA) indica o incremento de biomassa da cultura por milímetro de água disponibilizado para a cultura (SILVA et al., 2014b). Outro indicador importante é a Eficiência do Uso de Nutrientes (EUN), que por sua vez, segundo Silva et al. (2014b) leva em consideração a produtividade da cultura e a concentração do nutriente em sua composição em relação ao volume de água recebido, expressando a capacidade da cultura retirar nutrientes do solo em função da água recebida e armazenar na biomassa, informação importante para auxiliar na reposição de nutrientes ao solo e adequação da dieta dos animais.

3. MATERIAL E METODOS

3.1 Localização do experimento

O estudo foi conduzido no período de 10/11/2014 a 10/11/2015, na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), em Serra Talhada - PE (latitude: 7°59'S, longitude: 38°15'O e altitude: 431 m), localizada na microrregião do Vale do Pajeú, no Semiárido Brasileiro. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw'h' com chuvas concentradas nos meses mais quentes, e os meses frios mais seco. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico, de textura franco arenoso. Na Tabela 4 é possível verificar o resumo da análise de solo anterior ao experimento.

Tabela 4. Valores da análise física do solo da área experimental do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), Serra Talhada/PE

Atributos físicos	Profundidades (cm)					
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60
Granulometria (g kg ⁻¹)						
Areia	729,1	708,85	685,65	645,75	652,2	637,05
Silte	227,15	262,95	279,5	260,7	260,55	264,15
Argila	13,75	28,3	34,8	93,6	87,25	98,8
Classificação textural	Franco arenoso					
Densidade (kg dm ⁻³)						
Solo	1,515	1,58	1,575	1,54	1,53	150,5
Partículas	2,52	5,57	2,62	2,59	2,59	2,61
Porosidade total (%)	39,89	38,515	39,825	40,405	40,985	42,3

3.2 Tratamentos e delineamento estatístico

O experimento foi disposto em blocos casualizados, com parcela subdividida e arranjo fatorial 5x4, sendo cinco lâminas de água baseadas em percentuais da Evapotranspiração de Referência (ET_o), sendo: 0% (355 mm), 25% (563 mm), 50% (724 mm), 75% (886 mm) e 100% da ET_o (1011 mm), e quatro sistemas de plantio, sendo: palma exclusiva, palma

exclusiva com cobertura morta, palma consorciada com sorgo e sorgo exclusivo, totalizando 20 tratamentos. O clone de palma forrageira utilizado foi Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), sendo a área experimental foi implantada em março de 2011, sendo o quarto ciclo produtivo o do presente estudo. De sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) foi utilizada a cultivar SF15, semeado em 28 de maio de 2015, tendo o ciclo planta duração de 147 dias e o segundo ciclo (rebrotar) 102.

As subparcelas foram compostas por 4 fileiras de palma espaçadas a 1,6 metros entre fileiras e 0,4 entre plantas, cada fileira com 6 metros de comprimento e 15 plantas, totalizando 60 plantas por subparcela, das quais 22 corresponderam as plantas úteis. Quando em consórcio, o sorgo foi semeado a 0,25 m da palma em uma linha paralela com comprimento de 6 m, utilizando 18 sementes por metro linear, a uma profundidade de 0,05 m, cada subparcela possuía área total de 28,8 m² e área útil de 10,56 m². O sorgo exclusivo foi semeado utilizando o mesmo espaçamento, profundidade e densidade do consórcio. A irrigação foi do tipo localizada por meio de um sistema de gotejamento, onde cada fileira da parcela possuía uma linha de gotejo com gotejadores espaçados a 0,4 m, pressão de 1 atm e vazão de 1,35 L h⁻¹.

No sistema palma com cobertura foi colocado em cada subparcela uma quantidade de cobertura morta equivalente a 8,2 t ha⁻¹, sem reposição ao longo do tempo, sendo esta oriunda da vegetação espontânea do entorno da área experimental.

No decorrer do experimento, sempre que necessário, foram feitas capinas manuais e aplicação de herbicida, além de duas adubações de cobertura utilizando a formulação 14-00-18 NPK, aplicada a lanço, conforme recomendações do IPA.

3.3 Manejo da irrigação

A irrigação era realizada com água do açude Saco, em três dias da semana (segunda, quarta e sexta-feira), aplicando os percentuais da ETo acumulada após a última irrigação. A estimativa da evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith, parametrizado no boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998):

$$E_{tr} = \frac{0.408 \rho_a h_0 + (1 - 0.408) \rho_a h_0}{\rho_a}$$

em que, E_{To} = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ; Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n = saldo de radiação líquida, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; G = fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$; γ = constante psicrométrica, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; T = temperatura média diária do ar a dois metros de altura, $^\circ\text{C}$; μ_2 = velocidade do vento a dois metros de altura, m s^{-1} ; e_s = pressão de saturação de vapor, kPa ; e_a = pressão atual de vapor d'água, kPa ; $e^s - e^a$ = déficit de pressão de vapor, kPa .

Por meio de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada no município de Serra Talhada, a aproximadamente 1500 m da área experimental, foram obtidas as variáveis meteorológicas durante todo o período experimental, para caracterização do ambiente e determinação da E_{To} .

Durante o experimento ocorreu temperatura média do ar de $26,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, umidade relativa do ar média de 53% e uma precipitação pluvial acumulada de 355, a distribuição dessas variáveis pode ser vista nas Figuras 1 e 2 a seguir.

Figura 1. Temperatura média do ar e umidade relativa do ar registradas durante o período experimental

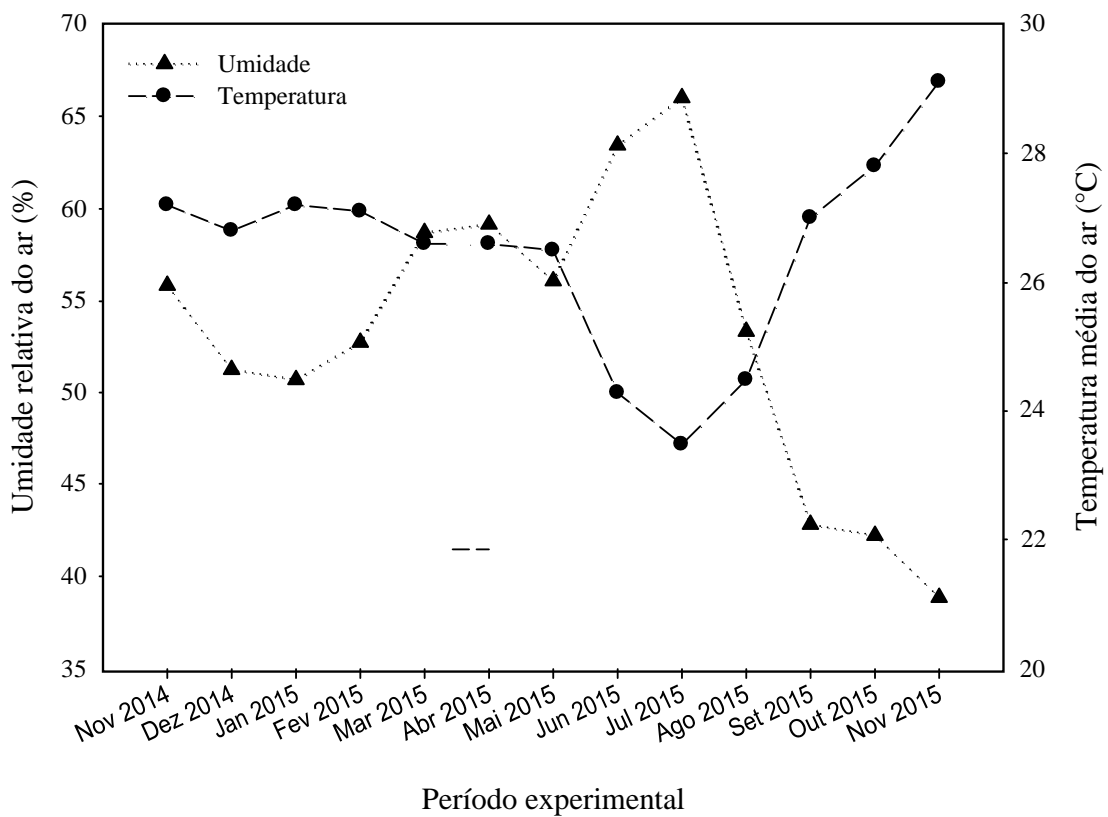
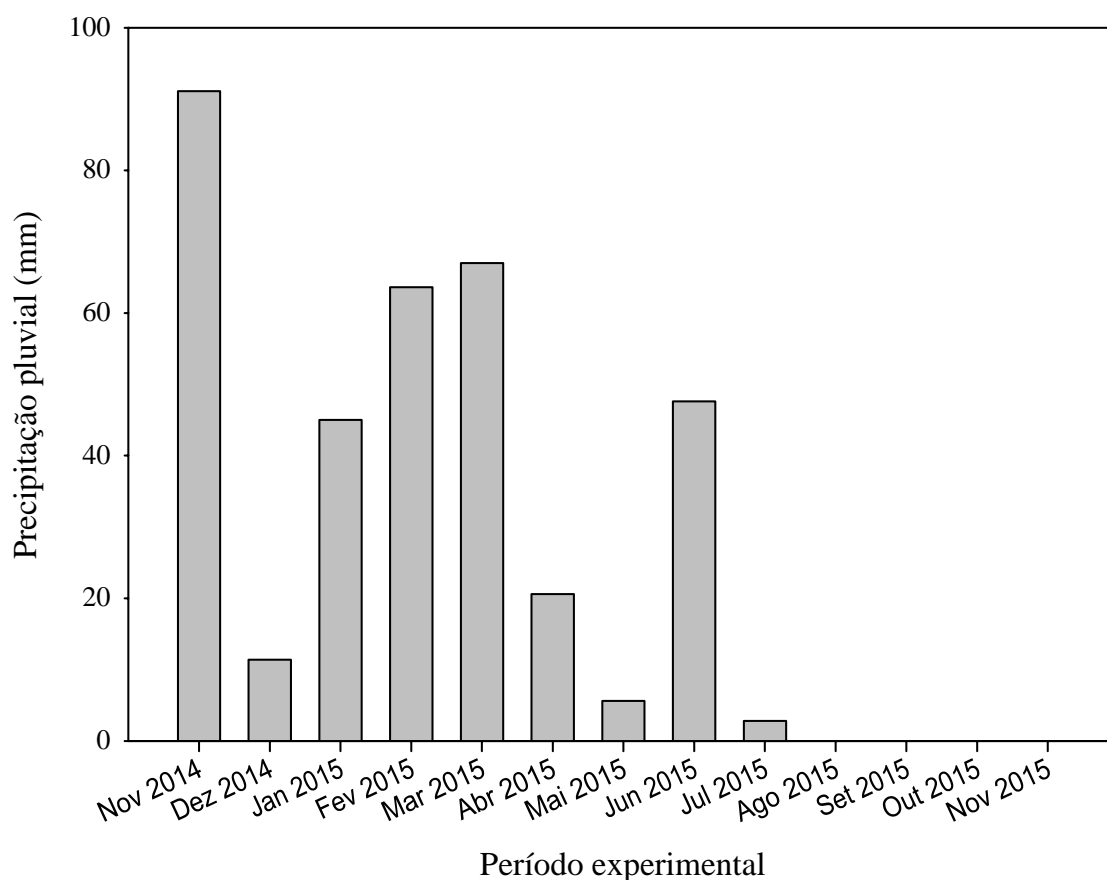


Figura 2. Precipitação pluvial mensal acumulada durante o período experimental



3.4 Variáveis analisadas

Aos 364 dias após o corte (DAC), foram colhidas as plantas da área útil da subparcela, deixando apenas os cladódios basais. As mesmas foram pesadas em campo, e selecionados três cladódios representativos do terço médio da planta. Os cladódios selecionados foram pesados individualmente, fatiados, colocados em sacos de papel e secos em estufa de circulação forçada, com temperatura média de 55 °C até obter peso constante. Em seguida os cladódios secos foram pesados novamente, obtendo a matéria seca. Os valores da biomassa fresca e seca dos cladódios foram extrapolados para plantas e relacionados com a área, para obtenção do rendimento da palma forrageira por hectare.

Na ocasião da colheita do sorgo forrageiro do primeiro ciclo (28 de maio de 2015), aos 147 dias após a semeadura, e do segundo ciclo (avaliação da rebrota), aos 102 dias após o primeiro corte (09 de setembro de 2015), coletou-se amostra de matéria fresca, de 10 plantas representativas de cada parcela, cortando-se a 0,10 m acima da superfície do solo, as quais foram pesadas após serem separadas nas frações folha, caule, e panícula. Após a obtenção de

sua massa fresca, três plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas para secar a 55°C, em uma estufa de circulação de ar forçada, até atingir peso constante e posteriormente pesados.

Após a secagem, os cladódios e o sorgo foram moídos e encaminhados para a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Semiárido, onde foram determinados os macrominerais (nitrogênio-N, fósforo-P, potássio-K, cálcio-Ca, magnésio-Mg e enxofre-S) e microminerais (boro-B, cobre-Cu, ferro-Fe, manganês-Mn, zinco-Zn e sódio-Na) da palma forrageira em cada tratamento.

Alguns indicadores foram calculados para verificar a eficiência da cultura e rendimento de nutrientes relacionado com a quantidade de água nos sistema, sendo eles:

—, onde EUA é a Eficiência do Uso da Água, R o rendimento da cultura por hectare, P o volume de precipitação pluvial e I o volume de água aplicado via irrigação;

—, onde EUN é a Eficiência do Uso de Nutriente, R o rendimento da cultura por hectare, [N] a concentração do nutriente, P o volume de precipitação pluvial e I o volume de água aplicado via irrigação.

Para calculo dos indicadores o rendimento utilizado foi do sistema de plantio, se tratando da palma consorciada com sorgo foram dois ciclos de sorgo (planta e rebrota) somado a produtividade da palma.

3.5 Análise estatística

Para os resultados quantitativos, a análise estatística procedeu com a aplicação de testes de normalidade e homocedasticidade, posteriormente a análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa R (R Core Team, 2016).

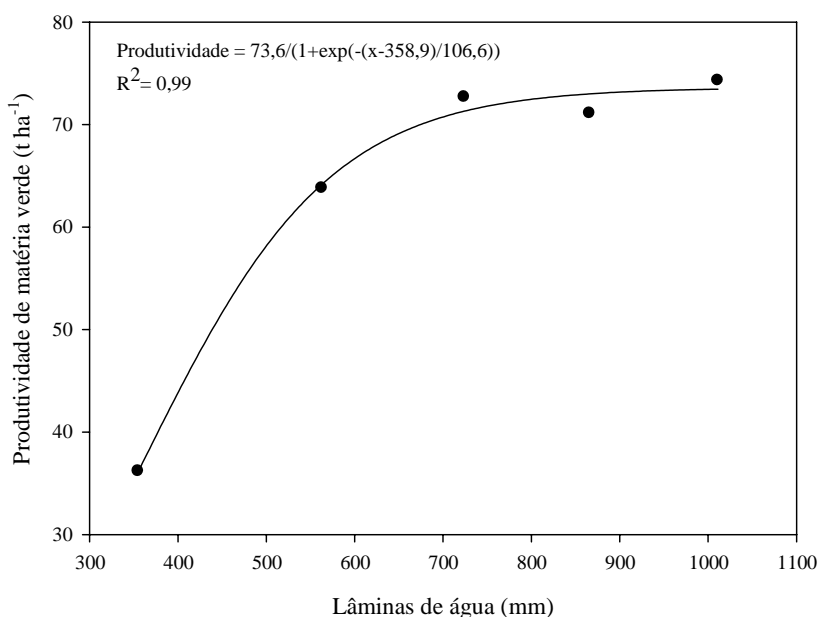
Para os resultados qualitativos, foram geradas curvas e aplicadas análise de regressão utilizando o programa SigmaPlot versão 10.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito de interação entre lâminas de água e sistema de plantio com relação à produtividade de matéria verde. Entretanto, foi observado efeito isolado dos fatores lâminas de água e do sistema de plantio.

Na Figura 3, estão expressas as médias de produtividade de matéria verde (MV) entre os sistemas de plantio em cada lâmina de água, sendo possível observar um aumento de produtividade com o aumento da lâmina até 724 mm, se estabilizando a partir desta. Na condição de 355 mm (sequeiro) foi obtida a menor a produtividade 36,2 t MV ha⁻¹, quando irrigada a produtividade variou de 63,8 a 74,3 t MV ha⁻¹.

Figura 3. Produtividade média de matéria verde dos sistemas de plantio (palma exclusiva, palma consorciada, palma com cobertura e sorgo exclusivo) nas diferentes lâminas de água

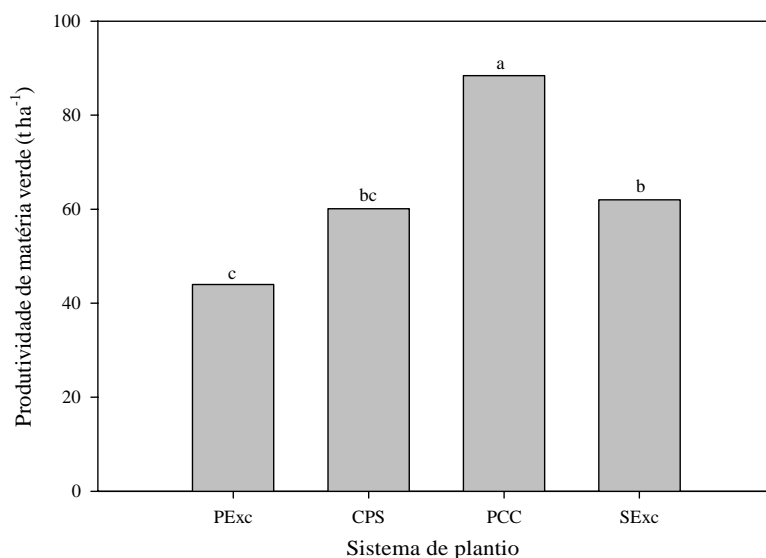


Santos et al. (2013) relataram que para o cultivo de palma forrageira no Semiárido brasileiro, os locais mais indicados são os que apresentam precipitação pluvial anual entre 400 e 800 mm. A precipitação pluvial ocorrida não está na faixa indicada para a cultura, visto que ocorreram 355 mm de chuva no período experimental. Fato este que pode ter influenciado a produtividade de matéria verde da palma na condição de sequeiro, uma vez que, quando irrigado, ocorreu acréscimo significativo na produtividade, corroborando com Silva (2017) que afirmou uma produtividade estável e substancial com a aplicação de um programa de irrigação eficiente na palma forrageira.

Os resultados de matéria verde obtidos nesse trabalho se opõem aos de Queiroz et al. (2015) e Flores-Hernández et al. (2004) que não observaram influência da irrigação suplementar na produtividade da palma forrageira. Entretanto, Silva (2017) observou incremento na produtividade da palma com uso de irrigação suplementar (125% da ETo = 818 mm) e adubação nitrogenada (600 kg de N ha⁻¹) obtendo 736,86 t ha⁻¹, reforçando o resultado do presente trabalho. No entanto, a produtividade de matéria verde expressa na Figura 3 inclui também a produtividade do sorgo, incrementando a resposta da produtividade ao aumento da lâmina, sendo inerente a essa cultura devido a mesma apresentar o metabolismo C4 e responder satisfatoriamente com o aumento da lâmina.

Se tratando dos sistemas de plantio, a produtividade da palma forrageira com cobertura morta se sobressaiu dos demais sistemas ($p < 0,05$), seguido do sorgo exclusivo e do consórcio palma-sorgo, sendo que esse último não diferiu da palma exclusiva (Figura 4). Vale ressaltar que a produtividade do sistema consorciado é composta por dois ciclos de sorgo (planta e rebrota) e um ciclo de um ano da palma forrageira.

Figura 4. Produtividade de matéria verde (MV) da palma exclusiva, consórcio palma-sorgo, palma com cobertura e sorgo exclusivo, em Serra Talhada, Pernambuco. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade



A utilização de cobertura morta promove benefícios como o melhor aproveitamento da água e a disponibilização de nutrientes para as plantas, justificando produtividade da palma nesse sistema.

A palma consorciada com o sorgo e o sorgo exclusivo apresentaram produtividade semelhante, entretanto no sistema palma-sorgo a produtividade das duas culturas foram afetadas pela competição entre as mesmas. Avaliando separadamente a produtividade da palma do sistema consorciado, 26,8 t MV ha⁻¹, nota-se uma redução de quase 40% da produtividade em relação à palma no plantio exclusivo. Comparando a palma forrageira do sistema consorciado com a palma com cobertura essa diferença é ainda mais expressiva, com uma queda de quase 70% da produtividade. Farias et al. (1986) avaliando o consorcio palma-sorgo observaram redução de 42% na produtividade da palma, semelhante a encontrada nesse estudo.

Houve interação entre lâminas de água e sistema de plantio com relação à produtividade de matéria seca. Os arranjos mais produtivos são a palma com cobertura, palma consorciada com sorgo e palma exclusiva independente da lâmina, e sorgo exclusivo com irrigação suplementar a partir de 563 mm (precipitação + irrigação) (Tabela 5).

Tabela 5. Produtividade de massa seca (t MS ha⁻¹) com interação dos sistemas de plantio submetidos a diferentes lâminas de água, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	8,7 ABa	13,0 Aa	4,3 Ba	7,7 ABb
563	10,5 ABa	16,8 Aa	4,6 Ba	13,1 Aab
724	11,6 Aa	17,7 Aa	4,9 Ba	16,1 Aa
866	14,6 Aa	11,4 Aa	4,5 Ba	15,5 Aa
1011	15,2 Aa	11,7 Aa	4,8 Ba	18,0 Aa

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas de letras distintas, minúscula na coluna e maiúscula na linha, diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O fato da cobertura morta ter proporcionado maior produção de matéria verde na palma influenciou na maior produção de matéria seca. Se tratando do sistema palma-sorgo e sorgo exclusivo a produção de matéria seca está mais relacionada ao sorgo, uma vez que este apresenta maior teor de matéria seca quando comparado a palma.

Os sistemas palma consorciada com sorgo e sorgo exclusivo apresentaram tendência a aumentar sua produtividade quando submetidas a sistema irrigado.

Devido à adaptação da palma forrageira as condições ambientais locais, a mesma em plantio exclusivo não foi influenciada pelas distintas disponibilidades hídrica. Silva et al. (2014b) encontraram produtividade da palma Orelha de Elefante Mexicana na ordem de 12,6 t MS ha⁻¹ em cultivo de sequeiro.

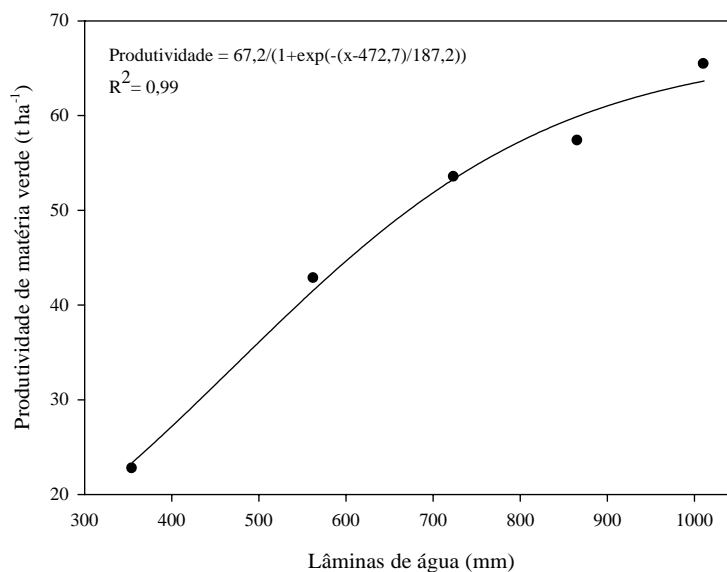
Os resultados obtidos nesse trabalho se somam aos de Queiroz et al. (2015) e Flores-Hernández et al. (2004) que também não observaram influência da irrigação suplementar na produtividade de matéria seca da palma forrageira.

A produtividade de matéria seca da palma no sistema consorciado ($3,9 \text{ t ha}^{-1}$) não diferiu da palma no sistema exclusivo, no entanto em relação à palma com cobertura ocorreu uma redução de 67,4% na produtividade.

Na Figura 5 a seguir, observa-se que o sorgo forrageiro apresentou maior sensibilidade à disponibilidade hídrica, com incremento da produtividade de matéria verde com a elevação da lâmina de água, atingindo $65,3 \text{ t MV ha}^{-1}$ na lâmina de 1011 mm.

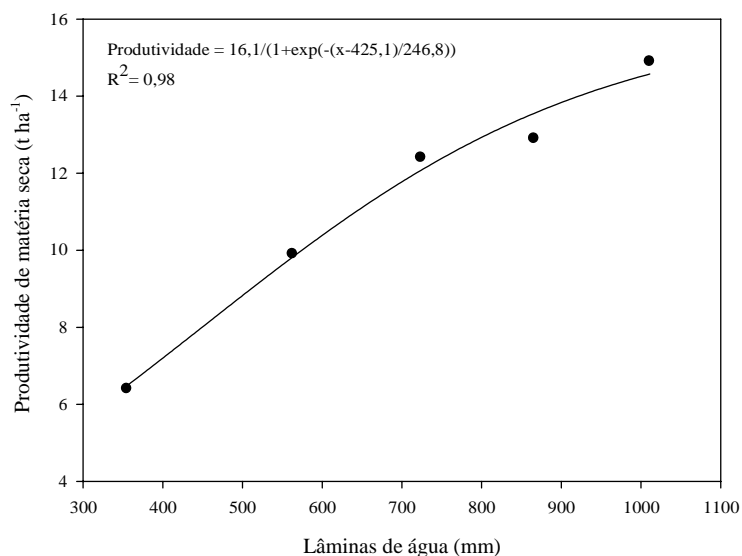
Quando consorciado com a palma forrageira, o sorgo teve uma redução na produtividade de aproximadamente 44% produzindo cerca de $34,7 \text{ t MV ha}^{-1}$.

Figura 5. Produtividade de matéria verde do sorgo exclusivo nas diferentes lâminas de água



A produtividade de matéria seca também aumentou com o acréscimo da lâmina de água, de $6,4 \text{ t ha}^{-1}$ na condição de 355 mm para $14,8 \text{ t ha}^{-1}$ na lâmina de 1011 mm (Figura 6).

Figura 6. Produtividade de matéria seca do sorgo exclusivo nas diferentes lâminas de água



Se tratando da produtividade de matéria seca nos sistemas de plantio, o sorgo consorciado produziu 8,5 t ha⁻¹, 39% menos que o exclusivo com 14 t ha⁻¹. Paraiso et al. (2017) obtiveram produtividade de 9,7 a 22,1 t MV ha⁻¹ e Santos (2007) relataram produtividade de 3,1 a 26 t ha⁻¹ de matéria seca, em sequeiro. Essas variações na produção de matéria verde e seca podem ser resultantes das condições de fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, adaptação dos genótipos e época de plantio (PARAÍSO et al., 2017).

A redução na produtividade de matéria verde e seca do sorgo quando consorciado é justificada pela competição por água e nutrientes entre as culturas. Não houve interação de lâminas de água e sistemas de plantio para eficiência do uso da água, entretanto ocorreu efeito dos fatores isoladamente. Com relação à eficiência do uso dos nutrientes ocorreu interação de lâminas de água e sistemas de plantio para o cálcio, magnésio, enxofre, cobre e ferro.

Diante das lâminas de água, os maiores valores, para eficiência do uso da água, foram obtidos na condição de sequeiro e irrigada com 563 mm, no entanto, essa última não diferiu da EUA com 724 mm ($p > 0,05$) (Tabela 6).

A eficiência do uso do nitrogênio e do fósforo foram maiores em sequeiro e irrigado com 563mm. Para potássio e zinco, as maiores eficiências ocorreram nas lâminas de 355, 563 e 724 mm. Com relação ao boro e sódio as lâminas não influenciaram na eficiência do uso dos nutrientes. A eficiência do uso do manganês foi maior nas lâminas de 355, 563, 724 e 1011 mm.

Tabela 6. Eficiência do uso da água e nutrientes, em matéria seca (MS), dos sistemas de plantio, submetido a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	EUA	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹				g ha ⁻¹ mm ⁻¹		
		N	P	K	B	Mn	Zn	Na
355	23,78 a	0,27 a	0,019 a	0,38 a	0,91a	1,839a	0,541a	3,017a
563	19,98 ab	0,16 ab	0,013 ab	0,22 ab	1,00a	1,786a	0,337ab	3,255a
724	17,35 bc	0,12 b	0,011 b	0,21 ab	0,81a	1,029ab	0,362ab	2,367a
866	13,28 c	0,09 b	0,009 b	0,13 b	0,57a	0,940b	0,284b	2,898a
1011	12,26 c	0,09 b	0,006 b	0,12 b	0,68a	1,024ab	0,213b	2,020a

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

A capacidade produtiva da palma forrageira com baixa disponibilidade hídrica justifica que a EUA seja maior nas lâminas inferiores, bem como que a EUN (N, P, K, B, Mn, Zn e Na) na lâmina de 354,7 mm, tenham sido maiores ou iguais às obtidas nas demais lâminas. Ao passo que aumenta a lâmina de água a extração dos nutrientes pode aumentar, entretanto não é expressivo ao ponto de quando relacionar a lâmina ser significativo, outro fato que pode ter ocorrido foi à lixiviação dos nutrientes no solo com o aumento da quantidade de água no solo.

Na Tabela 7, estão expressas as eficiências do uso da água e dos nutrientes (N, P, K, B, Mn, Zn e Na) nos sistemas de plantio, sendo possível observar que a palma exclusiva apresentou a menor EUA e EUN (N, P e Zn) bem como que os demais sistemas não diferiram entre si. Com relação à eficiência do uso do potássio, os sistemas palma com cobertura e sorgo exclusivo obtiveram as maiores eficiências, no entanto esse último não diferiu do consórcio palma-sorgo, sendo a palma exclusiva quem apresenta a menor eficiência do uso do potássio.

Tabela 7. Eficiência do uso da água e nutrientes, em matéria seca, nos diferentes sistemas de plantio, em Serra Talhada, Pernambuco

Sistemas de plantio	EUA	kg ha ⁻¹ mm ⁻¹				g ha ⁻¹ mm ⁻¹		
		N	P	K	B	Mn	Zn	Na
PCC	23,10 a	0,20 a	0,0142 a	0,37 a	1,271a	1,592a	0,3352a	3,400a
SExc.	20,58 a	0,17 a	0,0163 a	0,25 ab	0,776b	1,462ab	0,4978a	3,362a
PS	18,25 a	0,16 a	0,0120 a	0,16 b	0,717b	1,425ab	0,4391a	2,599ab
PExc.	7,42 b	0,07 b	0,0035 b	0,08 c	0,413b	0,816b	0,1178b	1,484b

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

Se tratando do boro, a eficiência do uso na palma com cobertura se sobressaiu dos demais sistemas, sendo que estes não diferiram entre si.

A eficiência do uso do manganês foi maior nos sistemas palma com cobertura, sorgo exclusivo e consórcio palma-sorgo, no entanto esses dois últimos não diferiram da palma exclusiva. No sódio, o comportamento foi semelhante, no entanto, apenas o sistema palma sorgo não diferiu da palma exclusiva.

A capacidade produtiva da palma forrageira com baixa disponibilidade hídrica justifica que a EUA seja maior nas lâminas inferiores, bem como que a EUN, N, P, K, B, Mn, Zn e Na, na lâmina de 354,7 mm, tenham sido maiores ou iguais às obtidas nas demais lâminas. Ao passo que aumenta a lâmina de água a extração dos nutrientes pode aumentar, entretanto não é expressivo ao ponto de quando relacionar a lâmina ser significativo.

Houve interação entre lâmina de água e sistemas de plantio para eficiência do uso do cálcio. Apenas no sistema sorgo exclusivo a eficiência foi influenciada pelas lâminas de água, sendo 563 mm a mais indicada, uma vez que é a que apresenta maior eficiência com uma menor quantidade de água (Tabela 8).

Tabela 8. Interação da eficiência do uso do cálcio ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	0,3805 aA	1,0976 aA	0,4250 aA	0,0299 bB
563	0,2556 aB	0,936 aA	0,2509 aB	0,6707 aAB
724	0,2426 aB	0,8758 aA	0,3041 aB	0,0313 bC
866	0,3415 aA	0,4646 aA	0,1498 aA	0,0144 bB
1011	0,2445 aAB	0,4674 aAB	0,1685 aB	0,5988 aA

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

Visando a maior eficiência com a menor quantidade de água os sistemas que melhor se adequam são palma com cobertura, consórcio palma-sorgo e palma exclusiva na condição de sequeiro. Sendo esse nutriente de grande importância, uma vez que integra a parede das células das plantas promovendo a resistência dos tecidos, além de conferir estabilidade às proteínas da membrana (SILVA et al., 2017).

O magnésio tem grande importância, uma vez que é ativador enzimático e elemento central da molécula de clorofila (NASCIMENTO et al., 2009). Levando em consideração a quantidade pequena de água disponível para irrigação e o custo, a palma com cobertura e irrigada com 724,4 mm, a palma consorciada com sorgo em sequeiro, o sorgo exclusivo irrigado com 563 mm e a palma exclusiva em sequeiro, são as condições em cada sistema que propiciaram maiores magnitudes da eficiência do uso do magnésio (Tabela 9).

Tabela 9. Interação da eficiência do uso do magnésio ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	0,4131 aA	0,5000 abA	0,3038 aAB	0,0834 bB
563,0	0,2335 aA	0,4396 bcA	0,1823 aA	0,4875 aA
724	0,2151 aB	1,0970 aA	0,2629 aBC	0,0375 bC
866	0,2337 aAB	0,5276 abA	0,1403 aBC	0,0256 bC
1011	0,1996 aAB	0,1117 cB	0,1196 aB	0,4253 aA

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

Com relação à eficiência do uso do enxofre (Tabela 10), apenas no sistema palma com cobertura ocorreu efeito de lâmina, sendo 355 e 563 mm que proporcionaram maior eficiência. Dessa forma, visando à eficiência do uso do enxofre a melhor lâmina de água foi 355 mm para todos os sistemas. No entanto, os sistemas palma com cobertura e consórcio palma-sorgo se sobressaíram da palma exclusiva e do sorgo exclusivo.

Tabela 10. Interação da eficiência do uso do enxofre ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	0,0155 aA	0,0289 aA	0,0033 aB	0,0048 aB
563	0,0117 aA	0,0205 abA	0,0029 aB	0,0079 aAB
724	0,0056 aAB	0,0098 bcA	0,0031 aB	0,0050 aAB
866	0,0100 aA	0,0053 cAB	0,0019 aB	0,0039 aAB
1011	0,0055 aA	0,0040 cA	0,0020 aA	0,0071 aA

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

O enxofre atua na síntese de proteínas e, quando deficiente, afeta o desenvolvimento das raízes e a clorofila; no ambiente, este nutriente está presente em grande parte na matéria orgânica (SOARES et al., 2017). A cobertura morta com o passar do tempo vai se decompondo e aumentando a matéria orgânica no solo, possivelmente a disponibilidade de enxofre também, visto que no sistema palma com cobertura ocorreram as maiores eficiência do uso do enxofre. Entretanto, na palma consorciada com o sorgo a eficiência foi igual, possivelmente pela diversidade das culturas no sistema.

Apesar de ser exigido em pequena quantidade, o cobre é essencial para o desenvolvimento das plantas, uma vez que compõe muitas enzimas e proteínas, além de participar de inúmeras rotas metabólicas (MARTINEZ et al., 2014). No presente estudo as maiores magnitudes da eficiência do uso do cobre ocorreram em condição de sequeiro, em todos os sistemas, sendo a eficiência obtida no sistema palma com cobertura superior aos demais sistemas (Tabela 11).

Tabela 11. Interação da eficiência do uso do cobre ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos sistemas de plantio, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	0,1744 aB	0,5682 aA	0,0982 aB	0,1860 aB
563	0,1116 aB	0,5032 aA	0,0438 aB	0,1171 aB
724	0,0783 aAB	0,1286 bAB	0,0460 aB	0,1616 aA
866	0,0910 aAB	0,0672 bAB	0,0248 aB	0,1921 aA
1011	0,0849 aA	0,0715 bA	0,0337 aA	0,1201 aA

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

Foi observada também uma redução na eficiência do uso do cobre na palma com cobertura quando a lâmina de água atingiu 724 mm ou quantidades superiores, no entanto, Mascarenhas et al. (2014) relataram que é geralmente constatada deficiência de cobre em solos com teores mais elevados de matéria orgânica. Essa queda pode ser resultante da decomposição da cobertura morta, uma vez que só ocorreu na palma com cobertura, não podendo ser justificada pela lixiviação do nutriente.

O ferro, além de ser um micronutriente essencial, participa de vários processos fundamentais das plantas, a exemplo da fotossíntese, respiração, síntese de DNA e hormônios (JUCOSKI et al., 2016). A eficiência do uso do ferro apresentou-se bastante heterogênea entre as lâminas de água e sistemas de plantio, entretanto, é possível observar que os sistemas sorgo

exclusivo e palma-sorgo foram os que apresentaram maiores EUN, tendendo a crer que essa eficiência esteja mais relacionada ao sorgo (Tabela 12).

Tabela 12. Interação da eficiência do uso do ferro ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) dos sistemas de cultivo, submetidos a diferentes lâminas de irrigação, em Serra Talhada, Pernambuco

Lâminas mm	PS	PCC	PExc.	SExc.
355	8,6775abA	4,7046aA	3,7872aA	5,3374bcA
563	13,2747aA	5,4701aAB	2,2225aB	5,9409abcAB
724	3,93abB	4,5777aB	1,9440aB	15,1671abA
866	8,0297abAB	2,9674aBC	1,0856aC	15,1819aA
1011	4,0239bA	2,4922aA	1,1464aA	4,0749cA

*PS - Palma consorciada com sorgo; PCC - Palma com cobertura; PExc. - Palma exclusiva; SExc. - Sorgo exclusivo.

*Médias seguidas por letras iguais, maiúsculas nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Dados transformados utilizando o método de Box-Cox (1964).

A lâmina indicada para o sistema palma-sorgo e sorgo exclusivo é 563 mm e para palma com cobertura e palma exclusiva 355 mm, visando obter a maior eficiência com a menor quantidade de água. O fato da palma com cobertura ter sido o sistema mais produtivo, proporcionou, em algumas lâminas, eficiência do uso do ferro maior que na palma exclusiva.

O uso de cobertura morta além de melhorar a disponibilidade de água no solo, com a decomposição da cobertura morta ocorre à liberação de nutrientes no solo que auxiliam na nutrição das plantas, sendo a razão do sistema palma com cobertura apresentar a EUA e EUN (N, P, K, B, Mn, Zn e Na) maiores ou iguais aos demais sistemas. No entanto, os sistemas palma sorgo e sorgo exclusivo são favorecidos pela produção de matéria seca do sorgo ser maior que a da palma, promovendo maior eficiência.

Silva et al. (2014b), avaliando a EUN da palma forrageira em sequeiro, obtiveram valores médios para os macrominerais N, P, K, Ca, Mg e S, com base na precipitação, iguais a 0,0878; 0,0042; 0,1725; 0,2426; 0,0728 e 0,0025 $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, respectivamente. Para os microminerais B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, os autores obtiveram, médias iguais a 0,2505; 0,0382; 1,5612; 2,1964; 2,147 e 3,8162 $\text{g ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$, respectivamente.

A eficiência dos macrominerais encontrada por Silva et al. (2014b) são inferiores as obtidas na lâmina de 355 mm (sequeiro) no presente trabalho. No entanto a dos microminerais é superior, com exceção do nutriente boro.

5. CONCLUSÃO

Diante da eficiência do uso da água com base na matéria seca, mesmo não tendo ocorrido interação entre sistemas de plantio e lâminas de água, os sistemas de plantio de palma forrageira, palma consorciada com sorgo e palma com cobertura, são mais eficientes que a palma exclusiva.

A aplicação de 208,3 mm de água de forma complementar distribuído regularmente no período de maior de déficit, promove aumento da produtividade de matéria verde da palma e matéria verde e seca do sorgo. Sendo indicado seu uso principalmente no sistema palma-sorgo, uma vez que o sorgo possui menor eficiência no uso da água.

A utilização de cobertura morta, consórcio com sorgo, bem como a irrigação complementar com 208,3 mm no cultivo de palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., são estratégias eficientes para promover melhorias na produção de forragem.

O uso de cobertura morta promove maior extração de nutrientes pela palma forrageira, bem como aumento da produtividade, sendo uma técnica recomendada para as condições de clima deficitário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R.F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semi-árido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
- BELTRÃO, N.E.M. et al. **Consórcio Mamona + Amendoim: Opção para a Agricultura Familiar**. Campina Grande: Embrapa algodão, 2006. 10p. (Embrapa algodão. circular técnica 104).
- BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society**, Series B (Methodological), v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964.
- CRUZ NETO, J.F. et al. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 02, n. 02, p. 98-106, 2017.
- DUBEAUX JÚNIOR, J.C.B. 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. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no agreste pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.341-347, 2000.
- FARIAS, I. et al. O consórcio de sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) com a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill). **Caderno Ômega: Série Agronomia**, v. 2, p.131-145, 1986.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.F. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus ‘nopal’ (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.
- FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas forrageiras**. 1. Ed., Viçosa, MG: UFV, 2010. 537p.
- GALVÃO JÚNIOR, J.G.B. et al. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v. 8, n. 2, p. 78-85, 2014.
- JUCOSKI, G.O. et al. Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728, 2016.
- LACERDA, F.F. et al. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 31, p. 132-141, 2016.
- LIMA, L.R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191-201, 2018.
- MARTINEZ, H.E.P. et al. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, Suplemento, p. 838-848, 2014.

MARTINS, M.A. **Estimativa de produtividade das culturas do milho e do sorgo a partir de modelos agrometeorológicos em algumas localidades da região nordeste do Brasil.** 2012. 125f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2012.

MASCARENHAS, H.A.A. et al. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Revista Nucleus**, v. 11, n. 1, p. 179-197, 2014.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.integracao.gov.br/semi-arido-brasileiro>>. Acesso em: 24/06/2018.

MOURA, M.S.B. et al. Clima e água de chuva no semi-árido. In: BRITO, L.T.L.; MOURA, M.S.B; GAMA, G.F.B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro.** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007, p. 34-59.

NASCIMENTO, J.P. **Caracterização morfoométrica e estimativa da produção de opuntia ficus-indica, mill. sob diferentes arranjos populacionais e doses de fósforo no Semi-árido da Paraíba, Brasil.** 2008. 61f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2008.

NASCIMENTO, R. et al. Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 03, p. 364-369, 2009.

NEVES, A.L.A. et al. **Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros no semiárido brasileiro.** Juiz de fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62).

PARAÍSO, I.G.N. et al. Características agronômicas de híbridos de sorgo com potencial forrageiro cultivados no Norte de Minas Gerais. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, p. 08-17, 2017.

PINTO, C.M; PINTO, O.R.O. Avaliação da eficiência biológica e habilidade competitiva nos sistemas de consorciação de plantas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, N. 14, p. 105–122, 2012.

QUEIROZ, M.G. et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

RAMOS, J.P.F. et al. Crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica. **Revista eletrônica de veterinária**, v. 16, n. 12, 2015.

R Core Team. R. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2016.

REGO, M.M.T. et al. Morfologia e rendimento de biomassa da palma miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v.16, p.118-130, 2014.

RIBEIRO, R.C. et al. Germinação de sementes e produção de mudas de catingueira-verdadeira em água bioessalina. **Informativo ABRATES**, v. 24, n. 3, p. 50-54, 2014.

- ROCHA, J.E.S. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. 40p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos,106).
- SANTOS, D.C. et al. Estratégias para Uso de Cactáceas em Zonas Semiáridas: Novas Cultivares e Uso Sustentável das Espécies Nativas. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 15, n. 2, p.111-121, 2013.
- SANTOS, D. C. et al. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife: IPA, 2006. 48p. (IPA. Documentos, 30).
- SANTOS, D.C. et al. Genótipos de palma forrageira para áreas atacadas pela Cochonilha do carmim no sertão pernambucano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. **Anais...**Búzios: SBMP, 2011.
- SANTOS, E. da S. et al. Efeito Inicial do Crescimento da Palma Forrageira (*Nopalea cochenillifera*), com e sem Adubação Orgânica e Mineral. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE PALMA E OUTRAS CACTÁCEAS, 2015. **Anais...** Salvador, Bahia, 2015. p. 71-73.
- SANTOS, F.G. et al. **BRS Ponta Negra variedade de sorgo forrageiro**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 6p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 145).
- SANTOS, M.V.F. et al. Potential of caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, suplemento, p. 204-215, 2010.
- SANTOS, T.C. et al. Produção de celulases estáveis a temperatura e Ph a partir da fermentação em estado solido da Palma forrageira. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, SC, v. 1, 2014.
- SANTOS, W.M. et al. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 02, n. 04, p. 368-376, 2017.
- SILVA, J.A. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, suplemento, p.866-875, 2012.
- SILVA, J.L.A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, suplemento, p. S66–S72, 2014a.
- SILVA, L. M. et al. Aplicação de nitrogênio, potássio e cálcio na cultura da cenoura. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 69-76, 2017.
- SILVA, P.F. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 79f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande , Campina Grande, 2017.
- SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, v.73, n. 02, p.184-191, 2014b.
- SILVA, T.G.F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015a.

SILVA, T.G.F. et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015.

SILVA, T.J.J; ALMEIDA, F.F. Relações entre a variabilidade da precipitação pluviométrica e a produção agrícola no estado de Pernambuco entre 2000 e 2013. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 1, p. 26-33, 2017.

SOARES II, J.C; SILVA JÚNIOR, S.S. Palma forrageira: uma alternativa para sobrevivência no Semiárido. **Revista Cabra & Ovelha**, v. 34, n. 72, p. 4-5, 2012.

SOARES, M. M. et al. Adubação de cobertura com enxofre na cultura da rúcula. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 49-52, 2017.

SOSA, M.Y. et al. Diferentes formas de fornecimento de dietas à base de palma forrageira e comportamento ingestivo de vacas da raça holandesas em lactação. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 27, n. 2, p. 261-268, 2005.

SOUSA, P.G.R. et al. Características agronômicas do sorgo forrageiro submetido à lâminas de irrigação e cobertura morta no semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 8, p. 2239-2248, 2017.

SOUZA, L.S.B. et al. Balanço de energia e controle biofísico da evapotranspiração na Caatinga em condições de seca intensa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 8, p. 627-636, 2015.

SOUZA, T.E.M.S. et al. Reducing erosion in sorghum crops with mulching. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 730-736, 2018.

SOUZA, T.M.A. et al. Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. Brs pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 796-805, 2016.