



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ - REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



TESE

ANTÔNIO SUASSUNA DE LIMA

**NECESSIDADE HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTIVO DE VARIEDADES DE
PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

**CAMPINA GRANDE-PB
DEZEMBRO DE 2019**

ANTÔNIO SUASSUNA DE LIMA

**NECESSIDADE HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTIVO DE VARIEDADES
DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. José Dantas Neto – UAEA/CTRN/UFCG

Orientador: Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida – PPGDR/UEPB

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

**CAMPINA GRANDE-PB
DEZEMBRO DE 2019**

L732n

Lima, Antônio Suassuna de.

Necessidade hídrica e coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira no semiárido do Brasil / Antônio Suassuna de Lima. – Campina Grande, 2022.

106 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida".

Referências.

1. Irrigação e Drenagem. 2. Evapotranspiração. 3. Balanço Hídrico no Solo. 4. Opuntia. 5. Nopalea. 6. Cactáceae. I. Dantas Neto, José. II. Almeida, Hermes Alves de. III. Título.

CDU 631.62/.67(043)

ANTÔNIO SUASSUNA DE LIMA

**NECESSIDADE HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTIVO DE VARIEDADES
DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovado (a) em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Dantas Neto – UAEEA/CTRNUFCG
(Orientador)

Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida – PPGDR /UEPB
(Orientador)

Prof. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – UAEEA/CTRNUFCG
(Examinadora)

Prof. Dr. Luciano Marcelo Fallé Saboya - UAEEA/CTRNUFCG
(Examinador)

Prof. Dra. Patrícia Ferreira da Silva – PPGRN/CTRNUFCG
(Examinadora)

Prof. Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos – CCHA/UEPB
(Examinador)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

ANTÔNIO SUASSUNA DE LIMA

“NECESSIDADE HÍDRICA E COEFICIENTE DE CULTIVO DE VARIEDADES
DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL”

APROVADO(A): 18 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA



Dr. José Dantas Neto
Orientador – UAEA/CTRN/UFCG



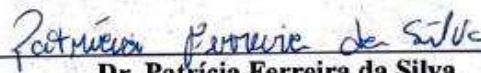
Dr. Hermes Alves de Almeida
Orientador – UEPB



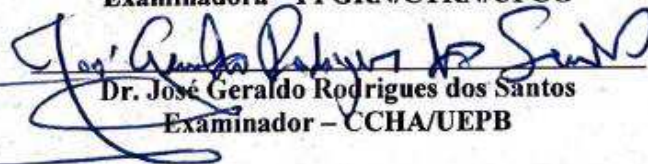
Dra. Vera Lucia Antunes de Lima
Examinadora – UAEA/CTRN/UFCG



Dra. Luciano Marcelo Falle Saboya
Examinador - UAEA/CTRN/UFCG



Dr. Patrícia Ferreira da Silva
Examinadora – PPGRN/CTRN/UFCG



Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos
Examinador – CCHA/UEPB

DEDICATÓRIA

Aos meus irmãos Wellington Suassuna e Humberto Suassuna (*In memoriam*),
ao meu pai Osmar Francisco Suassuna, minha mãe Maria Irene de Lima,
minha esposa Dirlene Diniz, minha filha Annabelle Diniz
e a todos os demais irmãos

Dedico

Com amor e carinho a minha esposa Dirlene Diniz,
filha Annabelle Diniz, minha mãe Maria Irene,
meu pai Osmar, e todos os meus irmãos
Erismar, Erineide, Ademar, Vaneide,
Nelson, M^a das Dores, M^a José,
Valter e Eliane

Ofereço

Aos professores e amigos José Dantas Neto e
José Geraldo Rodrigues dos Santos que
contribuíram diretamente para
minha formação acadêmica
e profissional.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo milagre da vida, e por sempre me fortalecer nos momentos de dificuldades.

Aos meus Pais, irmãos, esposa e todos os familiares, pela compreensão, amizade, apoio e, acima de tudo, pelos ensinamentos e incentivo aos estudos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. José Dantas Neto e Prof. Dr. Hermes Alves de Almeida, pelos valorosos ensinamentos científicos e pela incansável dedicação, bem como, pelo respeito, admiração e amizade construída.

Aos amigos Patrícia Ferreira, Rigoberto e Luciano Saboya, pelo auxílio e contribuição para conclusão da pesquisa.

Ao amigo Francielio que nos auxiliou em campo durante toda pesquisa.

Aos amigos Flávio, Ivomberg, Rennan, Salatiel, Renner Ferraz, Francisco das Chagas, Patrícia Costa, Arsênio, Marcelo Possas, Thiago Galvão, Vitória Ediclécia e Fagner, pela convivência, respeito e amizade construída.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Luciano Marcelo Fallé Saboya; Profa. Dra. Patrícia Ferreira da Silva; Prof. Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos e Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima, pelas valorosas contribuições.

A UFCG - Universidade Federal de Campina Grande e ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Doutorado e pela disponibilidade de subsídios necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento da pesquisa.

A CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsas.

A UEPB - Universidade Estadual da Paraíba, pela parceria e disponibilidade de dados climatológicos provenientes da estação meteorológica pertencente a esta instituição.

Ao INSA - Instituto Nacional do Semiárido, pela disponibilização do material para implantação da pesquisa.

A todos os professores e funcionários que compõem o curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFCG.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente, colaboraram para a implantação e conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	XII
GENERAL SUMMARY.....	XIII
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo Geral:	16
2.2. Objetivos Específicos:	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. Características Gerais da Palma Forrageira	17
3.2. Botânica e Morfologia	18
3.3. Variedades de Palma mais Cultivadas no Nordeste do Brasil	19
3.4. Importância e Utilidade da Palma.....	20
3.5. Necessidade de Irrigação	20
3.6. Evapotranspiração.....	22
3.7. Coeficiente de Cultura (Kc).....	23
3.8. Balanço Hídrico do Solo.....	24
3.9. Estresse Hídrico	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	27
5. CAPITULO 1	41
5.1. Dinâmica de Água no Solo em Cultivo de Palma Forrageira Sob Restrição Hídrica.....	41
5.1.1. Introdução	43
5.1.2. Material e Métodos	44
5.1.2.1. Localização e caracterização da pesquisa	44

5.1.2.2. Caracterização do Solo e da Água.....	46
5.1.2.3. Seleção dos Cladódios e Sistema de Plantio	49
5.1.2.4. Condução da pesquisa	49
5.1.2.5. Sistema de irrigação	51
5.1.2.6. Monitoramento do conteúdo de água no solo	52
5.1.2.7. Componentes do balanço hídrico no solo.....	54
5.1.2.8. Determinação dos coeficientes sob condições de estresse hídrico.....	57
5.1.3. Resultados e Discussão	58
5.1.3.1. Determinação do fator de depleção f e do coeficiente de estresse hídrico Kse.....	58
5.1.3.2. Determinação da ETr sob estresse hídrico	62
5.1.3.3. Determinação do coeficiente de cultivo sob estresse hídrico.....	68
5.1.4. Conclusões	70
5.1.5. Referências Bibliográficas	71
6. CAPITULO 2	79
6.1. Consumo Hídrico e Exigência Térmica da Palma Forrageira em Ambiente Semiárido.....	79
6.1.1. Introdução	81
6.1.2. Material e Métodos	82
6.1.2.1. Localização e caracterização da pesquisa	82
6.1.2.2. Caracterização do solo	84
6.1.2.3. Confecção e manejo dos lisímetros	85
6.1.2.4. Adubação dos lisímetros	86
6.1.2.5. Irrigação dos lisímetros	87
6.1.2.6. Determinação dos parâmetros (ETc, ETo, Kc)	88

6.1.2.7. Determinação das fenofases da cultura	89
6.1.3. Resultados e Discussão	92
6.1.3.1. Determinação do volume total de água aplicado.....	92
6.1.3.2. Determinação da ET_0 e da ET_c	93
6.1.3.3. Determinação da temperatura base e da soma térmica.....	95
6.1.3.4. Determinação dos coeficientes de cultivo	98
6.1.4. Conclusões	100
6.1.5. Referências Bibliográficas	102

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1.** Localização da área experimental, fazenda poço redondo, município de Santa Luzia-PB. Fonte: (SILVA, 2017)..... 45
- Figura 2.** Climograma com as medias mensais das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB. 46
- Figura 3.** Vista da área com experimento em instalado em campo e sistema de plantio. Santa Luzia-PB. 49
- Figura 4.** Croqui da área experimental em condições de campo. Santa Luzia-PB..... 50
- Figura 5.** Monitoramento do conteúdo de água no solo por meio da sonda de capacitância FDR. Santa Luzia-PB..... 53
- Figura 6.** Curva de retenção da água no solo, em que se definem a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) para um perfil de 0-20 cm de solo da área experimental em Santa Luzia-PB..... 56
- Figura 7.** Valores do fator de depleção de água no solo cultivado com palma forrageira, variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB. 59
- Figura 8.** Água facilmente disponível (AFD) e coeficiente de estresse (Kse) em função do fator de depleção, $f=0,3$; $0,50$ e $0,80$, do solo cultivado com plantas de palmas forrageiras variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB. 61
- Figura 9.** Armazenamento de água no solo θ_a , entre os limites de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) e evapotranspiração real no período de 7 dias, da palma forrageira variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB. 66

Figura 10. Coeficiente de cultura (K_c) de palmas forrageiras variedades orelha de elefante, baiana e miúda em função da evapotranspiração de referência (ET_0) e da evapotranspiração real sob estresse (ET_{se}) no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB. 69

CAPÍTULO 2

Figura 11. Localização da área experimental, fazenda poço redondo, município de Santa Luzia-PB. Fonte: (SILVA, 2017)..... 83

Figura 12. Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB. 84

Figura 13. Esquema da instalação dos lisímetros de drenagem para as cultivares de palma forrageira na área experimental. Santa Luzia-PB..... 85

Figura 14. Precipitação e irrigação da grama das variedades orelha de elefante, baiana e miúda ao longo de 365 dias após o plantio – DAP. Santa Luzia-PB. 92

Figura 15. Evapotranspiração de referência (ET_0) para grama e evapotranspiração da cultura das variedades orelha de elefante, baiana e miúda ao longo de 365 dias após o plantio – DAP. Santa Luzia-PB. 93

Figura 16. Representação gráfica da estimativa da temperatura basal - T_b para a palma forrageira pelo método do desvio padrão em graus dia - DPgd. Santa Luzia-PB..... 96

Figura 17. Temperaturas máximas ($T_{máx}$) e mínimas ($T_{mín}$) do ar registradas, temperatura basal (T_b) e a soma térmica acumulada (STA) para a 1°, 2°, 3° e 4° fenofase ao longo do ciclo de cultivo. Santa Luzia-PB..... 97

Figura 18. Coeficiente da cultura das variedades de palma forrageira orelha de elefante, baiana e miúda em razão do somatório térmico. Santa Luzia-PB. 99

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1.** Caracterização química do complexo sortivo e do estrato de saturação do solo da área experimental. Santa Luzia, PB, 2015. 47
- Tabela 2.** Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Santa Luzia, PB, 2015. 47
- Tabela 3.** Caracterização da água utilizada na irrigação do experimento. Santa Luzia, PB, 2015. 48
- Tabela 4.** Média diária, em mm, da evapotranspiração real da palma forrageira, variedades Orelha de Elefante (OE), baiana (BA), e Miúda (MI), resultante do balanço hídrico no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB. 63

CAPÍTULO 2

- Tabela 5.** Caracterização físico-hídrica do solo: umidade na capacidade de campo (CC), umidade no ponto de murcha permanente (PMP), água disponível (AD), densidade do solo (D_s), densidade das partículas do solo (D_p) e porosidade total do solo (P_{total})..... 84
- Tabela 6.** Fenofases de variedades de palma forrageira determinada com base na ordem de emissão dos cladódios o somatório de graus dias para um período de 12 meses. Santa Luzia, PB..... 90

LIMA, Antônio Suassuna de. **Necessidade hídrica e coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira no semiárido do Brasil**. 2019. 105 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

RESUMO GERAL

Para um melhor desempenho agrícola no Nordeste do Brasil, é necessária uma gestão adequada da água de irrigação. Tal fato tem estimulado o cultivo de culturas com elevada eficiência do uso de água, a exemplo da palma forrageira, que embora seja adaptada a regiões de clima semiárido, apresenta alterações na produção em função da disponibilidade hídrica. Assim, objetivou-se com este estudo determinar a necessidade hídrica, a exigência térmica e o coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira no Semiárido do Brasil. Para tanto, foram utilizadas três variedades de palma forrageira (orelha de elefante *Opuntia ficus-indica* L.; baiana e miúda *Nopalea cochenillifera* Salm), em experimento de campo em Santa Luzia-PB, fertirrigadas com 150 kg ha⁻¹ de N. O balanço hídrico no solo foi realizado para determinação da evapotranspiração real da cultura (ET_r) sob restrição hídrica. Já a evapotranspiração da cultura (ET_c) e exigência térmica, foram determinadas por meio de lisímetros de drenagem localizados no centro da área experimental. Cada lisímetro continha quatro plantas com características semelhantes e sob o mesmo sistema de manejo das plantas externas. Em um lisímetro específico foi plantado grama para estabelecer a evapotranspiração de referência (ET₀). Com base na emissão dos cladódios e na somatória de graus dias, determinou-se quatro fenofases para a palma forrageira. Os valores médios de evapotranspiração de referência definidos pelos métodos de Penman-Monteith (ET_{0PM}) e por lisímetria (grama) (ET_{0G}) foram 6,2 e 7,2 mm d⁻¹, respectivamente. Os valores médios diários de evapotranspiração real da cultura (ET_r) e coeficiente de cultivo (kc) sob restrição hídrica foram: 1,4 mm d⁻¹ e 0,31; 0,27; 0,27 para as variedades orelha de elefante; baiana e miúda, respectivamente. Os valores médios diários de evapotranspiração da cultura e coeficiente da cultura determinados por meio dos lisímetros de drenagem, foram: 4,8; 4,8 e 4,6 mm dia⁻¹ e 0,72; 0,70 e 0,70, para as variedades orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente. A temperatura basal da palma foi igual a 18 °C para as três variedades e a soma térmica acumulada no período superior a 4000 °C.

Palavras-Chave: Balanço hídrico no solo, irrigação, evapotranspiração, *Opuntia*, *Nopalea*, cactáceae.

LIMA, Antônio Suassuna de. **Water requirement and coefficient of cultivation of varieties of forage cactus in the semiarid of Brazil**. 2019. 105 f. Thesis (PhD in Agricultural Engineering) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.

GENERAL SUMMARY

For a better agricultural performance in the Northeast of Brazil, an adequate management of irrigation water is necessary. This has stimulated the cultivation of crops with high water use efficiency, for example, the fodder palm, which although it is adapted to regions of semi-arid climate, presents changes in production according to water availability. The objective of this study was to determine the water requirement, the thermal demand and the coefficient of cultivation of fodder palm varieties in the semi-arid region of Brazil. Three varieties of fodder palm were used (elephant ear *Opuntia ficus-indica* L.; baiana and chick *Nopalea cochenillifera* Salm) in a field experiment in Santa Luzia-PB, fertirrigated with 150 kg ha⁻¹ of N. The soil water balance was performed to determine the actual crop evapotranspiration (ET_r) under hydric restriction. For the determination of crop evapotranspiration (ET_c) and thermal requirement, three lysimeters of drainage located in the center of the experimental area were used. Each lysimeters contained four plants with similar characteristics and under the same management system of the external plants. A fourth lysimeters was planted to determine reference evapotranspiration (ET₀). Based on the emission of cladodes and the sum of degrees days, four phenophases were determined for the forage palm. The mean reference evapotranspiration values determined by Penman-Monteith (ET_{0PM}) and by lysimetry (gram) (ET_{0G}) were 6,2 and 7,2 mm d⁻¹ respectively. The daily mean values of actual crop evapotranspiration (ET_r) and crop coefficient (K_c) under water restriction were: 1,4 mm d⁻¹ and 0,31; 0,27; 0,27 for the elephant ear varieties; baiana and chick respectively. The daily average values of crop evapotranspiration and crop coefficient determined by means of lysimeters of drainage were: 4,8; 4,8 and 4,6 mm day⁻¹ and 0,72; 0,70 and 0,70 for the elephant ear, baiana and chick varieties respectively. The basal temperature of the palm was equal to 18 °C for the three varieties and the accumulated thermal sum in the period was over 4000 °C.

Keywords: Water balance in the soil, irrigation, evapotranspiration, *Opuntia*, *Nopalea*.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescente consumo dos recursos hídricos impulsionado por uma maior demanda de alimentos resulta em um cenário em que a exploração sobre as fontes de água se intensifica cada vez mais (CHEN *et al.*, 2018; DELL'ANGELO *et al.*, 2018; TAN *et al.*, 2018). No Brasil, a região considerada semiárida representa 11,39% do território nacional, abrangendo uma área equivalente a 69,2% da Região Nordeste (BRASIL, 2005).

O cultivo da palma é uma atividade que vem sendo desenvolvida em larga escala na Região Nordeste, em especial, nas bacias leiteiras dos estados de Alagoas, Pernambuco, Bahia, Paraíba e Sergipe (LEITE *et al.*, 2014). Dentre as culturas com potencial de aumento de produção sob irrigação no semiárido, a palma forrageira é digna de destaque pela sua capacidade de adaptar-se às condições edafoclimáticas, em virtude da eficácia de seu mecanismo morfofisiológico CAM (metabolismo ácido crassuláceo), o que lhe atribui maior eficiência na utilização de CO₂ e água (PEREIRA *et al.*, 2017). Esta característica tem elevado a palma a um patamar de suplementação alimentar altamente viável (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010; PINHEIRO *et al.*, 2014), constituindo-se em uma importante fonte de proteínas e minerais para alimentação animal (PAWAR *et al.*, 2017; JAYALAKSHMI *et al.*, 2017; RACHDI *et al.*, 2017; SANTIAGO *et al.*, 2018).

Atualmente, o Brasil é o maior produtor de palma forrageira do mundo com área plantada estimada em 600 mil ha⁻¹ e produtividade em torno de 600 t de massa verde ha⁻¹ ano⁻¹, quando manejada de forma correta e quando se faz uso da irrigação e adubação, sendo a Região Nordeste responsável por 95% de toda produção (MARQUES *et al.*, 2017).

No entanto, a baixa disponibilidade de água na região semiárida contribui para as baixas produtividades da palma, obtidas em cultivos de sequeiro. De acordo com Cattivelli *et al.* (2008), a restrição hídrica é um dos mais importantes estresses ambientais na agricultura. A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola. Fato este, que evidencia que, a suplementação hídrica é aparentemente um dos fatores que promovem o aumento na produção da palma forrageira, tornando essencial o conhecimento da evapotranspiração da cultura ET_c (SANCHES *et al.*, 2015). A estimativa da ET_c para o manejo da

irrigação, possibilita especificar o volume de água necessário a ser repostado ao solo, proporcionando melhores condições ao desenvolvimento das plantas (MOURA *et al.*, 2013). Com o conhecimento da evapotranspiração da cultura é possível determinar o coeficiente da cultura K_c . Este parâmetro constitui-se um item indispensável na determinação das necessidades hídricas das culturas (SILVA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014).

Ao mesmo tempo, que as mudanças climáticas têm sido motivo de grandes debates, especula-se que o aumento da temperatura do ar ocasionará redução na taxa fotossintética, elevação da respiração e transpiração das plantas, além da redução no ciclo das culturas, ocasionando perda na produtividade (RENATO *et al.*, 2013). O problema em questão é o ciclo de desenvolvimento da cultura, por ser o que define as mudanças fenológicas da planta e, conseqüentemente, os estádios de crescimento. Uma abordagem muito utilizada para definir o estágio de desenvolvimento da cultura é o método conhecido como graus-dia (ARNOLD, 1959).

O desenvolvimento de uma espécie vegetal está relacionado com o meio em cada fase fenológica ou no ciclo da cultura e é controlado a partir da soma térmica diária necessária para cada estágio. Existe uma temperatura mínima para acionar os dispositivos metabólicos da planta, que é denominada de temperatura basal inferior (T_b), e somente acima dela a planta consegue se desenvolver (RENATO *et al.*, 2013). A temperatura do ar é um dos principais elementos que atuam no desenvolvimento e crescimento vegetal, e uma das melhores maneiras de relacioná-la ao desenvolvimento é por meio do uso do sistema de unidades térmicas ou graus-dia. O uso de graus-dia admite uma relação linear entre o acréscimo de temperatura do ar e a taxa de desenvolvimento a qual, apesar das restrições, permite encontrar a temperatura-base ou mesmo a duração das fases fenológicas das culturas (PEDRO JÚNIOR *et al.*, 2004)

Inúmeras pesquisas buscam estratégias que facilitem a convivência com as adversidades do meio ambiente (FERRAZ, 2018). O conhecimento dos fatores que afetam a produção agrícola constitui-se em estratégia de adaptação às mudanças ambientais, acima de tudo no que diz respeito ao planejamento agrícola (SUN *et al.*, 2018; QIAO *et al.*, 2018; KHANAL *et al.*, 2018). Assim, o ganho de produtividade em relação ao cultivo de sequeiro, justifica a realização de pesquisas com palma forrageira irrigada (DIXIT *et al.*, 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral:

Avaliar variedades de palma forrageira cultivadas com e sem restrição hídrica no semiárido brasileiro, obtendo informações da necessidade hídrica e coeficiente de cultivo da cultura, além de quantificar a exigência térmica e a temperatura base da palma forrageira.

2.2. Objetivos Específicos:

- Estipular a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira sob restrição hídrica pelo método do balanço hídrico no solo;
- Estabelecer a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira por lisímetria;
- Indicar parâmetros como a exigência térmica e a temperatura basal da palma forrageira em ambiente semiárido;
- Determinar as fenofases da palma por meio da emissão dos cladódios e o somatório de graus dias.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Características Gerais da Palma Forrageira

A palma forrageira é uma espécie originária do México, cultivada para diversas formas de uso no país desde o período pré-hispânico, no país também, é possível encontrar o maior número de cultivares desta espécie (REYES-AGUERO *et al.*, 2006; MARQUES *et al.*, 2017). Além do núcleo de origem, a palma apresenta extensa distribuição geográfica, com exploração na Europa, América do Sul e África (ROCHA, 2012). Sua variação genética e multiplicidade de espécies possibilitam a distribuição em ambientes distintos, diferentes condições climáticas, além de estar disponível tanto de forma selvagem como em sistema de cultivo (SÁENZ, 2006).

A implantação da palma forrageira no Brasil, possivelmente, ocorreu no final do século XVIII, sendo a princípio, destinada à produção da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*), com o objetivo de produzir um corante natural para indústrias têxteis do Nordeste (SIMÕES *et al.*, 2005). As espécies introduzidas passaram a ser cultivadas como plantas ornamentais e somente no início do século XX vieram a ser cultivadas como forrageira (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005).

A área cultivada no Brasil é de aproximadamente 600 mil hectares, com predomínio na Região Nordeste. A palma possui aspectos fisiológicos que possibilitam seu pleno desenvolvimento em condições adversas, de modo que adaptou-se bem as condições do semiárido (SILVA & SANTOS, 2006; LOPES *et al.*, 2012). A expansão da cultura permeou, principalmente, os estados de Pernambuco, Alagoas e Paraíba, fortalecendo o cultivo e contribuindo para que, até hoje, se destaquem como áreas produtoras no Brasil (PEREIRA & LOPES, 2011).

Na região Nordeste do Brasil, sobretudo, nos períodos de seca, se destacam os cultivos das espécies de palma dos gêneros *Opuntia*, variedades Orelha de Elefante Gigante, Mexicana e Redonda e *Nopalea*, variedades Miúda e Baiana, que são uma das principais fontes de alimentação, energia e água para os rebanhos bovinos, caprinos e ovinos (CÂNDIDO *et al.*, 2013).

3.2. Botânica e Morfologia

A palma forrageira pertence à divisão Embryophyta, subdivisão Angiospermea, classe Dicotyledoneae, subclasse Archiclamideae, ordem Opuntiales e família Cactáceae (SILVA & SANTOS, 2006). A família Cactáceae possui cerca de 130 gêneros e 1500 espécies, das quais 300 são do gênero *Opuntia* (REYES-AGUERO *et al.*, 2006). Entretanto, é nos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* que estão às espécies de palma mais utilizadas como forragem (SILVA, 2012).

As plantas do gênero *Opuntia* são arbustivas, podendo alcançar de 3,5 a 5 m de altura (ALBUQUERQUE & SANTOS, 2005). Os cladódios são obovalados com 30 a 60 cm de comprimento, 20 a 40 cm de largura e 19 a 28 mm de espessura e de cor verde escura. As flores possuem de 7 a 9 cm de comprimento e de cor laranja e/ou amarela. O fruto é comestível de sabor adocicado, medindo aproximadamente 10 cm de comprimento e 8 cm de diâmetro, de coloração variável, indo desde amarela, laranja até vermelha. As sementes são obovaladas e discóides, com 3 a 4 mm de diâmetro (SCHEINVAR, 2001; SÁENZ, 2006).

Os botões meristemáticos de onde insurgem estruturas como espinhos, flores e novos brotos são piriformes e estão presentes em ambos os lados dos cladódios. Nos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* os estômatos aparecem de maneira uniforme de ambos os lados da superfície do cladódio (FARIAS, 2013).

A palma do gênero *Nopalea* possui cladódios, em média, de 25 cm de comprimento, com formato abovado (base mais fina que a ponta) e coloração verde intenso, o caule apresenta grande ramificação e pequeno porte, as flores são vermelhas e o fruto tem formato de baga e cor roxa (MARQUES *et al.*, 2017).

Em ambos os gêneros, as plantas possuem sistema radicular bem desenvolvido, com distribuição variando com o tipo de solo e com o manejo adotado, mas com raízes predominantemente superficiais, conferindo maior sobrevivência a longos períodos de seca, por apresentarem características xeromórficas (adaptadas a climas áridos e semiárido) (SUDZUKI-HILLS, 2001; MARQUES *et al.*, 2017).

Em geral, com condições favoráveis de umidade no solo, o maior volume de raízes concentra-se em torno de 20 cm de profundidade, entretanto, em condições de déficit hídrico desenvolvem ramificações horizontais conferindo-lhes a capacidade de absorver água de chuvas leves que molham apenas a camada superficial do solo

(SAMPAIO, 2005). Fato ratificado por Snyman (2006) e Oliveira (2008), que observaram maior concentração de raízes da palma próxima à superfície do solo, espalhando-se de forma superficial e horizontal.

3.3. Variedades de Palma mais Cultivadas no Nordeste do Brasil

As variedades de palma forrageira pertencentes aos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* são as mais cultivadas no nordeste do Brasil por possuírem características relevantes como: adaptação às regiões áridas e semiáridas, tolerância ao déficit hídrico e alta eficiência no uso de água (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010; PINHEIRO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015). Por essa razão, elas acabam se tornando a principal fonte de alimento para os rebanhos durante a época de estiagem (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2009). Atualmente, são as variedades mais difundidas no semiárido paraibano, por serem resistentes a cochonilha do carmim (SENAR, 2013).

A variedade Orelha de Elefante Mexicana *Opuntia ficus-indica* L. é oriunda do México e África. Suas vantagens são a resistência à cochonilha do carmim, menor exigência em fertilidade de solo, elevada produtividade de biomassa e altamente resistente ao déficit hídrico (CAVALCANTI *et al.*, 2008; VASCONCELOS *et al.*, 2009). Conforme descrito por Neves *et al.* (2010), uma particularidade indesejável desta variedade é a elevada quantidade de espinhos que dificultar o manejo, contudo, os espinhos auxiliam na diminuição da temperatura do caule durante o dia, de modo a elevar a tolerância à seca (MARQUES *et al.*, 2017).

A variedade IPA – Sertânia ou Baiana *Nopalea cochenillifera* Salm possui crescimento vertical, com boa produtividade, é bastante palatável aos animais, rica em carboidratos, resistente à cochonilha do carmim e menos resistência à escassez de água quando comparada à orelha de elefante mexicana (SENAR, 2013; SILVA, 2017).

A variedade Miúda *Nopalea cochenillifera* Salm é caracterizada por sua forma de crescimento vertical (SENAR, 2013; SILVA, 2017), tem resistência à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) (VASCONCELOS *et al.*, 2009) e maior produção de matéria seca comparada às cultivares Gigante e Redonda, apesar da menor produção de matéria verde e resistência à déficits hídricos mais severos se comparada à orelha de elefante mexicana (SANTOS *et al.*, 2006).

3.4. Importância e Utilidade da Palma

O potencial da palma não se restringe apenas à alimentação animal, mas também na obtenção de vários produtos e subprodutos voltados para alimentação humana, desde frutos, polpa, sucos e vitaminas até na composição de cosméticos, dentre outros usos nobres (DUBEUX JÚNIOR *et al.*, 2010; VILA NOVA *et al.*, 2017; DIAZ *et al.*, 2017). No Brasil, o uso na alimentação humana esbarra na falta de conhecimento sobre a cultura, visto que, tradicionalmente, é veiculada como ração animal. Em países como México, essa cultura faz parte da dieta de grande parte da população, nas mais variadas formas de consumo (NUNES, 2011).

O cultivo da palma ganha cada vez mais importância com sua aplicação na proteção e conservação dos solos e recuperação de áreas degradadas, de modo a garantir o desenvolvimento sustentável das propriedades (OLIVEIRA, 2008; SANGLARD & MELO, 2013). Todas essas vantagens despertam o interesse em usar o potencial produtivo da palma como matéria prima para produção de biocompostos e bioetanol (TORRES NETO, 2010; SANTOS *et al.*, 2011).

O valor econômico da palma forrageira é reconhecido por diversos pesquisadores (DIAZ *et al.*, 2017; DANTAS *et al.*, 2017; VILA NOVA *et al.*, 2017), considerada uma fonte de renda economicamente viável para as propriedades rurais (DANTAS *et al.*, 2017). A palma pode ser incluída na dieta de ruminantes na forma de farelo desidratado, pastejo ou picada e servida no cocho. Nas dietas a base de palma fresca, recomenda-se levar em consideração o baixo teor de matéria seca, necessitando o fornecimento de outras fontes de fibra para evitar desordens metabólicas nos animais (MARQUES *et al.*, 2017; SILVA, 2017).

As variedades dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* estão presentes em vários continentes, sendo espécies de múltiplos usos, detentoras de grande potencial capaz de contribuir positivamente na viabilidade econômica das propriedades agropecuárias (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2009).

3.5. Necessidade de Irrigação

A água é fator essencial no desenvolvimento das plantas, sendo o uso da irrigação, em muitos casos, a única forma de garantir a produção agrícola com segurança, especialmente, em regiões tropicais de clima quente e seco, a exemplo do Nordeste

brasileiro, onde à evapotranspiração é superior a precipitação, de modo a proporcionar déficit hídrico às culturas durante a maior parte do ano (FEITOSA *et al.*, 2015).

O semiárido paraibano apresenta temperaturas médias elevadas e precipitações médias anuais de 300-700 mm, extremamente concentradas em alguns meses do ano. É neste cenário que a produção de palma irrigada se torna uma das estratégias de apoio à convivência da pecuária regional com restrição pluvial (SILVA *et al.*, 2012). É importante ressaltar que, devido à adaptação as condições semiáridas, a palma, geralmente, é cultivada em condições de sequeiro (SILVA *et al.*, 2010). Isso se deve ao fato da mesma possuir Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM) (DIAZ *et al.*, 2017), porém, o potencial produtivo da cultura é elevado com uso da irrigação (CONSOLI *et al.*, 2013).

As plantas CAM, em geral, são bastante eficientes quanto ao armazenamento de água. Sob irrigação, a palma forrageira pode modificar seu metabolismo para CAM-facultativa, abrindo seus estômatos e fixando CO₂ durante o dia, (TAIZ & ZEIGER, 2013). No entanto, essa mudança no metabolismo é pouco compreendida e questiona-se o fato dela ocorrer em curto intervalo de tempo, havendo necessidade de retomada do metabolismo CAM (HERRERA, 2009).

O manejo da fertilidade do solo, a prática da adubação, o conhecimento das exigências nutricionais, os efeitos da irrigação e do clima são fatores de grande importância para o manejo da palma forrageira na região semiárida, pois refletem na maior ou menor produção da palma forrageira e, como consequência, na lucratividade do empreendimento rural (SILVA *et al.*, 2016; SILVA, 2017).

O aporte hídrico à palma forrageira promove modificações no processo de crescimento e na produtividade da planta em comparação à palma cultivada em sequeiro (ROCHA *et al.*, 2017). Fato confirmado por Rego *et al.* (2014) e Queiroz *et al.* (2015), que em pesquisas recentes fazendo uso da irrigação, conseguiram incrementar a produtividade da palma. Tais afirmações instigam a necessidade de análise do desenvolvimento da palma submetida em diferentes condições hídricas (QUEIROZ *et al.*, 2015).

A crescente demanda pelos recursos hídricos é um estímulo à pesquisa e adoção de práticas que visam aperfeiçoar o seu uso, motivo pelo qual tem-se fomentado estudos que procuram constatar as exigências hídricas das plantas em seus distintos estádios de desenvolvimento (SILVA *et al.*, 2009). O uso eficiente da água para fins de irrigação

depende, dentre outros fatores, do conhecimento a respeito do consumo hídrico da cultura (SILVA *et al.*, 2014). O que ratifica a necessidade de desenvolvimento de pesquisas com lâminas de irrigação no cultivo das principais variedades de palma cultivadas no semiárido paraibano, de modo a cooperar com o avanço da cadeia produtiva dessa forrageira na região (FERRAZ, 2018).

3.6. Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo de evaporação da água na superfície do solo em conjunto com a transpiração das plantas (ALENCAR *et al.*, 2011; SANCHES *et al.*, 2015). A evaporação é um fenômeno que ocorre quando o saldo de radiação atinge a camada superficial do solo. Entretanto, na proporção em que a cultura vai ocupando a superfície do solo e utilizando água no processo de crescimento e desenvolvimento, a transpiração torna-se o principal processo fotossintético da planta (DANTAS NETO & FERNANDES, 2006; SANCHES *et al.*, 2015).

A evapotranspiração de referência ET_0 se contabiliza como um dos principais processos para estimativa das necessidades hídricas das culturas, a qual, por meio do coeficiente da cultura k_c nos diferentes estágios de desenvolvimento, possibilita estimar a evapotranspiração da cultura ET_c (ALLEN *et al.*, 1998). Para atingir valores de ET_c pertinentes, é necessário ter estimativas confiáveis de ET_0 , sobretudo, para o produtor que faz uso da técnica de irrigação (SANCHES *et al.*, 2015).

Existe uma série de métodos empregados na determinação da ET_0 (CUNHA *et al.*, 2013), desde os mais simples até aqueles que apresentam embasamento físico (CARVALHO *et al.*, 2011). Contudo, o método de Penman-Monteith padronizado pela FAO é altamente preciso, de modo a ser considerado, há alguns anos, como padrão para determinação da ET_0 , apresentando estimativas consistentes (ALLEN *et al.*, 1998).

A evapotranspiração da cultura ET_c é definida como a fração de água evapotranspirada por uma determinada cultura em condições normais de cultivo (BERNARDO *et al.*, 2008; SANCHES *et al.*, 2015). No entanto, sua determinação é indispensável para o manejo correto da irrigação, pois reflete a quantidade de água a ser repostada ao solo, fornecendo condições ideais para o desenvolvimento das culturas (MOURA *et al.*, 2013).

A ETc pode ser avaliada por diferentes métodos, diretos e indiretos, dentre os diretos, destacam-se o uso de lisímetros de drenagem e de pesagem e o balanço hídrico do solo (SEDIYAMA, 1987; MOURA *et al.*, 2013). A preferência por um ou outro método está fundamentada no tipo de dado disponível e na precisão requerida para determinar a reposição de água ao solo na quantidade que a planta necessita (SEDIYAMA, 1987). Entretanto, a determinação da ETc através de lisímetros de drenagem permite a contabilização dos termos do balanço de água no solo de forma precisa, permitindo uma estimativa confiável da real necessidade hídrica das culturas (COSTA *et al.*, 2012).

Entretanto, existe uma insuficiência de informações a respeito da evapotranspiração da palma forrageira e os métodos diretos, por causa das dificuldades encontradas para sua medida, tem sido frequentemente determinada pelo produto entre a evapotranspiração de referência ET_0 e o coeficiente de cultura Kc (SOBRINHO *et al.*, 2011; BORGES JUNIOR *et al.*, 2012; MOURA *et al.*, 2013).

A escassez de dados de pesquisa referentes a esses parâmetros para a cultura da palma forrageira, em especial, no semiárido, constitui-se fator agravante no tocante ao uso racional da água nos cultivos que, associado ao déficit hídrico anual, fortalece a redução da produtividade desta e de outras culturas (COSTA *et al.*, 2012).

3.7. Coeficiente de Cultura (Kc)

A quantificação exata dos fluxos de água no sistema solo-planta-atmosfera é indispensável para fins de manejo da irrigação (SCHRADER *et al.*, 2013). A disponibilidade hídrica é essencial à sobrevivência das plantas e conservação dos seus processos fisiológicos. Notadamente, a demanda evapotranspiratoria e as características morfológicas da espécie influenciam na quantidade de água demandada pelas plantas (ARTUR *et al.*, 2014).

De fato, o acompanhamento e determinação dos fatores climáticos possibilitam quantificar os componentes do balanço hídrico, de modo a estimar a evapotranspiração e, conseqüentemente, o coeficiente da cultura Kc (SOUZA *et al.*, 2011). Que resulta na estimativa das necessidades hídricas das plantas, o que permite a realização do manejo da irrigação eficiente, resultando na otimização no uso da água (ALLEN *et al.*, 1998).

O K_c está diretamente ligado às fases fenológicas e fisiológicas das culturas e correlacionado com suas respectivas demandas hídricas (ALVES *et al.*, 2017).

Os coeficientes de cultura K_c , computados por meio da relação entre a evapotranspiração da cultura E_{Tc} e a evapotranspiração de referência E_{T0} , auxiliam na tomada de decisões acerca do suprimento hídrico da palma, cujas estimativas permitem avaliar a quantidade de água a ser fornecida à cultura (SILVA *et al.*, 2014). No entanto, a estimativa do parâmetro pode ser determinada por meio de modelos climáticos empíricos, pelo método de lisímetria e pelos tanques evaporimétricos (ALVES *et al.*, 2017).

Outro método bastante preciso na determinação do coeficiente da cultura consiste em dividir o K_c em dois coeficientes distintos, o coeficiente basal da cultura (K_{cb}) e o coeficiente de evaporação da água do solo K_e . O K_{cb} representa a taxa potencial de transpiração da cultura, enquanto que o K_e representa a evaporação da água na superfície do solo, suprida pela chuva e/ou irrigação (ALLEN *et al.*, 1998). Os procedimentos de cálculo do K_e são fundamentados no balanço hídrico diário na camada superficial do solo por outro lado, o cálculo do K_{cb} se faz necessário para os estágios fenológicos médio e final das culturas (ALLEN *et al.*, 1998).

Inúmeras pesquisas foram realizadas visando à determinação do consumo hídrico de diferentes culturas no Brasil (AZEVEDO *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2008; SILVA *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2015), outras foram desenvolvidas objetivando a definição da evapotranspiração e do K_c das culturas (BEZERRA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2013; BARBOSA *et al.*, 2015), entretanto, nenhuma delas trata do coeficiente de cultivo para palma forrageira de forma coerente e incisiva.

3.8. Balanço Hídrico do Solo

O conhecimento da extração da água do solo pelas plantas e como o consumo é influenciado pela variabilidade no armazenamento de água podem auxiliar no desenvolvimento de estratégias de gestão para melhorar o uso da água pelas culturas (CHILUNDO *et al.*, 2016; KRESOVIĆ *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2017). Além de possibilitar a utilização das reservas de água no solo pelas plantas de forma mais eficiente (MORAIS *et al.*, 2015). Estas estratégias podem compreender apenas práticas de manejo das culturas ou do solo, bem como a implantação da irrigação como

suplementação hídrica (SAMPAIO *et al.*, 2010; FIDALSKI *et al.*, 2010; PALARETTI *et al.*, 2011).

Através do balanço hídrico do solo, todas essas informações podem ser obtidas, no entanto, para sua determinação em campo, calculam-se até a profundidade efetiva do sistema radícula, todos os fluxos positivos (entrada de água no solo) e negativos (saída de água do solo) (LIBARDI, 2005), de modo que, submetidos às particularidades genéticas da espécie vegetal resultam na variação do armazenamento de água no solo (BRITO *et al.*, 2009; SOUZA *et al.*, 2013). Por meio deste processo, é possível calcular o consumo de água pela planta e a evapotranspiração da cultura (WARD *et al.*, 2012; HOWELL *et al.*, 2015; KIREMIT & ARSLAN, 2016).

O balanço hídrico do solo BHS é classificado como um método direto para analisar o processo de absorção da água pelas plantas (MORAIS *et al.*, 2015). A sua relevância está relacionada não somente a compreensão dos elementos que o compõem (SOUZA *et al.*, 2013), mas também, ao entendimento das características da planta, sobretudo, suas fases fenológicas, que correspondem ao ponto de partida para análise precisa dos resultados do balanço (CINTRA *et al.*, 2000).

O método do BHS é empregado para determinar a evapotranspiração e a eficiência no uso da água por diversas culturas (CRUZ *et al.*, 2005; MOROKE *et al.*, 2011; WARD *et al.*, 2012), de modo a apresentar resultados similares quando comparado com obtidos pelo método de lisímetria (SOUZA *et al.*, 2013). Entretanto, na literatura são raras as informações sobre a evapotranspiração e indicadores de eficiência da palma forrageira, especialmente, em condições de semiárido por meio da dinâmica de água no solo, o que fortalece a necessidade de suas determinações visando melhorar a compreensão das respostas produtivas dessa espécie (SILVA *et al.*, 2015).

3.9. Estresse Hídrico

Em condições naturais ou agricultáveis, as plantas estão frequentemente expostas a condições estressantes. Por isso, o estresse pode ser definido como um fator externo, a exercer uma influência adversa sobre a planta. O conceito está relacionado ao de tolerância ao estresse, que é a capacidade da planta para enfrentar um ambiente desfavorável. Uma condição estressante para uma planta pode não ser para outra, ou seja, a tolerância varia de espécie para espécie (TAIZ & ZIAGER, 2008).

Dentre todos os estresses biológicos, a deficiência hídrica é o principal fator responsável por limitar a produtividade de espécies agrícolas, estando envolvida na redução de grande parte das atividades das plantas (CINTRA *et al.*, 2020).

Na palma forrageira o déficit hídrico inibe o crescimento e a possibilidade de a cultura expressar todo seu potencial produtivo. Em regiões com restrições pluviais, há necessidade de irrigação para melhor desenvolvimento e maior produtividade da cultura (PEREIRA *et al.*, 2015). O déficit hídrico provoca danos que afetam todos os aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos da cultura (SILVA, 2017). Entre os processos que podem ser afetados, pode-se destacar a transpiração, a fotossíntese, a temperatura da cultura e a perda da turgescência celular, acarretando em murcha (SEIXAS *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

O estresse hídrico tem efeitos negativos sobre a sobrevivência e crescimento das plantas (MACHADO *et al.*, 2017). Além disso, a água é o fator mais importante no processo de desenvolvimento das plantas porque é o meio em que a maioria dos processos fisiológicos ocorrem, resultando no crescimento da raiz principal (PEREIRA *et al.*, 2020). O estresse promove uma redução na taxa de crescimento vegetativo das plantas (PELOSO *et al.*, 2017). É uma condição considerada como um afastamento expressivo das condições ótimas para a sobrevivência, que independente do grau em que ocorra, é responsável por induzir mudanças e respostas em todos os níveis funcionais dos organismos, essas mudanças podem ser reversíveis num princípio, mas também permanentes (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Mesmo em casos em que o estresse seja somente de forma temporária, a resistência da planta torna-se cada vez menor conforme a duração do estresse (BIANCHI *et al.*, 2016)

Embora a palma forrageira seja adaptada às condições de semiárido acontecem expressivas reduções em seu aparato fotoquímico sob restrição de água no solo, o que provoca o aumento da atividade do sistema antioxidante da planta (FERRAZ, 2018; CAMARENA-RANGEL *et al.*, 2017).

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.

ALVES, E. da S.; LIMA, D. F.; BARRETO, J. A. S.; SANTOS, D. P. dos.; SANTOS, M. A. L. dos. Determinação do Coeficiente de Cultivo para a Cultura do Rabanete através de Lisimetria de Drenagem. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 194-203, 2017.

ALBUQUERQUE, S. G.; SANTOS, D. C. Palma Forrageira. In: KILL, L. H. P.; MENEZES, E. A. (Ed.). **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2005, p. 91-127.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARTUR, A. G.; GARCEZ, T. B.; MONTEIRO, F. A. Water use efficiency of marandu palisadegrass as affected by nitrogen and sulphur rates. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 10-17, 2014.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, v.74, p.430-445, 1959.

AZEVEDO, P. V.; SOARES, J. M.; SILVA, V. P. R.; SILVA, B. B.; NASCIMENTO, T. Evapotranspiration of “Superior” grapevines under intermittent irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 3, p. 301-308, 2008.

BARBOSA, B. D. S.; OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P. de. Determinação do coeficiente de cultivo (kc) do capim Tanzânia irrigado no norte de Minas Gerais. **Irriga**, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 11-20, 2015.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2008, 625 p.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B. da.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da fao-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, P. 404-414, 2010.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; ALMEIDA, S. M. Adaptações das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n. 4, p.380–390, 2012.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido brasileiro**. Brasília, DF, 2005. 32 p.

BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 295-303, 2009.

CAMARENA-RANGEL, N. G.; ROSA, A. P. B. D. L.; HERRERA-CORREDOR, J. A.; SANTOS-DÍAZ, M. D. S. Enhanced production of metabolites by elicitation in *Opuntia ficus-indica*, *Opuntia megacantha*, and *Opuntia streptacantha callus*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 129, n. 2, p. 289-298, 2017.

CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, G. M. F.; LOPES, M. N.; XIMENES, L. J. F. Cultivo de palma forrageira para mitigar a escassez de forragem em regiões semiáridas. **Informe Rural Etene**, v. 3, n. 7, p. 1-7, 2013.

CARVALHO, L. G. de.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

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

CATIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F. W.; MAZZUCOTELLI, E.; ZASTRANGELO, A. M.; FRANCIA, E.; MARE, C. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v. 105, n.02, p. 1-14, 2008.

CHEN, B.; HAN, M. Y.; PENG, K.; ZHOU, S. L.; SHAO, L.; WU, X. F.; WEI, W. D.; LIU, S. Y.; LI, Z.; LI, J. S.; CHEN, G. Q. Global land-water nexus: Agricultural land and freshwater use embodied in worldwide supply chains. **Science of the Total Environment**, v. 613, p. 931-943, 2018.

CHILUNDO, M.; JOEL, A.; WESSTRÖM, I.; BRITO, R.; MESSING, I. Effects of reduced irrigation dose and slow release fertilizer on nitrogen use efficiency and crop yield in a semi-arid loamy sand. **Agricultural Water Management**, v. 168, n. 1, p. 68-77, 2016.

CINTRA, P. H. N.; MELO, O. F. P.; MENEZES, J. O. S.; PADILHA, R. C.; REZENDE, A. G.; MATOS, E. R. Análise de fluorescência da clorofila a em mudas de cafeeiro sob estresse hídrico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 27006-27014, 2020.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 23-28, 2000.

CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficusindica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.

COSTA, F. S.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B.; MESQUITA, E. F. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 26-33, 2012.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; CARVALHO, L. A. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 659-668, 2005.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.

DANTAS, S. F. A.; LIMA, G. F. C.; MOTA, E. P. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido potiguar. **Revista IPECEGE**, v. 3, n. 1, p. 59-74, 2017.

DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D. **Cultivo de pinhão-manso irrigado com águas de qualidade inferior: exigências hídricas e produção de biodiesel**. 2006. 37p. UFCG, Campina Grande, 2006.

DELL'ANGELO, J.; RULLI, M. C.; D'ODORICO, P. The Global Water Grabbing Syndrome. **Ecological Economics**, v. 143, n. 1, p. 276-285, 2018.

DIAZ, M.; ROSA, A.; TOUSSAINT, C.; GUERAUD, F.; SALVAYRE, A. *Opuntia* spp: characterization and benefits in chronic diseases. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2, n. 9, p. 1-17, 2017.

DIXIT, P. N.; TELLEIRA, R.; KHATIB, A. N. A.; ALLOUZI, S. F. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan. **Science of The Total Environment**, v. 610, p. 219-233, 2018.

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-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129 - 135, 2010.

FARIAS, V. F. S. **Avaliação do desenvolvimento, qualidade e capacidade antioxidante em brotos de palma (*Opuntia* sp.) para o consumo humano**. 2013. 74 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, 2013.

FERRAZ, R. L. S. **Palma forrageira fertirrigada no semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produção, estado nutricional e composição bromatológica**. 2018. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

FEITOSA, S. O.; SILVA, S. L.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p.146-155, 2015.

FIDALSKI, J.; AULER, P. A. M.; BERALDO, J. M. G.; MARUR, C. J.; FARIA, R. T. DE.; BARBOSA, G. M. C. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 917-924, 2010.

HERRERA, A. Crassulacean acid metabolism and fitness under water deficit stress: if not for carbon gain, what is facultative CAM good for? **Annals of Botany**, v. 103, n. 4, p. 645-653, 2009.

HOWELL, T. A. EVETT, S. R.; TOLK, J. A.; COPELAND, K. S.; MAREK, T. H. Evapotranspiration, water productivity and crop coefficients for irrigated sunflower in the U.S. Southern High Plains. **Agricultural Water Management**, v. 162, n. 1, p. 33-46, 2015.

JAYALAKSHMI, G.; SARITHA, V.; DWARAPUREDDI, B. K. A Review on native plant based coagulants for water purification. **International Journal of Applied Environmental Sciences**, v. 12, n. 3, p. 469-487, 2017.

KHANAL, U.; WILSON, C.; HOANG, V. N.; LEE, B. Farmers' adaptation to climate change, its determinants and impacts on rice yield in Nepal. **Ecological Economics**, v. 144, n. 1, p. 139-147, 2018.

KIREMIT, M. S.; ARSLAN, H. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 201, n. 1, p. 211-217, 2016.

KRESOVIĆ, B. TAPANAROVA, A.; TOMIĆ, Z.; ŽIVOTIĆ, L.; VUJOVIĆ, D.; SREDOJEVIĆ, Z.; GAJIĆ, B. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. **Agricultural Water Management**, v. 169, n. 1, p. 34-43, 2016.

LEITE, M. L. de. V.; SILVA, D. S. da.; ANDRADE, A. P. de.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. de. F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192 – 200, 2014.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, SP: EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2005, 335 p.

LOPES, E. B.; SANTOS, D. C.; VASCONCELOS, M. F. Cultivo da palma forrageira. In: LOPES, E. B. (Ed.). **Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no Semiárido nordestino**. João Pessoa: EMEPA-PB, 2012. p. 21-60.

MACHADO, F. H. B.; DAVID, A. M. S. S.; CANGUSSÚ, L. V. S.; FIGUEIREDO, J. C.; AMARO, H. T. R. Physiological quality of seed and seedling performance of crambe genotypes under water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 175-179, 2017.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MORAES, J. G. de.; MARCIANO, C. R.; AMARAL, C. O.; SOUSA, E. F. de.; MARINHO, C. S. Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranjeira ‘Folha Murcha’ no Noroeste Fluminense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 241-249, 2015.

MOROKE, T. S.; SCHWARTZ, R. C.; BROWN, K. W.; JUO, A. S. R. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 112, p. 76-84, 2011.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. de.; SILVA, B. B. da.; OLIVEIRA, L. M. M. de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

NUNES, C. S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 58-66, 2011.

OLIVEIRA, J. D. S.; LEMOS, E. E. P.; CARVALHO FILHO, R. V.; SANTOS, E. F.; SILVA, R.; GALLO, C. M. Alterações fisiológicas no crescimento inicial de pinheira (*Annona squamosa* L.) submetida ao estresse hídrico. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 1, p. 53-63, 2020.

OLIVEIRA JÚNIOR, S.; NETO, M. B.; RAMOS, J. P. F. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia fícus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 3, n. 1, p. 7-12. 2009.

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

PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Caracterização e diagnóstico de sistemas de irrigação e práticas de manejo de água na citricultura do Norte do estado de São Paulo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 2, p. 531-551, 2011.

PAWAR, A. V.; KILLEDAR, S. G.; DHURI, V. G. *Opuntia*: Medicinal Plant. **International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology**, v. 3, n. 2, p. 148-154, 2017.

PEDRO JÚNIOR, M.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, A. V. C.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, J. L. Temperatura-base, graus-dia e duração do ciclo para cultivares de triticale. **Bragantia**, v. 63, n. 3, p. 447-453, 2004.

PELOSO, A. F.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.

PEREIRA, I. C.; CATÃO, H. C. R. M.; CAIXETA, F. Seed physiological quality and seedling growth of pea under water and salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 95-100, 2020.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. da. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017.

PEREIRA, E. F. P.; LOPES, P. S. Q. **Palma – Ouro Verde do Semiárido**. João Pessoa: FAEPA/SENAR/PB, 2011. p. 13-16.

PEREIRA, P. de C.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F. de; SANTOS, D. C. dos. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n. 12, p.939-947, 2014.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015.

QIAO, J.; YU, D.; WU, J. How do climatic and management factors affect agricultural ecosystem services? A case study in the agro-pastoral transitional zone of northern China. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 314-323, 2018.

RACHDI, R.; SRARFI, F.; SHIMI, N. S. Cactus *Opuntia* as natural flocculant for urban wastewater treatment. **Water Science & Technology**, v. 76, n. 4, p. 1-14, 2017.

REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LOBO, R. N. B. 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, n. 2, p. 118-130, 2014.

RENATO, N. dos. S.; SILVA, J. B. L.; SEDIYAMA, G. C.; EDUARDO GUSMÃO PEREIRA, E. G. Influência dos métodos para cálculo de graus-dia em condições de aumento de temperatura para as culturas de milho e feijão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p. 382-388, 2013.

REYES-AGUERO, J. A.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; HERNÁNDEZ, H. M. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactáceae). **Agrociência**, v. 39, n. 4, p. 395-408, 2006.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

ROCHA, J. E. S. **Palma Forrageira no Nordeste do Brasil**: Estado do Acre, 2012. 40 p. (Documentos Online. 106). Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/96744/1/DOC-106.pdf> >. Acesso em: 15 outubro 2017.

SÁENZ, C. Características y composición química de los nopales. In: SÁENZ, C.; BERGER, H.; GARCÍA, J. C.; GALLETI, L.; CORTÁZAR, V. G.; HIGUERA, I.; MONDRAGÓN, C.; RODRÍGUEZ-FÉLIX, A.; SEPÚLVEDA, E.; VARNERO, M. T. (Ed.). **Utilización agroindustrial del nopal**. Roma: FAO, 2006. p. 7-22.

SAMPAIO, A. H. R. COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; DANIEL, R.; MACHADO, V. V.; CARVALHO, G. C.; SANTANA JUNIOR, E. B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 10, p. 1141-1148, 2010.

SAMPAIO, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E.V.S. B. (eds). **A Palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 2º ed., Editora Universitária da UFPE. Recife-PE. p.43-63. 2005.

SANGLARD, D. A.; MELO, G. G. Biometria de genótipos de soja visando tolerância às condições edafoclimáticas do Cariri paraibano como suporte para a ovinocaprinocultura. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 5,n.2, p. 208-215, 2013.

SANTOS, T. C.; SOARES, G. A.; ROCHA, T. J. O.; FERREIRA, A. N.; PACHECO, C. S. V.; FRANCO, M. Quantificação da atividade de CMCase e FPase produzidas a partir da fermentação em estado sólido da palma forrageira. **Revista Científica do Departamento de Química e Exatas**, v. 2, n. 2, p. 22-29, 2011

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

SANTIAGO, E. D.; DOMÍNGUEZ-FERNÁNDEZ, M.; CID, C.; PEÑA, M. P. D. Impact of cooking process on nutritional composition and antioxidants of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica*). **Food Chemistry**, v. 240, p. 1055-1062, 2018.

SANCHES, F. M.; XIMENES, A. R.; CORADI, P. C.; ROQUE, C. G.; CUNHA, F. F. da. Estimativa da evapotranspiração de referência na região norte do Brasil. **Revista de Ciências Agroambientais**, v.13, n.2, p.19-31, 2015.

SCHRADER, F.; DURNER, W.; FANK, J.; GEBLER, S.; PÜTZ, T.; HANNES, M.; WOLLSCHLÄGER, U. Estimating precipitation and actual evapotranspiration from precision lysimeter measurements. **Procedia Environmental Sciences**, v. 19, p. 543-552, 2013.

SEDIYAMA, G. C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília, ABEAS, 1987. 143p

SEIXAS, A. A.; GOMES, V. M.; SERAFIM, V. F.; VIANA, W. A. Déficit hídrico em plantas forrageiras. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2015.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL- SENAR. **Palma forrageira: Cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro**. Coleção SENAR. Série II, Brasília, DF, 2013. 52p.

SCHEINVAR, L. Taxonomia das Opuntias utilizadas. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Paraíba: SEBRAE/PB, 2001. p. 20-27.

SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E V. S. B. (Ed.). **A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. 1. ed. Recife: Editora da UFPE, 2005. p. 143-162.

SILVA, P. F. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 68 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB 2017.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BORGES, V. E.; DANTAS NETO, J.; FARIAS, M. S. S. Morphology and biomass yield of forage cactus under mineral fertilization in organic soil. **African J. of agric. Research**, v. 11, 3497-3505, 2016.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n. 2, p.10-18, 2015.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, S. M.S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M.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, n. 2, p.184-191, 2014

SILVA, V. R. R.; TAVARES, A. L.; SOUSA, I. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo simples e dual do coentro. **Revista brasileira de horticultura**, v. 31, n. 2, p. 255-259, 2013.

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

SILVA, J. A. **Palma forrageira cultivada sob diferentes espaçamentos e adubações química**. 2012. 87 p. (Tese – Doutorado em Zootecnia) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga-BA. 2012.

SILVA, N. G. M.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JR., J. C. B.; MELLO, A. C. L.; SILVA, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 39, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 2, p. 467- 472, 2009.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 7, n. 10, p. 1-13, 2006.

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

SOBRINHO, T. A.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. de.; REBUCCI, L. C. S.; PERTUSSATTI, C. A. Estimativa da evapotranspiração de referência através de redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 2, P. 197-203, 2011.

SOUZA, L. S. B. de.; MOURA, M. S. B. de.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015.

SOUZA, C. DE.; ANDRADE, A. P. de.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO A. C. D.; SOUZA, E. S. de.; SILVA, I. F. da. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.1, p. 3–10, 2013.

SOUZA, A. P. de.; PEREIRA, J. B. A.; SILVA, L. D. B. da.; GUERRA, J. G. M.; CARVALHO, D. F. de. Evapotranspiração, coeficientes de cultivo e eficiência do uso da água da cultura do pimentão em diferentes sistemas de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 15-22, 2011.

SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 400-407.2008.

SUDZUKI-HILLS, F. Anatomia e fisiologia. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Ed.). **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE, p. 28-34, 2001.

SUN, S. K.; LI, C.; WU, P. T.; ZHAO, X. N.; WANG, Y. B. Evaluation of agricultural water demand under future climate change scenarios in the Loess Plateau of Northern Shaanxi, China. **Ecological Indicators**, v. 84, n. 1, p. 811-819, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 719p.

TAN, W.; ZHANG, Y.; XI, B.; HE, X.; GAO, R.; HUANG, C.; ZHANG, H.; LI, D.; ZHAO, X.; LI, M.; LI, L.; JIANG, J.; WANG, G. Discrepant responses of the electron transfer capacity of soil humic substances to irrigations with wastewaters from different sources. **Science of the Total Environment**, v. 610, n. 1, p. 333-341, 2018.

TORRES NETO, A. B. **Estudo da pré-hidrólise ácida da palma forrageira (Opuntia ficusindica Mill)**. 2010. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2010

VASCONCELOS, A. G. V. de; LIRA, M. de A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. dos; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

VILA NOVA, S. R. M.; BARROS, J. G. de.; PAIXÃO, A. E. A.; TONHOLO, J.; SÍLVIA BEATRIZ BEGER UCHOA, S. B. B. Palma Forrageira: Evidências de sua Utilização Econômica. **Cadernos de Prospecção**, v. 10, n. 4, p. 738-753, 2017.

WARD, P. R.; FLOWER, K. C.; CORDINGLEY, N.; WEEKS, C.; MICIN S. F. Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate.

Field Crops Research, v. 132, p. 33-39, 2012.

5. CAPITULO 1

5.1. Dinâmica de Água no Solo em Cultivo de Palma Forrageira sob Restrição Hídrica

Resumo: A palma é uma das principais forrageiras para alimentação dos rebanhos no Semiárido nordestino, sendo alternativa para manutenção da pecuária na região. Ela é considerada resistente à deficiência hídrica, no entanto, apresenta considerável incremento de produtividade quando submetida à irrigação. O manejo adequado da irrigação é um dos critérios possíveis de serem adotados, baseando-se na evapotranspiração da cultura (ET_c) e no conhecimento do coeficiente de cultura (K_c). Portanto, cultivou-se em área experimental, no município de Santa Luzia-PB, três variedades de palma forrageira irrigada e fertilizada com 150 kg ha^{-1} de nitrogênio. Aos 18 meses após o plantio dos cladódios se iniciou um balanço hídrico da água no solo, objetivando a determinação da evapotranspiração da cultura e do coeficiente de cultivo sob restrições hídricas. O manejo da irrigação foi realizado por meio de uma sonda FDR, e a cada sete dias o teor de umidade do solo era elevado a Capacidade de Campo, através de um sistema de irrigação por gotejamento. Durante um período de 180 dias, a média diária da evapotranspiração de referência (ET_0) determinada pelo método de Penman-Monteith foi de $6,2 \text{ mm d}^{-1}$. Os valores de evapotranspiração real acumulada foram muitos próximos para as variedades estudadas, seguindo a ordem de 251,7; 251,2 e 249,6 mm para orelha de elefante, miúda e baiana, com valores médios diários de 1,4 mm d^{-1} . Os valores médios diários do coeficiente de cultivo foram de 0,31; 0,27 e 0,27 para as variedades de palma orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente. O baixo teor de umidade do solo antes das irrigações proporcionou valores de K_c abaixo do ideal, uma vez que, este parâmetro está relacionado diretamente com a evapotranspiração da cultura.

Palavras-Chave: Coeficiente de estresse hídrico, sonda de capacitância, fator de depleção, *Opuntia*, *Nopalea*.

Soil Water Dynamics in Forage Cactus Growing under Water Restriction

Abstract: The palm is one of the main fodder used to feed the flocks in the semi-arid northeast, being an alternative for the maintenance of livestock in the region. This cactus is considered resistant to water deficiency, however, it presents a considerable increase in productivity when submitted to irrigation. The adequate management of irrigation is one of the possible criteria to be adopted, based on the crop evapotranspiration (ET_c) and the knowledge of the crop coefficient (K_c). Therefore, three varieties of irrigated and fertilized fodder palm with 150 kg ha⁻¹ of nitrogen were cultivated in an experimental area in the municipality of Santa Luzia-PB. At 18 months after the planting of the cladodes, a water balance of the soil water was initiated, aiming the determination of crop evapotranspiration and crop coefficient, under water restrictions. Irrigation management was carried out by means of an FDR probe, and every seven days the soil moisture content was raised to Field Capacity through a drip irrigation system. Over a period of 180 days the average daily reference evapotranspiration (ET₀) determined by the Penman-Monteith method was 6,2 mm d⁻¹. The actual accumulated evapotranspiration values were elephant very close for the varieties studied, in this order 251,7; 251,2 and 249,6 mm for elephant ear, chick and baiana, with daily mean values of 1.4 mm d⁻¹. The daily average values of the cultivation coefficient were 0,31; 0,27 and 0,27 for the varieties of elephant, chick and baiana, respectively. The low soil moisture content before irrigation provided K_c values below ideal, since this parameter is directly related to crop evapotranspiration.

Keywords: Water stress coefficient, capacitance probe, depletion factor, *Opuntia*, *Nopalea*.

5.1.1. Introdução

A Utilização de água para irrigação é uma técnica que objetiva a garantia da produção de alimentos. Atualmente, estima-se que, 43% dos recursos hídricos são destinados a produção agrícola (TWEED *et al.*, 2018; FERRAZ, 2018).

As regiões semiáridas são caracterizadas pelos baixos índices pluviométrico, má distribuição das chuvas e temperaturas elevadas (MARQUES *et al.*, 2017). De acordo com dados atuais, 15% da população da Terra vivem em regiões áridas e semiáridas (QADER *et al.*, 2018). O que evidencia a necessidade de criação de estratégias que viabilizem o uso dos recursos hídricos no semiárido, as plantas de metabolismo fotossintético CAM, por exemplo, podem ser empregadas como atenuantes dos impactos negativos. Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, são exemplos deste metabolismo, com expressiva tolerância ao déficit hídrico e eficiência do uso da água, cultivadas mundialmente, sobretudo, para produção de forragem para alimentação animal (BAYAR *et al.*, 2018; VOLPE *et al.*, 2018).

A crescente demanda pelo uso da água e as divergências dos modos de uso reforçam a importância de informações concisas dos diferentes tipos de demanda, dentre eles, a evapotranspiração da cultura (Etc) (MOURA *et al.*, 2013). O estudo da evapotranspiração é de singular importância em atividades ligadas à agricultura, principalmente, no manejo hídrico das culturas (BEZERRA *et al.*, 2008). A determinação da (Etc) e o manejo adequado da palma forrageira no tocante a irrigação reflete a quantidade de água a ser reposta ao solo, fornecendo condições ideais para o seu desenvolvimento (MOURA *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

Vários parâmetros empregados em projetos de irrigação e drenagem com vistas ao manejo da irrigação são, em grande parte, para descrever interações do sistema solo-água-planta, com bastante evolução nos últimos anos. Existem vários sensores e instrumentos que conferem uma maior precisão quanto aos parâmetros físicos-hídrico do solo. Contudo, o balanço hídrico do solo é um dos métodos mais requisitados em condições de campo.

O balanço hídrico no solo (BHS) é um método capaz de auxiliar na determinação desses parâmetros, para melhor entendimento da dinâmica de água no sistema solo-planta-atmosfera (MOTA *et al.*, 2018), de modo a ser classificado como um método

direto para análise do processo de absorção da água pelas plantas (MORAIS *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos já foram conduzidos com o intuito de determinar a evapotranspiração de algumas culturas como a braquiária (MEIRELLES *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014), a mamona (SOUZA *et al.*, 2013), o milho (SOUZA *et al.*, 2015) e a laranjeira (MORAES *et al.*, 2015), com uso de métodos como o balanço de água no solo.

Recentemente, alguns trabalhos foram desenvolvidos com a palma forrageira objetivando a determinação da evapotranspiração por meio do balanço de água no solo (QUEIROZ *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2017), entretanto, esse tipo de método é pouco acionado em regiões semiáridas e envolvendo culturas como as cactáceas (SILVA *et al.*, 2015). O conhecimento da dinâmica de água no solo pode auxiliar a tomada de decisões acerca do suprimento hídrico da palma, justificando o aumento de pesquisas para determinação da evapotranspiração da palma irrigada (MORAIS *et al.*, 2017).

Dada à relevância da temática, objetivou-se determinar a evapotranspiração real e o coeficiente de cultivo de variedades de palma forrageira sob restrição hídrica, por meio do balanço hídrico no solo na região imediata de Patos.

5.1.2. Material e Métodos

5.1.2.1. Localização e caracterização da pesquisa

O estudo foi conduzido em condições de campo, na fazenda Poço Redondo, localizada aproximadamente 2 km do município de Santa Luzia, Paraíba, nas margens do riacho chafariz, (Figura 1). As coordenadas geográficas do local são: “06° 51’ 30,3 de latitude Sul e 36° 56’ 9,7” de longitude Oeste. O município está situado na Região Imediata de Patos, coordenadas geográficas 06° 52’ 27” de latitude Sul e 36° 56’ 00” de longitude Oeste, a uma altitude média de 299 metros. Inserido na bacia hidrográfica do rio Piranhas, onde predomina o clima do tipo Bsh, quente seco, semiárido com chuvas de verão, conforme classificação climática de Köppen (ALVAREZ *et al.*, 2014). O tempo total da pesquisa foi 180 dias, iniciando em setembro de 2016 quando as plantas estavam com 18 meses de cultivo e finalizando em março de 2017.

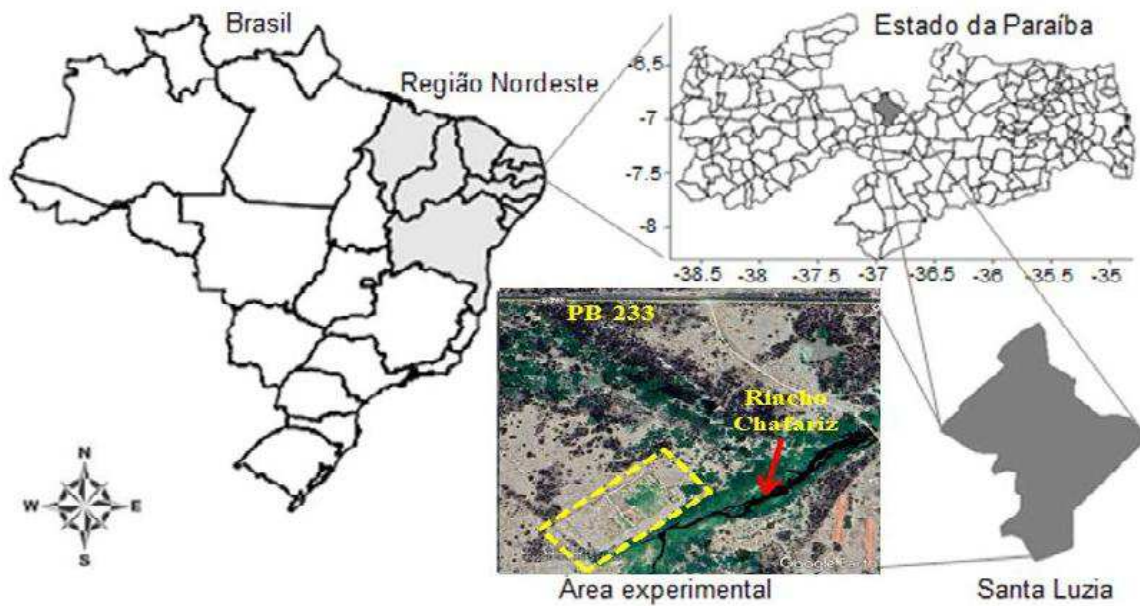


Figura 1. Localização da área experimental, fazenda Poço Redondo, município de Santa Luzia-PB. Fonte: (SILVA, 2017).

A média de precipitação da região é de 446,9 mm anuais, tendo como principal característica a irregularidade das chuvas concentradas entre os meses de janeiro a maio. A temperatura média do município é de 27,6 °C, com máxima de 33,0 °C, mínima de 22,3 °C, e umidade relativa do ar variando entre 50 e 70% (SILVA, 2017). A vegetação predominante na área experimental é do tipo Caatinga-Seridó, subxerófila, constituída na sua maior parte por cactos e pequenas árvores ou arbustos, geralmente, espinhosos, formando agrupamentos densos em alguns pontos, e com árvores dispersas em outros (DAMASCENO *et al.*, 2010). As variáveis meteorológicas como temperatura e umidade do ar foram monitoradas durante todo período da pesquisa e as médias mensais expressas em climograma, conforme Figura 2.

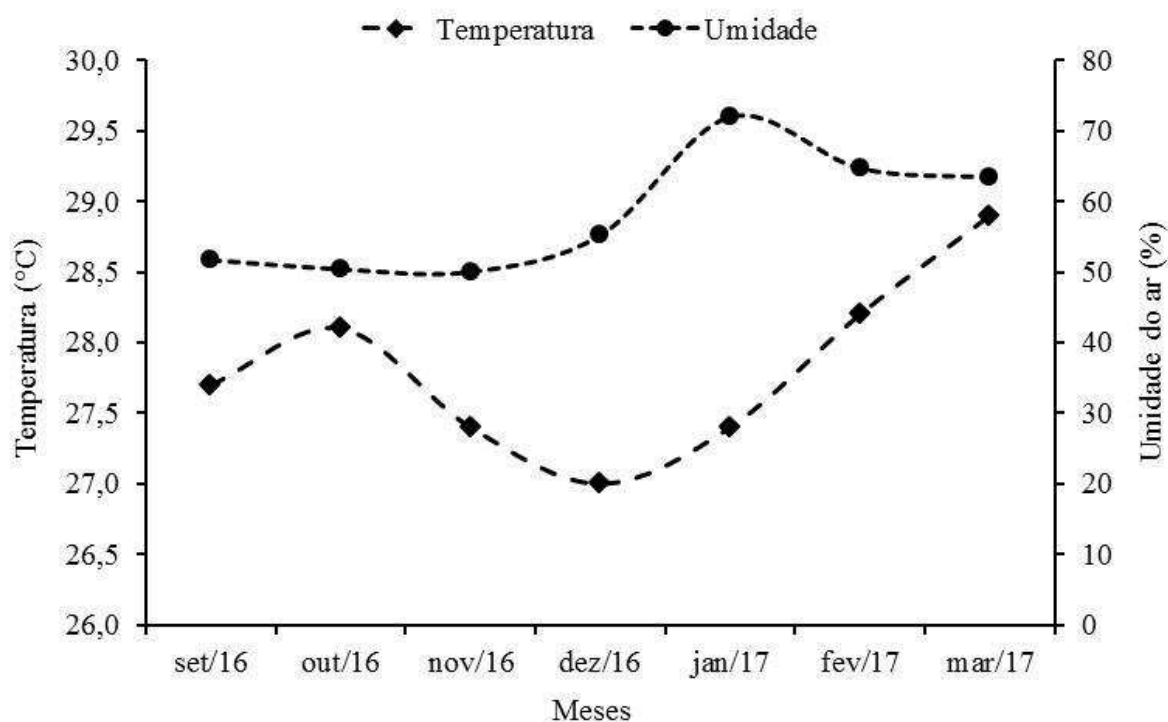


Figura 2. Climograma com as medias mensais das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB.

5.1.2.2. Caracterização do Solo e da Água

O solo da área experimental é classificado como Neossolo Flúvico de textura franco-arenosa. Este tipo de solo é formado a partir da derivação de detritos aluviais e apresenta grande diversidade no seu material de origem, possibilitando grande alternância nas suas características físicas, químicas e morfológicas (EMBRAPA, 2013). Anterior à pesquisa, o solo da área era coberto por vegetação nativa, e não tinha sido aplicado em nenhum tipo de cultivo.

Logo em seguida, foram coletadas amostras simples do solo da área nas profundidades de 0-0,20 m, as quais foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos e transportadas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) para caracterização química e físico-hídrica. O nitrogênio presente no solo estimado com base no teor de matéria orgânica e os valores de alguns atributos, conforme profundidade coletada, vide as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Caracterização química do Complexo Sortivo e do Estrato de saturação do solo da área experimental. Santa Luzia, PB, 2015.

Complexo Sortivo												
Prof	pH ¹	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	H+	Al ³⁺	SB	CTC
(m)	H ₂ O	g kg ⁻¹		mg dm ⁻³	-----cmol _c kg ⁻¹ -----							
0,0-0,20	5,83	3,80	0,20	47,50	0,60	4,18	2,48	0,17	0,18	0,00	7,43	7,61
Estrato de Saturação												
Prof	pH ¹	Cl	CO ₃	HCO ₃	Ca	Mg	K	Na	CEes	RAS		
(m)	H ₂ O	-----mmol _c L ⁻¹ -----					dS m ⁻¹			(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}		
0,0-0,20	5,4	75,0	0,0	99,0	51,2	15,0	37,0	23,7	1,14	1,3		

1: pH em água; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; CEes: condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; e RAS: razão de adsorção de sódio. Fonte: Silva (2017).

Tabela 2. Caracterização físico-hídrica do solo da área experimental. Santa Luzia, PB, 2015.

Profundidade	Areia	Silte	Argila	n	DS	DP	θ -0,1	θ -0,3	θ -1,0	θ -5,0	θ -10,0	θ -15,0	AD
(m) g kg ⁻¹ g cm ⁻³%.....								
0,00-0,20	748,3	178	78,9	44,23	1,56	1,39	24,8	19,3	12,3	6,7	6,0	5,4	10,4

n: porosidade, DS: densidade do solo, DP: densidade de partícula, θ: umidade do solo entre 0,1 e 15 atmosfera e AD: água disponível no solo. Fonte: Silva (2017).

Na Tabela 1, percebe-se que, os valores de pH determinados em água, confere ao solo da área um pH médio. O valor considerado adequado para o crescimento e desenvolvimento das plantas deve ser entre 6,0 e 6,5. Nessa faixa de pH não há presença de Al³⁺ (forma tóxica) e há boa disponibilidade de nutrientes.

Com exceção dos teores de Al³⁺, que foram nulos e da matéria orgânica que apresentou teores muito baixos, os demais elementos apresentaram seus teores elevados, segundo classificação proposta por Alvarez (1997), para a profundidade analisada. Na mesma tabela estão os valores da soma de bases (K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) acima de 5 cmol_c kg⁻¹, representando uma soma de base alta de acordo com as classes de interpretação. Os valores de CTC conferem ao solo analisado uma CTC média com valor de 7,61 cmol_c kg⁻¹, na camada analisada. Solos com CTC abaixo de 4,5 cmol_c kg⁻¹, geralmente, possuem baixa capacidade tampão, no entanto, os solos com CTC acima de 10 cmol_c kg⁻¹ possivelmente, dispõem de elevado poder tampão.

Já os valores de CEes, Tabela 1, são considerados inadequados para o cultivo da palma forrageira, por ela ser considerada de baixa tolerância ao efeito dos sais, quando

submetida ao estresse salino ocorre inibição do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, sendo que a presença de sais tanto no solo quanto na água de irrigação provoca a redução no crescimento das plantas, e até mesmo a morte delas. Essa redução no crescimento é consequência das modificações no potencial hídrico, na nutrição mineral, fechamento de estômatos e eficiência fotossintética.

A água aplicada na irrigação durante o experimento foi monitorada quanto à composição química. Para tanto, a cada dois meses durante o período da pesquisa, foram coletadas amostras de água proveniente de um poço tipo Amazona distante 80 m da área experimental, que passaram por análise no LIS/CTRN/UFCG, sendo obtidos os dados médios de composição química da água dispostos na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização da água utilizada na irrigação do experimento. Santa Luzia, PB, 2015.

Amostras	pH	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	Sulfatos	RAS	CEa	Classe
		mmol/L ⁻¹									dS	m ⁻¹
1	7,48	2,21	2,98	8,44	0,56	0,64	3,25	11,47	Presença	5,31	1,37	C ₃ S ₂
2	7,41	7,44	13,44	28,50	0,09	1,82	12,92	37,10	Presença	8,82	4,83	C ₄ S ₃
3	7,50	4,25	9,52	21,15	0,88	0,62	11,75	25,70	Presença	8,06	3,75	C ₄ S ₃
4	7,48	3,39	7,68	22,06	0,88	0,84	10,19	24,75	Presença	9,38	3,15	C ₄ S ₃

pH da água; CEa: condutividade elétrica da água; e RAS: razão de adsorção de sódio. Fonte: Silva (2017).

O pH da água acima de 7 pode ser indicador do risco de entupimento do sistema de irrigação. Ao analisar a Tabela 3, é possível visualizar uma alteração na classificação da água utilizada na irrigação da palma, que passa de C3 para C4. No entanto, os padrões de qualidade da água variam para cada tipo de uso. A água C3 não pode ser usada em solos cuja drenagem seja deficiente, enquanto C4, não é apropriada para irrigações corriqueiras representando alto risco de salinidade, porém pode ser usada em circunstâncias muito especiais, tais como solos muito permeáveis e plantas altamente tolerantes aos sais.

5.1.2.3. Seleção dos Cladódios e Sistema de Plantio

As variedades Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (*Opuntia*), IPA – Sertânia ou Baiana (IPA) e Miúda ou Doce (MIU) (*Nopalea*) foram escolhidas por serem resistentes a cochonilha do carmim e as mais difundidas na região da pesquisa (SENAR, 2013).

Os cladódios basais (raquetes) utilizados na implantação da pesquisa foram obtidos junto aos produtores rurais do município de Santarém – PB, em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA). Na seleção do material, optou-se por cladódios uniformes isentos de infestações de pragas e doenças, a exemplo da cochonilha-de-escamas (*Diaspis echinocact*). Após a triagem, os cladódios permaneceram em ambiente aberto com luminosidade reduzida durante sete dias, para desidratação parcial e cicatrização das lesões provocadas por ocasião do corte (SILVA, 2017).

Após este período, procedeu-se o plantio dos cladódios seguindo a recomendação de Suassuna (1993), para tanto, o material propagativo foi disposto nos sulcos de plantio, com inclinação de 45° e 50% do cladódio enterrado em alinhamento bilateral, Figura 3.



Figura 3. Vista da área com experimento em instalado em campo e sistema de plantio. Santa Luzia-PB.

5.1.2.4. Condução da pesquisa

Para o monitoramento do balanço hídrico no solo, a pesquisa foi conduzida através do manejo com irrigação deficitária, sendo que a umidade do solo era elevada à capacidade de campo somente a cada sete dias, salientando-se que, a palma é uma

planta altamente eficiente no uso da água e bastante resistente ao déficit hídrico (ALVES *et al.*, 2007; PEREIRA *et al.*, 2017). As plantas foram distribuídas em campo de forma que cada parcela analisada foi constituída de uma fileira dupla de plantas com espaçamento de 0,4 m entre fileira dupla, 2,0 m entre fileiras e 0,25 m entre plantas, num total de 40.000 plantas por hectare, Figura 4.

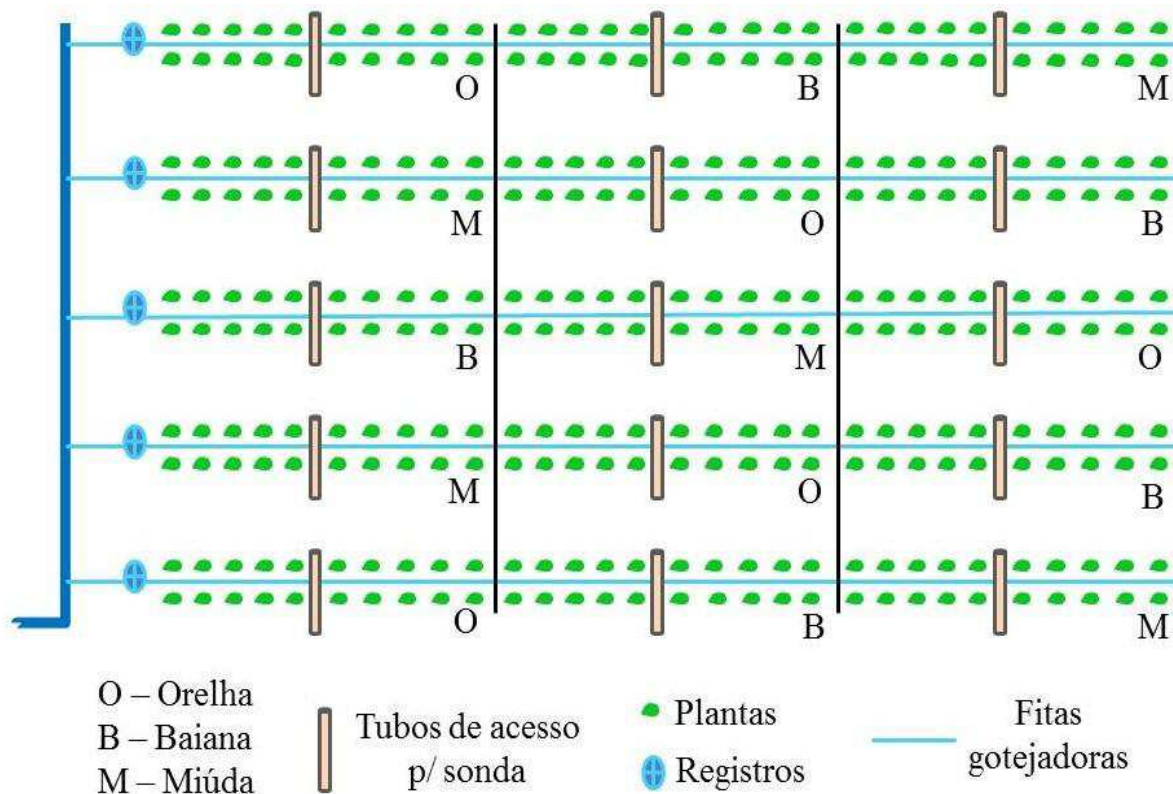


Figura 4. Croqui da área experimental em condições de campo. Santa Luzia-PB.

A partir da análise de fertilidade do solo foi feita adubação orgânica com 1 kg de esterco bovino por metro linear. Seguindo recomendação de Santos *et al.* (2006), também foi realizada adubação fosfatada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e potássica com 65 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando 200 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP) e 108,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) como fontes destes nutrientes. A adubação nitrogenada com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N), utilizando 333,33 kg ha⁻¹ de uréia como fonte de N, disponibilizada via fertirrigação mensalmente, por meio de um injetor de fertilizante Venturi parcelada em 6 meses.

5.1.2.5. Sistema de irrigação

Para o estudo foi escolhido o sistema de irrigação por gotejamento, constituído de fitas gotejadoras, modelo Tiquira da Petroisa® com espessura da parede de 0,2 mm, diâmetro interno de 16 mm, espaçamento de 0,20 m entre gotejadores, pressão nominal de 7,0 m.c.a; vazão de 6,0 L h⁻¹ m⁻¹, equação do emissor $q = 0,46 \times p^{0,5}$, sendo a eficiência de aplicação do sistema de 95 %. A água para irrigação foi pressurizada de um poço amazonas distando 80 m da área da pesquisa. O sistema de irrigação pressurizado por meio de um conjunto motobomba centrífuga de 3 Cv. Para impossibilitar o acesso de partículas em suspensão no sistema e evitar a obstrução dos emissores, e assim, foi instalado no recalque, um filtro de disco de 2 polegadas e malha de 120 mesh, nas linhas laterais foram instalados manômetros do tipo Bourdon e no início da área experimental um hidrômetro para a quantificação do volume de água aplicada durante a condução do experimento.

As irrigações aconteceram uma vez por semana e o manejo conduzido com base na umidade do solo. Para reposição da umidade do solo, foi quantificada a lâmina líquida de irrigação (LL) em mm, conforme equação 1 a seguir:

$$LL = \frac{\theta_{CC} - \theta_{atual}}{10} * Z * \frac{PAM}{100} \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

LL - Lâmina líquida de irrigação, mm;

θ_{CC} - Umidade na capacidade de campo em cm³cm⁻³ (obtida a partir da curva de retenção de água no solo);

θ_{atual} - A umidade atual, no momento da irrigação, em cm³cm⁻³ (obtida por meio de uma Sonda de Capacitância FDR);

Z - Profundidade efetiva da zona radicular da planta, em cm (para a palma forrageira considerou-se Z=20 cm);

PAM - Percentagem de área molhada. Seguindo recomendação de Mantovani *et al.* (2012), com PAM= 0,34, menor valor para regiões semiáridas.

A lâmina bruta de irrigação (LB) em mm calculada a partir da eficiência de aplicação do sistema (para gotejamento, $E_a = 0,95$), em decimal com base na equação 2:

$$LB = \frac{LL}{Ea} \quad \text{eq. 2}$$

O tempo de irrigação (T_i) necessário para reposição da umidade do solo calculado a partir da lâmina bruta (LB) em mm; e da intensidade de aplicação do sistema de irrigação (I_a), em mm h^{-1} , através da equação 3:

$$T_i = \frac{LB}{I_a} \quad \text{eq. 3}$$

A intensidade de aplicação dos emissores do sistema de irrigação (I_a), em mm h^{-1} ; seguiu recomendação de Mantovani *et al.* (2012) com a equação 4

$$I_a = \frac{N_e * q}{A} \quad \text{eq. 4}$$

Em que:

N_e - Número de emissores (no caso deste experimento, um emissor por planta);

q - Vazão dos emissores, em L h^{-1} (no caso do experimento, $1,21 \text{ L h}^{-1}$);

A - Área ocupada por planta (para o espaçamento em fileira dupla utilizado, $2,0 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}$, a área ocupada por cada planta foi $A = 0,40 \text{ m}^2$).

5.1.2.6. Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo feito por meio de uma Sonda de Capacitância FDR - Frequency Domain Reflectometry, um sensor Profile Probe type PR2/6 acoplado a um Datalogger HH2 Moisture Meter, ambos fabricados pela Delta-T Devices, Figura 5.



Figura 5. Monitoramento do conteúdo de água no solo por meio da Sonda de Capacitância FDR. Santa Luzia-PB.

Para realização das avaliações de umidade volumétricas foram instalados três tubos de acesso em cada linha gotejadora, num total de quinze tubos, em que o acompanhamento da umidade do solo foi efetuado a cada sete dias nas profundidades de 0,0-0,30 m, possibilitando análise do consumo hídrico da cultura entre cada período de avaliação.

Para obter a umidade do solo pelo método da sonda FDR foi preciso uma calibração prévia do equipamento, que seguiu a metodologia de (LIMA *et al.*, 2017), por meio de leituras da umidade do solo com a sonda, e em seguida, determinada a umidade do solo pelo método padrão de estufa. A calibração obtida por secamento do solo, partindo do solo saturado até o momento em que a umidade do solo se manteve constante. A calibração da sonda pelo método padrão demonstrou um bom ajuste para solo de textura franco arenosa, obtendo um coeficiente de determinação acima de nove, como mostra a equação de calibração da sonda FDR pelo método gravimétrico (estufa padrão) para o solo da área da pesquisa em Santa Luzia-PB.

$$\begin{aligned} \theta E &= 1,1957 * \theta S - 0,0561 \\ R^2 &= 0,94 \end{aligned} \qquad \text{eq. 5}$$

θE - Umidade do solo na estufa, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θS - Umidade do solo na sonda FDR, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

5.1.2.7. Componentes do balanço hídrico no solo

O balanço hídrico no solo foi realizado por meio da determinação dos componentes que representam as entradas e saídas de água no solo. Para tanto, considerou-se como limite superior a superfície do solo e como limite inferior a profundidade do sistema radicular da palma de 0,20 m, em vista que, a maior concentração de raízes da palma forrageira reside nas camadas mais superficiais do solo, entre 0,10 e 0,20 m (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Assim sendo, baseou-se em um volume de controle limitado à profundidade de 0,30 m, para realização do balanço. O balanço de água no solo foi conduzido em intervalos de 7 dias, estabelecendo 25 períodos até o final do experimento.

O balanço hídrico em determinado volume de solo e em um período de tempo é descrito pela equação a seguir (LIBARDI, 2005).

$$\Delta A = P + I \pm Q \pm R - ET \quad \text{eq. 6}$$

Em que:

ΔA - Variação da água disponível no solo, em mm;

P - Precipitação (P), em mm;

I - Lâmina de irrigação, em mm;

Q - Fluxo vertical de água no solo, em mm;

R - Escoamento superficial, em mm;

ET - Evapotranspiração da cultura, em mm.

Com base nos componentes do balanço hídrico, a ET é obtida como termo residual da equação 6, por meio da equação 7:

$$ET = P + I \pm Q \pm R - \Delta A \quad \text{eq. 7}$$

A precipitação (P) foi acompanhada por meio de um pluviógrafo automatizado, pertencente à Estação Meteorológica Automática, instalada na área da pesquisa, de modo que as leituras foram armazenadas em um sistema de aquisição de dados (modelo CR 1000, Campbell Scientific Inc., USA). A irrigação (I) aplicada de acordo com a lâmina e turno de rega fixo. Em decorrência do solo da área experimental apresentar baixa declividade, os ganhos e perdas de água por escoamento superficial (R) foram desprezíveis.

A variação no armazenamento de água no perfil do solo (ΔA) até 0,30 m de profundidade adveio da diferença entre as armazenagens de água no solo nos tempos inicial (A_I) e final (A_F) de cada período considerado e expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = [\theta_F - \theta_I] L = A_F - A_I \quad \text{eq. 8}$$

O fluxo de água no solo (Q) mm dia^{-1} é representado pelas perdas de drenagem profunda ($-Q$) e/ou ganhos ascensão capilar ($+Q$). Com o conhecimento da condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$) mm dia^{-1} , e do gradiente de potencial total da água no solo ($\Delta\psi_t/\Delta z$), é possível determinar o fluxo (Q) com base na equação proposta por Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005).

$$Q = -K(\theta) \frac{\Delta\psi}{\Delta z} \quad \text{eq. 9}$$

Com base nos potenciais totais de água nas profundidades ψ_t 0,10 m, ψ_t 0,30 m e Δz igual a 0,20 m, o gradiente de potencial total de água no solo ($\Delta\psi_t/\Delta z$) foi obtido por meio da seguinte equação:

$$\frac{\Delta\psi}{\Delta z} = \frac{\psi_t \text{ 0,10 m} - \psi_t \text{ 0,30 m}}{\Delta z} \quad \text{eq. 10}$$

Sendo ψ_t equivalente ao potencial total de água no solo ($\psi_t = \psi_m + \psi_g$). O potencial gravitacional ψ_g é igual à profundidade z , no entanto, o potencial matricial ψ_m definido por meio da equação de Van Genuchten (1980), equação 11, através dos dados da curva de retenção de água no solo.

$$\psi_m = \frac{1}{\alpha} \left(\left(\left(\frac{\theta_A - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^{-\frac{1}{m}} - 1 \right)^{1/n} \right) \quad \text{eq. 11}$$

$$\text{Sendo: } m = 1 - \frac{1}{n}$$

Na qual:

θ_A - É o conteúdo atual de água no solo em ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_r - É o conteúdo residual de água no solo em ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

θ_s - É o conteúdo de água no solo na saturação em ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

α , m e n são parâmetros de ajuste da equação.

A curva característica de retenção de água no solo se deu em laboratório para tensões correspondentes a 10, 30, 100, 500, 1.000 e 1.500 kPa. A partir dela definiu-se a umidade de saturação em $0,40 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e a umidade na capacidade de campo em $0,29 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ para um potencial de água no solo de 30 kPa, Figura 6.

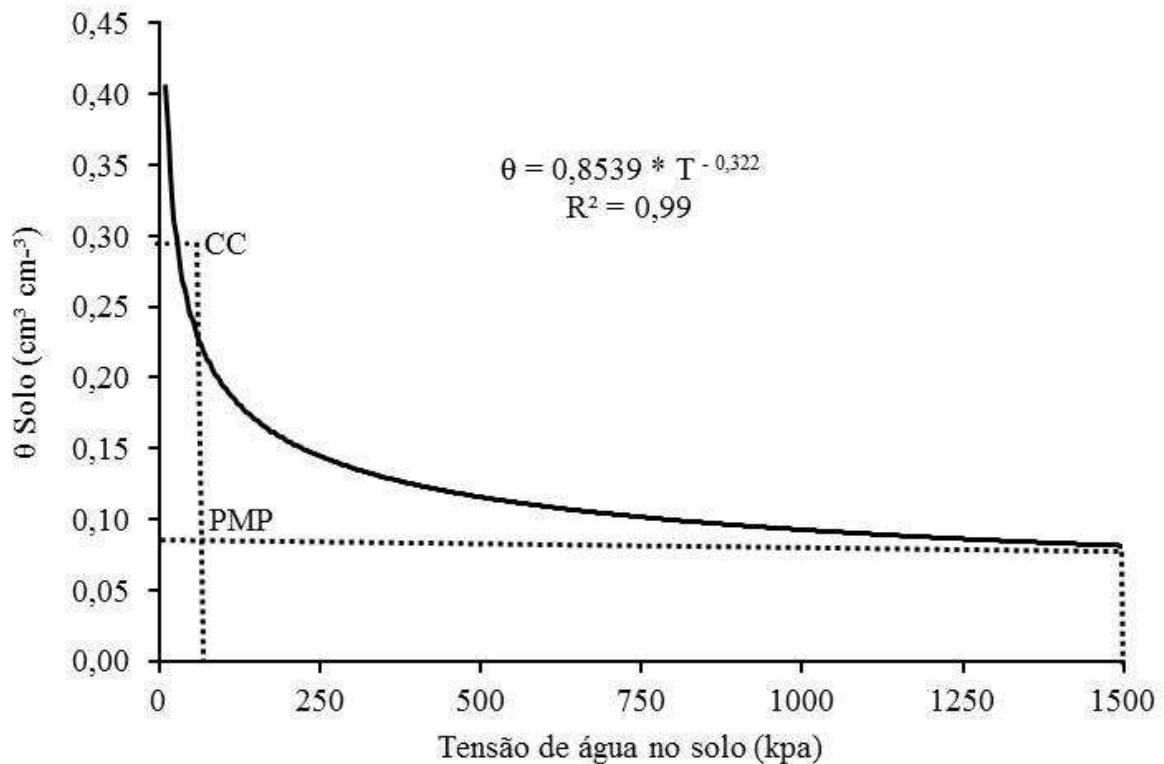


Figura 6. Curva de retenção da água no solo, em que se definem a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) para um perfil de 0-20 cm de solo da área experimental em Santa Luzia-PB.

A condutividade hidráulica do solo não saturada $K(\theta)$ alcançada por meio da equação de Van Genuchten (1980), equação 12.

$$K(\theta) = K_s * S_e^{0,5} \left[1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad \text{eq. 12}$$

$$\text{Com: } S_e = \frac{\theta_A - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

Sendo:

K_s – Condutividade hidráulica a saturação do solo ($540,8 \text{ mm d}^{-1}$);

S_e – Umidade efetiva.

Para condutividade hidráulica do solo saturado (K_s), foi admitido o valor de $540,8 \text{ mm d}^{-1}$ sugerido por Guimarães (2017) na mesma área da pesquisa por meio do método inverso de Auger-Hole, também conhecido como o método de “Porchet”, indicado para áreas em que o lençol freático encontra-se em grandes profundidades ou ausente.

5.1.2.8. Determinação dos coeficientes sob condições de estresse hídrico

Ao longo do balanço hídrico, determinou-se o fator de depleção de água no solo (f), o coeficiente de estresse hídrico (K_{se}) e o coeficiente da cultura (K_c), segundo a metodologia proposta por (ALLEN *et al.*, 1998), com as equações 13 e 14. O fator de depleção f representa a fração máxima da Capacidade de Água Disponível (CAD) que pode ser utilizada pela cultura antes da irrigação sem que se configure um déficit hídrico. Esta fração define a água facilmente disponível do solo para as plantas, também chamada déficit máximo.

$$\left(\frac{\theta_a - \theta_{PMP}}{\theta_{CC} - \theta_{PMP}} \right) \geq f \rightarrow K_{se} = 1 \quad \text{eq.13}$$

$$\left(\frac{\theta_a - \theta_{PMP}}{\theta_{CC} - \theta_{PMP}} \right) < f \rightarrow 0 < K_{se} < 1 \quad \text{eq. 14}$$

Em que:

θ_a - Conteúdo atual de água no solo antes das irrigações, cm^3/cm^3 ;

θ_{CC} - Conteúdo atual de água no solo na capacidade de campo, cm^3/cm^3 ;

θ_{PMP} - Conteúdo atual de água no solo no ponto de murcha permanente, cm^3/cm^3 ;

f - Fração de depleção de água no solo, adimensional;

K_{se} - Coeficiente de estresse hídrico, adimensional.

O valor do coeficiente de estresse hídrico (K_{se}) resulta da comparação entre armazenamento atual de água no solo e a capacidade total de armazenamento de água. Seu valor, a cada intervalo de 7 dias, encontrado pela equação 15.

$$K_{se} = \frac{(ADT - DUR)}{(ADT - AFA)} \quad \text{eq.15}$$

Em que:

K_{se} - Coeficiente de estresse hídrico, adimensional ($1 \geq K_{se} \geq 0$);

ADT – Água disponível total para as plantas na zona radicular, mm;

DUR - Depleção da umidade na zona radicular, mm;

AFA - Água facilmente aproveitável pelas plantas, mm.

Conhecendo os componentes do balanço hídrico do solo, equação 7, ao se determinar a Evapotranspiração da Cultura sob condições de estresse hídrico no solo, ($ET_{C_{se}}$), em mm, deve-se incorporar o fator K_{se} como uma fração do Coeficiente de cultivo, assim:

$$ET_{C_{se}} = (K_{se} * K_C) * ET_0 \quad \text{eq. 16}$$

Para estimativa da evapotranspiração de referência diária (ET_0) utilizou-se o método de Penman-Monteith como recomenda a FAO (ALLEN *et al.*, 1998). Os valores diários de temperaturas, umidade relativa do ar, irradiação solar, precipitação, pressão e velocidade do vento a 2 m foram coletados da Estação Meteorológica automática (modelo CR 1000, Campbell Scientific Inc., USA), instalada próximo à área do experimento. Explicitando o valor de K_C na equação 16 por meio da equação 17 tem-se:

$$K_C = \frac{ET_{C_{se}}}{K_{se} * ET_0} \quad \text{eq.17}$$

Em que:

K_{se} - Coeficiente de estresse hídrico, adimensional;

$ET_{C_{se}}$ - Evapotranspiração da Cultura sob Estresse ($ET_{C_{se}}$).

5.1.3. Resultados e Discussão

5.1.3.1. Determinação do fator de depleção f e do coeficiente de estresse hídrico K_{se}

Durante todo o período de irrigação o fator de depleção de água no solo foi alto, chegando a 0,89; 0,84 e 0,82 nas variedades de palma orelha de elefante, miúda e baiana, respectivamente. No período de precipitação, esses valores diminuíram para

próximos de zero, evidenciado que nesses dias a umidade do solo estava muito próxima à capacidade de campo e o estresse hídrico não afetou o crescimento e desenvolvimento das plantas. Os menores valores da depleção de água no solo (f) foram: 0,01; 0,05 e 0,06 para as variedades orelha de elefante, baiana e miúda, como mostra a Figura 7. Com efeito, o coeficiente f não pode ser maior do que 1, o que pressupõe que haverá retirada de água do solo abaixo do ponto de murcha permanente (PMP), o que causará estresse hídrico à plântula ou prejudicará o processo de germinação.

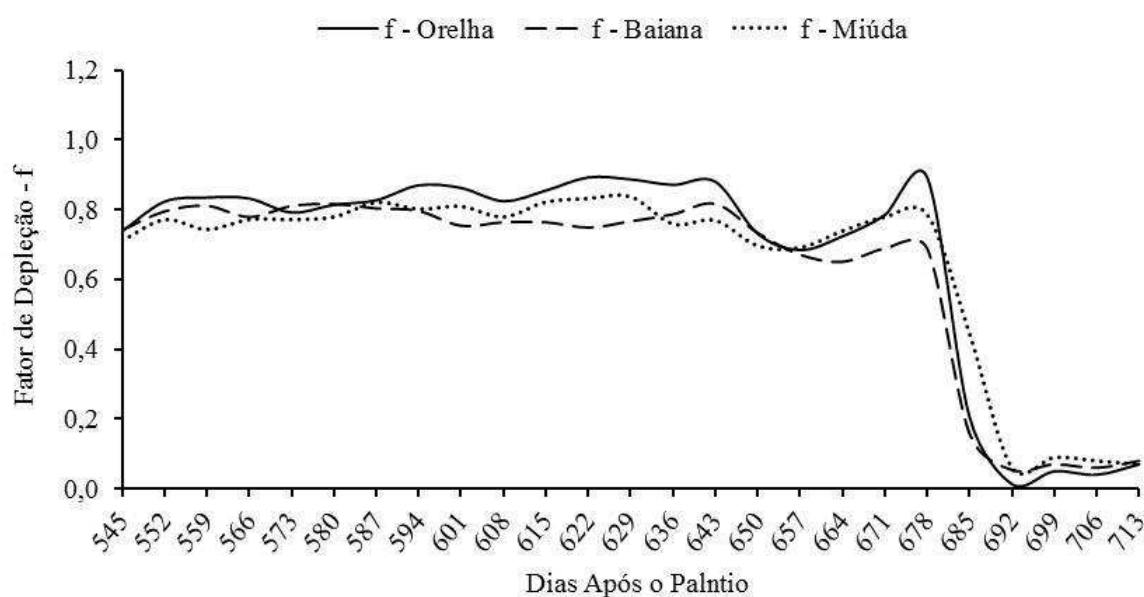
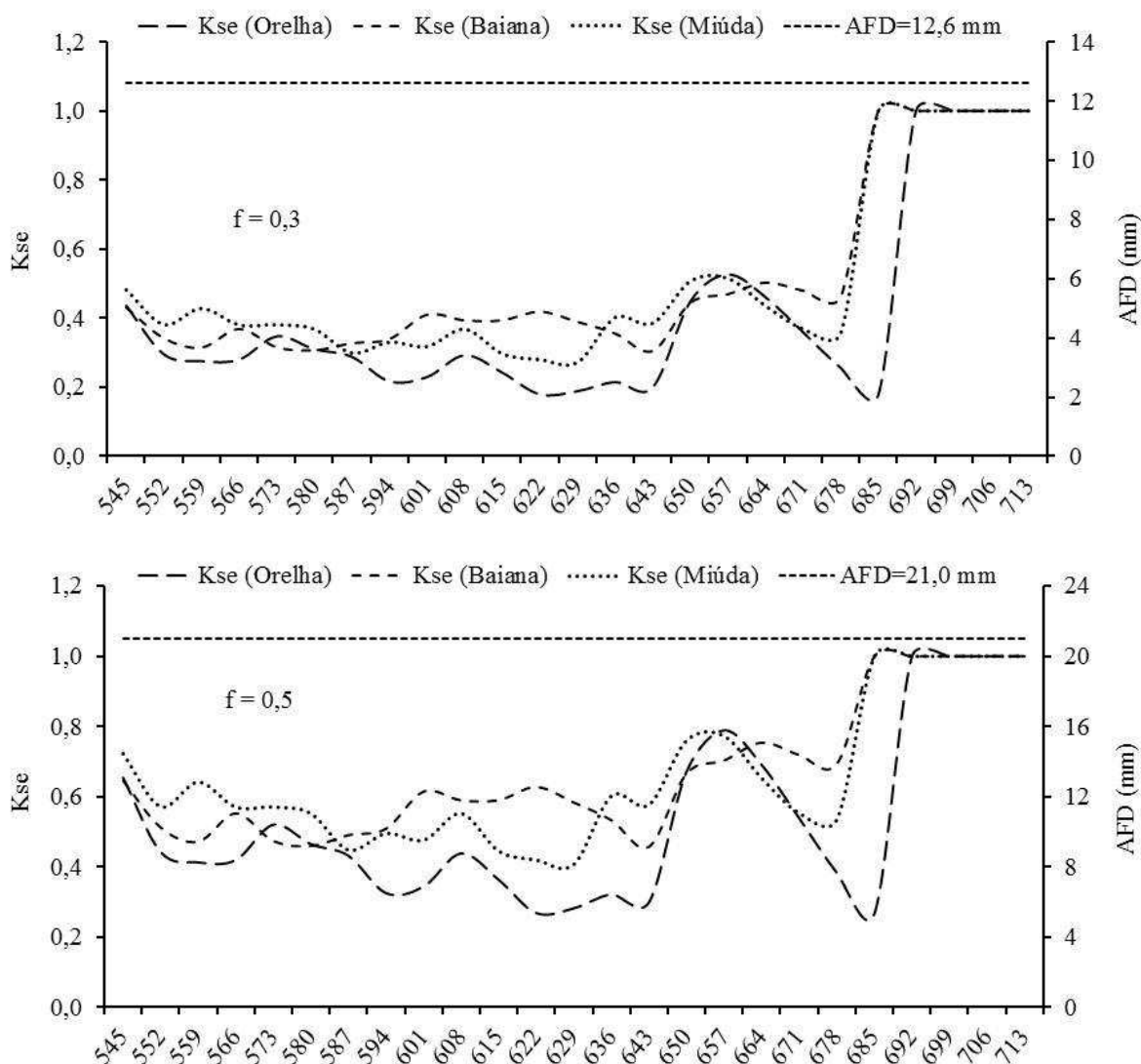


Figura 7. Valores do fator de depleção de água no solo cultivado com palma forrageira, variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB.

Os valores do fator de depleção, normalmente, variam de 0,30 para plantas de raízes pouco profunda e altas taxas de ET_c a 0,70 ou mais para plantas de raízes profundas e baixas taxas de ET_c , considerando que valores entre 0,30 e 0,50 são empregados em um grande número de culturas (ALLEN *et al.*, 1998). A profundidade média dos sistemas radicular das variedades estudadas, medida em campo, foi em média de 0,20 m, confirmando a mesma profundidade efetiva do sistema radicular da palma forrageira ($Z = 0,20$ m) encontrada por Teles *et al.* (2002). A palma forrageira quando irrigada em regiões semiáridas com pequenos volumes de água e com grandes intervalos entre irrigações, em geral, sofre estresse hídrico, tornando necessário o aumento dos níveis de reposição de água, de modo que promova melhor desenvolvimento à planta (PEREIRA *et al.*, 2015; SEIXAS *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

Para o turno de irrigação de sete dias simularam-se três condições para o fator de depleção f , para chegar ao coeficiente de estresse K_{se} , considerando f igual a 0,30 recomendado para plantas de sistema radicular pouco profundo, f igual a 0,50, cujo valor de depleção é comumente utilizado para uma grande variedade de cultivos e f igual a 0,80 cujo valor é recomendado por Allen *et al.* (1998) para a cultura do sisal (*Agave sisalana*), planta cultivada em regiões semiáridas e com baixas taxas de evapotranspiração, Figura 8.



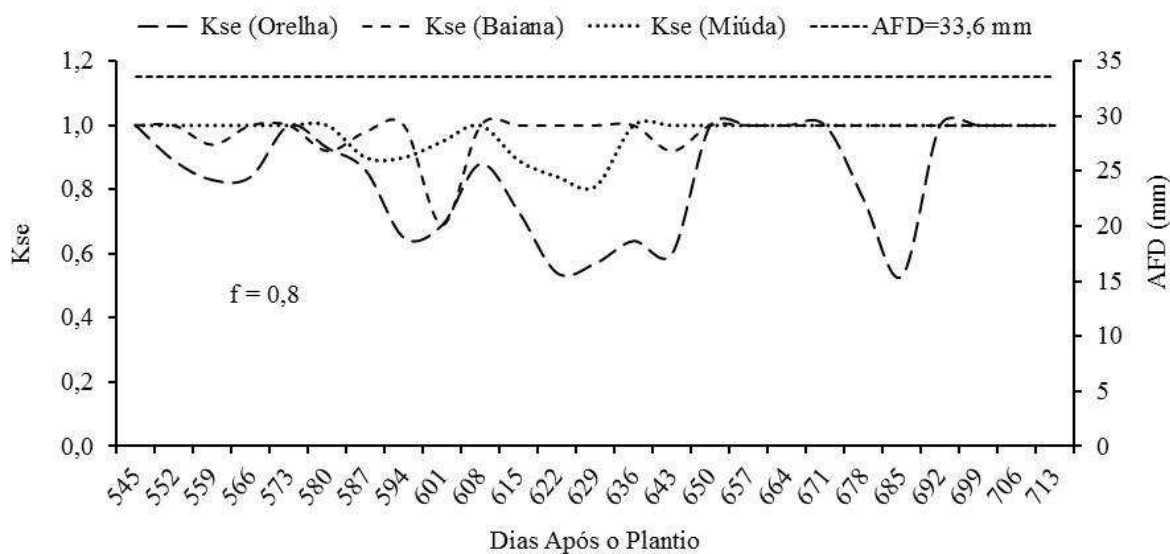


Figura 8. Água Facilmente Disponível (AFD) e Coeficiente de Estresse (K_{se}) em função do fator de depleção, $f=0,3$; $0,50$ e $0,80$, do solo cultivado com plantas de palmas forrageiras variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB.

Quando se estipulou um fator de depleção f igual a $0,30$ com água facilmente disponível igual a $12,60$ mm e f igual a $0,50$ com água facilmente disponível igual a $21,0$ mm, Figura 8, observou-se ao longo do balanço hídrico que todas as variedades de palma forrageira estudadas sofrem com estresse hídrico ($K_{se} < 1$), sendo mais evidente na variedade orelha de elefante quando o valor do K_{se} para $f = 0,30$ chegou a $0,15$ enquanto que nas variedades baiana e miúda foram iguais a $0,26$. No período chuvoso entre os dias 692 e 713 DAP não ocorreu estresse hídrico e os valores de K_{se} foram iguais a 1, Figura 8.

Contudo, o valor de f igual a $0,80$ é adequado para a cultura da palma manejada com turno de irrigação elevado. Embora tenha ocorrido estresse em algumas datas, ainda assim, foram menores quando comparados aos de f igual a $0,30$ e $0,50$, respectivamente. Os menores valores de K_{se} , para $f = 0,8$, foi $0,53$; $0,69$ e $0,81$ para as variedades orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente, Figura 8. Assim, pode-se afirmar que, no manejo da irrigação da palma forrageira, com turno de irrigação fixo igual ou superior a 7 dias, condições da presente pesquisa, ao se estipular valores do fator de depleção entre $0,30$ e $0,50$, em geral, a planta sofrerá estresse.

No manejo da irrigação, quanto menor for o fator de depleção, menos energia é despendida pelas plantas para absorção de água. Sobre esse ponto, Rios *et al.* (2014) estudando o fator de depleção f em mamoneira irrigada, encontraram que, a maior

produtividade ocorreu quando o fator de depleção (f) foi igual a 0,28 (tensão de 15 kPa) e a menor quando o fator de depleção (f) foi igual a 0,83 (tensão de 75 kPa). Entretanto, os pesquisadores Vieira *et al.* (2015) não recomendam irrigar a cultura da cana-de-açúcar com f igual a 0,30, visto que, o consumo de água aumenta em 20% se comparado ao f igual a 0,50 e não se obtém aumento da produtividade de colmos e de açúcares; com o valor de f entre 0,50 e 0,70 pode-se atingir produtividades satisfatórias de colmos e açúcares. Os valores do fator de depleção de água no solo, encontrados no presente estudo estão coerentes para uma planta CAM cultivada no semiárido. Apesar da importância da palma, são escassas pesquisas estudando o fator de depleção para a cultura.

5.1.3.2. Determinação da ETr sob estresse hídrico

Após a realização do balanço de água no solo contabilizou-se os valores de precipitação (P), acumulada a cada 7 dias, os valores de lâminas de irrigação, aplicados após a leitura da umidade do solo via Sonda de Capacitância FDR, a variação da umidade do solo entre leituras da sonda, até a profundidade estabelecida de 20 cm, a evapotranspiração real da cultura (média de 7 dias), para as variedades de palma forrageira orelha de elefante, baiana e miúda irrigadas e fertilizadas com 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicados via fertirrigação, Tabela 4. Sob condições de restrição de umidade do solo e com a determinação de K_{se} , a evapotranspiração real recebeu a denominação de Evapotranspiração da cultura sob estresse (ET_{se}). Os valores de evapotranspiração real médios diários estão discutidos na Tabela 4 e os acumulados a cada 7 dias na Figura 9.

Tabela 4. Média diária, em mm, da evapotranspiração real da palma forrageira, variedades orelha de elefante (OE), baiana (BA), e miúda (MI), resultante do balanço hídrico no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB.

DAP	P (mm)	I(mm)	$\pm\theta$ (mm)			ETr média diária (mm)		
			OE	BA	MI	OE	BA	MI
545	0,0	4,2	-15,7	-15,6	-14,4	2,24	2,23	2,06
552	0,0	4,4	-3,6	-2,2	-2,5	1,10	0,91	0,96
559	0,4	5,5	-0,5	-0,7	1,2	0,69	0,71	0,46
566	0,8	5,4	0,1	1,4	-1,2	0,83	0,66	1,01
573	0,0	4,7	1,7	-1,3	0,0	0,64	1,07	0,87
580	0,0	4,1	-0,9	-0,2	-0,3	0,80	0,70	0,71
587	0,0	4,5	-0,6	0,5	-1,7	0,66	0,51	0,83
594	0,0	4,5	-1,8	0,3	0,8	0,90	0,60	0,53
601	0,0	6,5	0,3	1,8	-0,3	0,60	0,39	0,69
608	0,0	6,4	1,6	-0,4	1,3	0,70	0,99	0,74
615	0,0	6,6	-1,3	0,0	-1,8	1,10	0,91	1,17
622	0,0	6,7	-1,6	0,6	-0,4	1,16	0,84	1,00
629	0,0	5,9	0,2	-0,7	-0,2	0,91	1,06	0,99
636	3,7	6,4	0,7	-0,8	3,3	0,74	0,96	0,37
643	7,0	6,8	-0,4	-1,3	-0,4	1,49	1,61	1,50
650	0,0	6,2	6,3	3,5	3,1	1,07	1,46	1,53
657	4,7	4,7	2,0	0,6	0,2	0,61	0,80	0,86
664	0,0	4,7	-1,7	0,9	-2,0	1,59	1,23	1,63
671	0,0	6,1	-2,6	-0,6	-1,7	1,03	0,74	0,90
678	1,6	5,6	-2,6	-0,4	-0,3	1,24	0,93	0,91
685	56,3	0,0	-2,0	0,8	0,5	1,30	0,87	0,96
692	28,3	0,0	36,9	27,3	28,7	2,73	3,91	3,80
699	30,1	0,0	-8,3	-12,7	-8,3	5,21	5,84	5,16
706	2,4	0,0	-21	4,0	-5,0	4,60	3,71	5,01
713	15,5	0,0	-11,6	-11,4	-6,3	2,00	1,97	1,24
						35,94x7	35,63x7	35,88x7
Σ	150,8	109,6	-7,2	-6,9	-8,0	=251,7	=249,6	=251,2

P - Precipitação acumulada no período de 7 dias; I - Irrigação aplicada ao solo após a leitura da sonda; $\pm\theta$ – Variação da Umidade do solo entre leituras da sonda.

A precipitação total durante a pesquisa foi de 150,8 mm, distribuída de forma irregular, concentrada nos meses de fevereiro e março, volume que representa 33,8 % da precipitação média anual da região. Houve baixos índices pluviométricos entre 636 e 664 dias após o plantio, período compreendido entre os meses de dezembro de 2016 e janeiro de 2017, no entanto, a precipitação atingiu seu maior valor 56,3 mm, no vigésimo primeiro período, entre 14 e 20/02/2017, Tabela 5.

O volume de água fornecido à cultura, tanto por meio da irrigação como através da precipitação foi o mesmo para todas as variedades de palma pesquisadas. O total de água aplicado à cultura foi de 260,4 mm, somando o volume aplicado via irrigação

109,6 mm ao volume precipitado 150,8 mm. O maior volume de água aplicado em um evento de irrigação foi de 6,65 mm, no décimo segundo período, aos 622 dias após o plantio.

Ao longo do período estudado houve variação de umidade, sendo o somatório dessa variação com valores negativos em todas as variedades, indicando que a água proveniente das precipitações mais as irrigações ficaram no solo após o balanço hídrico nas variedades orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente. No dia 545 DAP, 27 de setembro de 2016, a evapotranspiração média diária foi 2,24; 2,23 e 2,06 para as variedades orelha de elefante, baiana e miúda, provavelmente, por causa da água residual existente no solo antes da primeira leitura do balanço.

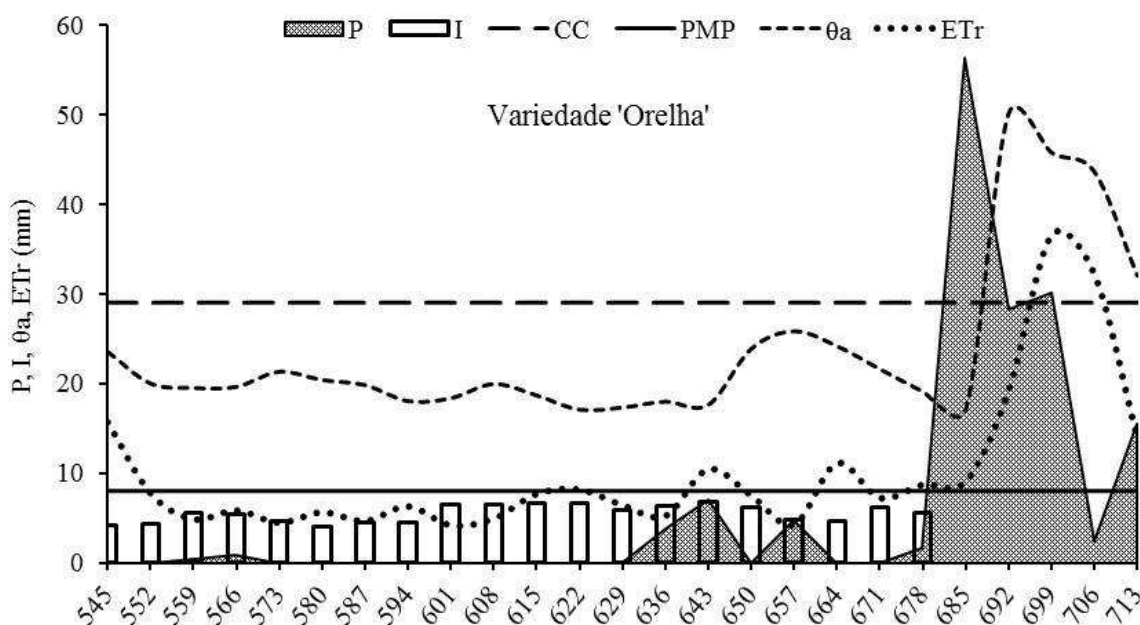
As menores evapotranspirações reais ocorreram entre os dias 559 e 608 após o plantio, período sem precipitações, no entanto, os maiores valores de evapotranspiração foram registrados no início do período chuvoso da região, chegando acima de 5 mm dia⁻¹, em todas as variedades no 699 DAP. O somatório de água drenada no período de 545 a 713 DAP foi pequeno com relação aos demais componentes do balanço, chegando aos ínfimos valores de 0,35; 2,16 e 1,62 mm para variedades orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente. Os valores totais de água evapotranspirada no período (ΣE_{Tr}) foram muitos próximos para as variedades estudadas, na ordem de 251,7; 251,2 e 249,6 mm para a orelha de elefante, miúda e baiana, Tabela 4. É preciso considerar que foram aplicadas as mesmas lâminas de água, precipitação mais irrigação para todas as variedades.

O volume de água fornecido à cultura nesta pesquisa foi inferior aos volumes aplicados por Queiroz *et al.* (2015), Silva (2017) e Rocha *et al.* (2017) ao estudarem a palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, aplicando lâminas de irrigação somadas à precipitação para 12 meses de cultivo. É importante destacar que, o período de estudo para esta pesquisa foi apenas seis meses. No entanto, Oliveira *et al.* (2010) ressaltam que, as regiões com precipitações acima de 1000 mm ano⁻¹ favorecem a redução na produtividade da cultura em função do excesso hídrico local, no entanto, em regiões como a da pesquisa em questão, onde a precipitação média foi de 446 mm, é indispensável a irrigação.

A palma forrageira não necessita de muita umidade no solo por longo espaço de tempo. Bajgain *et al.* (2015) afirmam que, o excesso de água impede o desenvolvimento das plantas, sobretudo, em espécies cactáceas em que a baixa exigência hídrica faz com

que o solo mantenha sua umidade por períodos mais prolongados. Fato ratificado por Queiroz *et al.* (2015) que aplicando lâminas de irrigação superiores à faixa de 1048 e 1096 mm, notaram que, o incremento da disponibilidade hídrica do solo não contribuiu para o aumento significativo no desenvolvimento vegetativo da palma forrageira.

Na Figura 9, é possível observar que, na maior parte do tempo durante a análise do balanço hídrico, a água armazenada no solo antes do início das irrigações (θ_a) sempre foi superior ao limite PMP e inferior ao limite de CC, para todas as variedades de palma analisadas. No entanto, no período chuvoso o θ_a permaneceu elevado devido ao acúmulo de água no solo promovendo a elevação do lençol freático, momento da suspensão das irrigações. A variação de armazenamento de água no solo também foi alterada pelo volume das precipitações, uma vez que, é dependente da quantidade de água aplicada, das condições meteorológicas, da topografia local, dos aspectos físicos do solo e da cobertura vegetal (ARAÚJO PRIMO *et al.*, 2015; MEI *et al.*, 2019). De acordo com Cui *et al.* (2018), em regiões semiáridas a θ_a é bastante vinculada a entrada de água no solo e por sua saída através da evapotranspiração. As linhas paralelas contidas na figura 9 representam os valores de armazenagem de água do solo na CC e PMP, 29,0 e 8,1 mm, respectivamente.



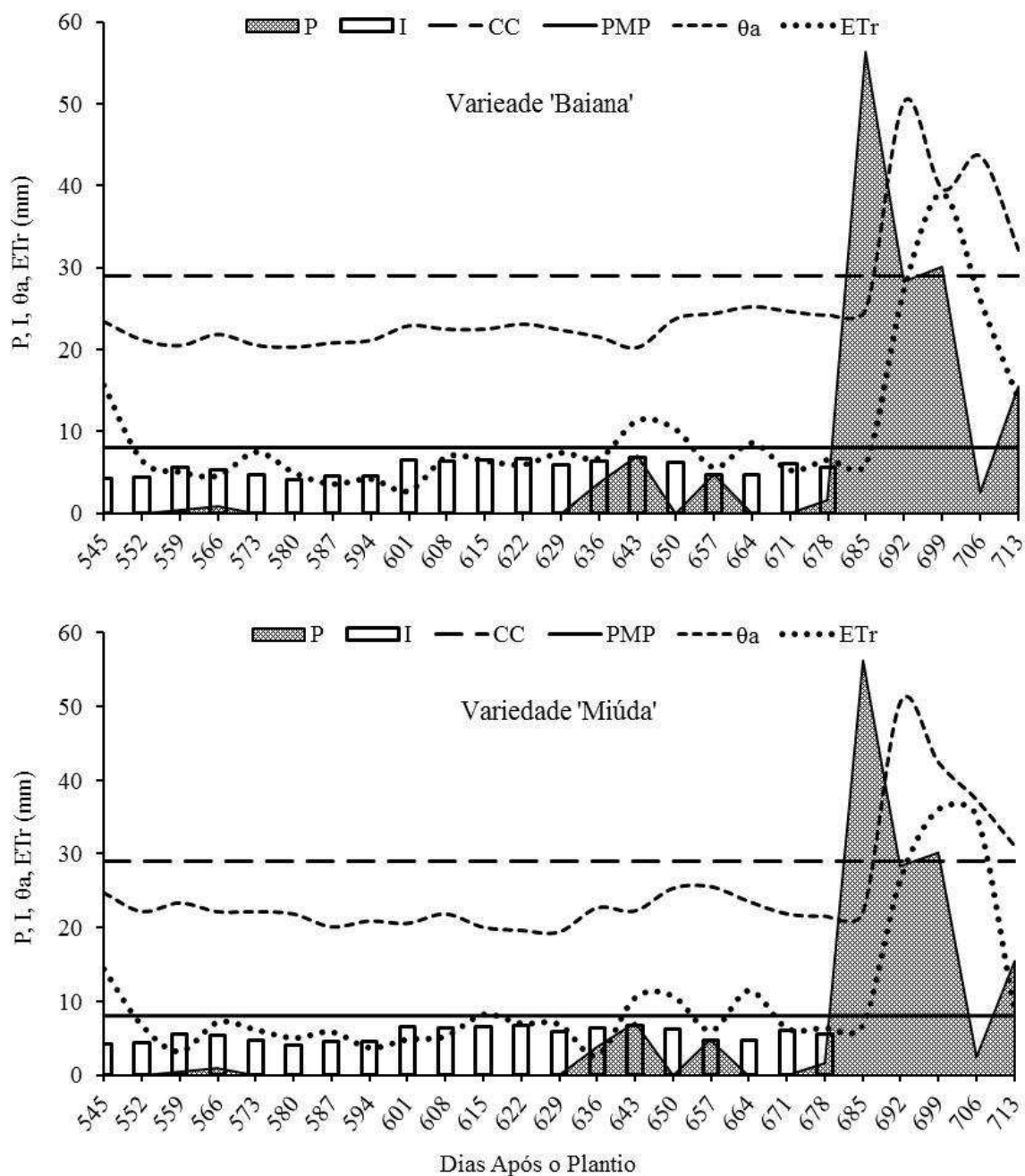


Figura 9. Armazenamento de água no solo θ_a , entre os limites de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PMP) e Evapotranspiração Real no período de 7 dias, da palma forrageira variedades orelha de elefante, baiana e miúda no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB.

A Evapotranspiração real ETr aumentou com a elevação do lençol freático, proporcionado pela ocorrência de precipitações no final do período do balanço em todas as variedades estudadas, vide Figura 9. No período chuvoso, especificamente no dia 669 após o plantio, ocorreram os maiores valores de ETr durante o balanço, que foram: 40,9; 36,5 e 36,0 mm para a baiana, orelha de elefante e miúda, enquanto que os menores

valores de ETr registrados durante o período de irrigação, com valores de: 2,6; 2,7 e 4,2 mm para a miúda, baiana e orelha de elefante, respectivamente, Figura 9. Os valores elevados de ETr são observados quando a umidade do solo é elevada, devido a relação direta entre o volume de água aplicada e a evapotranspiração (MACHADO *et al.*, 2015).

Os valores da ETr acumulada e diária (250 e 1,4 mm) no presente trabalho, estão bem próximos dos reportados por Pereira *et al.* (2017) que, estudando as espécies *Opuntia* e *Nopalea*, obtiveram uma ETr acumulada para *Opuntia* de 379 mm, equivalente à média de 1,5 mm dia⁻¹ para um período de 252 dias, com acúmulo do volume aplicado de 494 mm com intervalo entre os turnos de rega de sete dias. Valores semelhantes foram citados por Han & Felker (1997) em estudo com a mesma espécie no Texas, EUA, determinando uma ETr média de 1,53 mm dia⁻¹, quando o volume de água acumulado foi de 883 mm.

Diferindo dos resultados desta pesquisa, Alves *et al.* (2019) determinaram o valor de evapotranspiração acumulada de 1020,3 mm, com a lâmina de 100% da ETo, obtendo o valor de ETr diária de 3,5 mm dia⁻¹. Valores superiores também foram encontrados por Lima *et al.* (2018), em sistema consorciado palma-sorgo com lâmina de irrigação de 809 mm, e ETr de 1070 mm.

Em trabalho realizado com a mesma cultura e nas condições semiáridas para um ciclo de 380 dias, Queiroz *et al.* (2016) identificaram ETr acumulativa de 985,77 mm, e média de 2,59 mm dia⁻¹, aplicando um volume de 1048 mm. O valor de ETr média igual a 1,4 mm d⁻¹, encontrado nesta pesquisa é inferior ao de Silva *et al.* (2015) que trabalhando com plantas do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, observaram ETr acumulativa de 1214,2 mm, com uma média diária de 2,4 mm dia⁻¹ em 499 dias de cultivo em experimento realizado em Serra Talhada, PE. Mas, vale lembrar que a presente pesquisa foi conduzida num período de 180 dias e em uma região com média de precipitação anual muito baixa.

Embora outros trabalhos reportem valores superiores para a palma forrageira, mesmo assim, a ETr média diária dessa espécie ainda é baixa, quando comparada com outras culturas (QUEIROZ *et al.*, 2016). Para Silva *et al.* (2014), esse baixo valor da ETr atribui à palma forrageira maior equilíbrio na produção de forragem durante os períodos de escassez hídrica. Entretanto, os valores de ETr diária 1,4 mm d⁻¹ encontrados nesta pesquisa são próximos aos valores de ETr 1,2 mm d⁻¹ observados por Silva *et al.*, (2014) para a forrageira braquiária.

Consoli *et al.* (2013) reportam taxas médias diárias de 2,5 mm de evapotranspiração, valores bem superiores aos da presente pesquisa, quando o acumulado da evapotranspiração foi de 1329 mm. Estes resultados ratificam que, as taxas de evapotranspiração das espécies CAM são inferiores às das plantas C3 e C4 devido à prioridade na assimilação de CO₂ durante a noite, quando a demanda atmosférica é baixa (SILVA *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

5.1.3.3. Determinação do coeficiente de cultivo sob estresse hídrico

Sob condições de restrição hídrica no solo, foram determinados os coeficientes de cultura Kc para cada variedade de palma analisada. Os valores de Kc encontrados foram abaixo do ideal em todas as variedades estudadas, chegando a 0,06; 0,11 e 0,12 no dia 559 DAP nas variedades miúda, baiana e orelha de elefante, respectivamente. Durante todo o período, os valores Kc médio obtidos foram, 0,31; 0,27 e 0,27 para a orelha de elefante, a baiana e a miúda. No entanto, durante o período chuvoso os valores de Kc em todas as variedades foram superiores a 1, chegando a 1,46; 1,30 e 1,29 nas variedades baiana, orelha de elefante e miúda, 699 DAP, Figura 10.

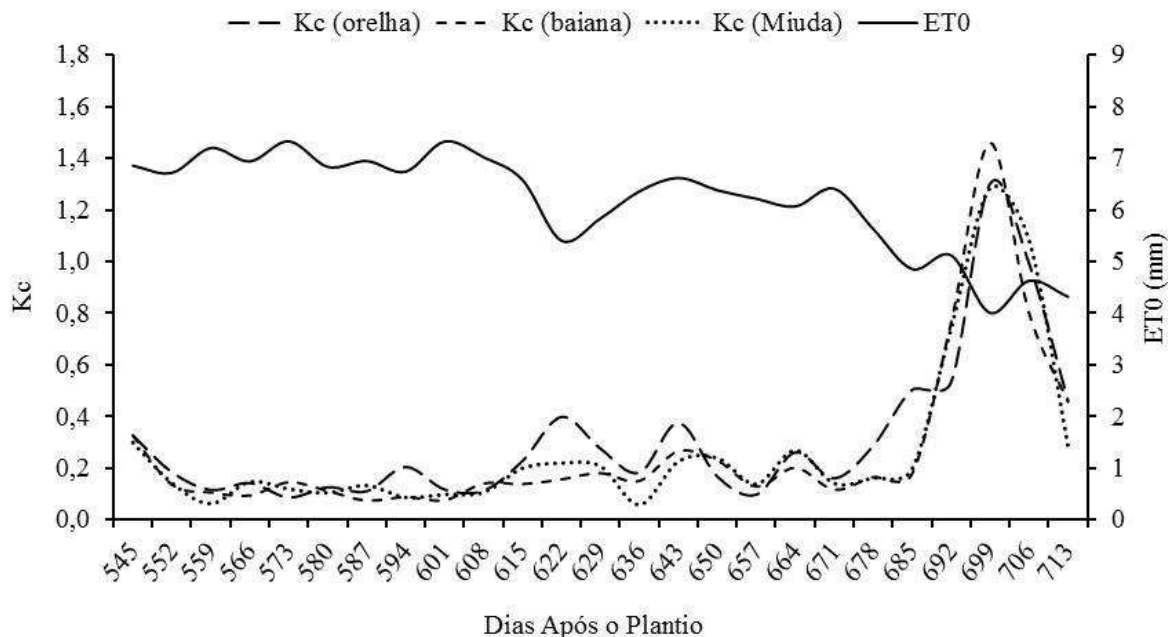


Figura 10. Coeficiente de Cultura (kc) de palmas forrageiras variedades orelha de elefante, baiana e miúda em função da Evapotranspiração de Referência (ET₀) e da Evapotranspiração Real sob estresse (ET_{se}) no período de 27 de setembro de 2016 a 21 de março de 2017. Santa Luzia-PB.

Os valores de Kc encontrados nessa pesquisa são inferiores aos da literatura. No entanto, o método de determinação da ET_c sob restrição hídrica pode ter influenciado na obtenção dos valores de Kc. Para cultivo de palma frutífera, com dez anos de idade, Consoli *et al.* (2013) obtiveram Kc médio de 0,40, Queiroz *et al.* (2016) encontraram Kc igual a 0,52 para a variedade orelha de elefante, durante o segundo ciclo produtivo da cultura. Arba *et al.* (2016), recomendam que, para o manejo de cultivos de palma do gênero *Opuntia* com fins à produção de frutos, deve-se adotar um Kc igual a 0,7. Por lisímetria, Dinvincula *et al.* (2019) encontraram o coeficiente de cultivo Kc médio de 0,72; 0,84 e 0,48 pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e FAO-Radiação, respectivamente. Em todas as pesquisas citadas, as plantas foram cultivadas com solo próximo a capacidade de campo. Os baixos valores de Kc encontrados na presente pesquisa são devidos aos baixos teores de umidade do solo antes das irrigações, que aconteciam a cada 7 dias.

O valor máximo de ET₀ foi de 7,33 mm d⁻¹, nos 573 DAP, e o menor de 4,01 mm d⁻¹, nos 699 DAP, com valor médio de 6,2 mm d⁻¹. Houve uma redução da ET₀ entre 671 e 713 DAP quando as temperaturas foram mais amenas devido ao período de precipitação. Em estudos realizados por Dinvincula *et al.* (2019) e Ferreira Júnior *et al.* (2006) no estado de Alagoas, Nordeste Brasileiro, foram determinadas

evapotranspiração de referência (ET_0) máxima de 7,44 e 7,06 mm d^{-1} e mínima de 3,03 e 0,75 mm d^{-1} respectivamente, com média de precipitação anual de 800 mm. Cavalcante Junior *et al.* (2010), chegaram a ET_0 média ao longo do ano em Mossoró-RN, região semiárida, cujos valores variaram entre 4,1 e 7,5 mm d^{-1} , enquanto que Borges Junior e Pinheiros (2019) encontraram para a região de Petrolina-PE, um valor médio anual para ET_0 de 7,5 mm d^{-1} . Assim, os valores de ET_0 do presente estudo estão coerentes com os encontrados na literatura para regiões com as mesmas condições climáticas.

5.1.4. Conclusões

Durante o período do balanço hídrico, 180 dias, os valores de evapotranspiração real sob estresse (E_{Tr}) da palma forrageira foram acima dos 250 mm com médias diárias de 1,4 mm para todas as variedades analisadas.

A média diária da evapotranspiração de referência (ET_0) 6,17 mm d^{-1} , determinada pelo método de Penman-Monteith, está coerente para regiões de clima semiárido.

O valor de depleção f , igual a 0,8 é adequado para as variedades de palma forrageira estudada, manejada com turno de irrigação de 7 dias sob estresse hídrico, entre as variedades estudadas, a orelha de elefante apresentou maior consumo.

A baixa umidade do solo devido aos elevados intervalos das irrigações influenciou na obtenção de baixos valores de coeficiente de cultivo (K_c) das variedades de palma orelha de elefante, baiana e miúda, uma vez que, o parâmetro está relacionado diretamente com a evapotranspiração da cultura (ET).

5.1.5. Referências Bibliográficas

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711–728, 2014.

ALVAREZ, H. R. El Valle de Mezquital, México: **Estudo de caso VII**. 1997. Disponível em: <http://www.cepis.opsoms.org>. Acesso em: 13 jan. 2018.

ALLEN R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 297p (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; CRUZ NETO, J. F.; SANTOS, J. P. A. S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v. 27, n. 2, p. 347-356, 2019.

ALVES, R. N.; FARIAS, I.; MENEZES, R. S. C.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. dos. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 38-44, 2007.

ARBA, M.; FALISSE, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; SINDIC, M. Effects of irrigation at critical crop stages on fruit yield and quality of cactus pear (*Opuntia* spp.). **Scientific Journal of Crop Science**, v. 5, n. 3, p. 73- 81, 2016.

ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20-29, 2015.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, n. 1, p. 127-134, 2018.

BAJGAIN, R.; KAWASAKI, Y.; AKAMATSU, Y.; TANAKA, Y.; KAWAMURA, H.; KATSURA, K.; SHIRAIWA, T. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy fields with excess water during the early growth stage. **Field Crops Research**, v.180, p.221-227, 2015.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; PINHEIRO, M.A.B. Daily Reference Evapotranspiration Based on Temperature for Brazilian Meteorological Stations. **J. Irrig. Drain Eng.**, v. 145, n. 12, 2019.

CAVALCANTE JUNIOR, E.G.; ALMEIDA, B.M; OLIVEIRA, A.D de ; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; ARAÚJO, E.M. de; VIEIRA. R.Y.M.; Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN . **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.2, p.87-92, 2010.

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. **J. Irrig. Drain Eng.**, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.

CUI, Z.; LIU, Y.; JIA, C.; HUANG, Z; ELE, H.; HAN, F.; SHEN, W.;WU, G. L. Soil water storage compensation potential of herbaceous energy crops in semi-arid region. **Field Crops Research**, v. 223, p. 41-47, 2018.

DAMASCENO, M. M.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C. Etnoconhecimento de espécies forrageiras no semi-árido da Paraíba, Brasil. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 219 -228, 2010.

DIVINCULA, J.S.; SILVA, C.B. da; SANTOS, M.A.L.; SANTOS, D. P. dos; SANTOS, L.W. Crop coefficient and water requirement of prickly pear in the Agreste region of Alagoas state, Brazil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.23, n.12, p.925-929, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353p.

FERRAZ, R. L. S. **Palma forrageira fertirrigada no semiárido brasileiro: estimativa meta-analítica da produção, estado nutricional e composição bromatológica**. 2018. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; CAMPOS, A. M. V.; SANTOS, M. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, R. C; BRITO, J. E. D.; SILVA, P. B.; COSTA, C. T. S. Estimativa da evapotranspiração de referência pela radiação solar global na região de Arapiraca-AL. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais CBMET**, 2006.

GUIMARÃES, J. P. **Dinâmica da drenagem em solos da caatinga em uso com palma forrageira irrigada e culturas de subsistência**. 2017. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2017.

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, n. 1, p. 133-148, 1997.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, SP: EDUSP - Editora da Universidade de São Paulo, 2005, 335 p.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; QUEIROZ, M. G.; TOBOSA, J. B. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018.

LIMA, A. S.; DANTAS NETO, J.; MATOS, R. M.; SILVA, P. F.; SABOYA, L. M. F.; LIMA, V. L. A. Determinação da capacidade de campo *in situ* por diferentes métodos em neossolo do semiárido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1598-1605, 2017.

MACHADO, C. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M.; SOUZA, E. S.; RIBEIRO, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 731- 740, 2015.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 3. ed. atual e ampliado. 2012. 355 p.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. S.; PIRES NETO, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos.

Cadernos de Ciências Agrárias, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MEI, X.; MA, L.; ZHU, Q.; LI, B.; ZHANG, D.; LIU, H.; ZHANG, Q.; GOU, Q.; SHEN, M. The variability in soil water storage on the loess hillslopes in China and its estimation. **Catena**, v. 172, p. 807-818, 2019.

MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a *Brachiaria brizantha* pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**. v. 66, n. 2, p. 206-213, 2011.

MORAIS, J. E. F. de; SILVA, T. G. F. da; QUEIROZ, M. G. de; ARAUJO, G. G. L. de; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273-278, 2017.

MORAES, J. G. de.; MARCIANO, C. R.; AMARAL, C. O.; SOUSA, E. F. de.; MARINHO, C. S. Balanço hídrico e coeficiente de cultura da laranjeira ‘Folha Murcha’ no Noroeste Fluminense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 241-249, 2015.

MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; BRITO, A. S.; LOBATO, M. G. R.; ALENCAR, T. L.; FREIRE, A. G.; LIMA JÚNIOR, J. C. Climatic and Soil Water Balances for the Melon Crop. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 2, p. 116-129, 2018.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G. de.; SILVA, B. B. da.; OLIVEIRA, L. M. M. de. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; ARAÚJO, A. M.; HAFLE, O. M.; PEREIRA JUNIOR, E. B. Densidade radicular da palma forrageira em diferentes espaçamentos. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 2, n. 1, p. 19-30, 2018.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P. da; ANDRADE FILHO, F. C. de; PEREIRA JUNIOR, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27-37, 2010.

PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F. da.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. da. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776 -785, 2017.

PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

QADER, S. H.; DASH, J.; ATKINSON, P. M. Forecasting wheat and barley crop production in arid and semi-arid regions using remotely sensed primary productivity and crop phenology: A case study in Iraq. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 250-262, 2018.

QUEIROZ, M. G. de.; SILVA, T. G. F. da.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SOUZA, C. A. A. de.; CARVALHO, H. F. de. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Irriga**, Edição Especial, p. 141-154, 2016.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. 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.

RIOS, G. F. A.; CARVALHO, L. G.; SILVA, B. M.; REZENDE, F. C.; PEREIRA, G. M. Tensões de água no solo no cultivo de mamoneira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 3, p. 287-293, 2014.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

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

SEIXAS, A. A.; GOMES, V. M.; SERAFIM, V. F.; VIANA, W. A. Déficit hídrico em plantas forrageiras. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 24, n. 1, p. 1-14, 2015.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL- SENAR. **Palma forrageira: Cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro**. Coleção SENAR. Série II, Brasília, DF, 2013. 52p.

SILVA, P. F. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 68 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2017.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n. 2, p.10-18, 2015.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B. de.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F. de.; PEREIRA, P. de. C.; SOUZA, C. A. A. de. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015.

SILVA, R. A. B. da.; LIMA, J. R. de. S.; ANTONINO, A. S. D.; GODIM, P. S. de. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, n. 1, p. 147-157, 2014.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, S. M. S.; 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, n. 2, p. 184-191, 2014.

SOUZA, L. S. B. de.; MOURA, M. S. B. de.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015.

SOUZA, C. de.; ANDRADE, A. P. de.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO A. C. D.; SOUZA, E. S. de.; SILVA, I. F. da. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n.1, p. 3–10, 2013.

SUASSUNA, P. **Lucratividade da Cultura da Palma Forrageira na Paraíba**. 1993. Disponível em: < www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/sistprod.htm - 5k ->. Acesso em 18 de outubro 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TELES, M. M.; SANTOS, M. V. F. dos.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; BEZERRA NETO, E.; FERREIRA, R. L. C.; LUCENA, J. E. C.; LIRA, M. A. R. Efeitos da Adubação e de Nematicida no Crescimento e na Produção da Palma Forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante1. **Bras. Zootec.**, v.31, n.1, p.52-60, 2002

TWEED, S.; CELLE-JEANTON, H.; CABOT, L.; HUNEAU, F.; MONTETY, V. D.; NICOLAU, N.; TRAVI, Y.; BABIC, M.; AQUILINA, L.; VERGNAUD-AYRAUD, V.; LEBLANC, M. Impact of irrigated agriculture on groundwater resources in a temperate humid region. **Science of the Total Environment**, v. 613, n. 1, p. 1302-1316, 2018.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; LO MONACO, P. A. V. Lâminas de irrigação em cana-de-açúcar para diferentes condições de disponibilidade hídrica. **Irriga**, Edição Especial, p. 137-148, 2015.

VOLPE, M.; GOLDFARB, J. L.; FIORI, L. Hydrothermal carbonization of *Opuntia ficus-indica* cladodes: Role of process parameters on hydrochar properties. **Bioresource Technology**, v. 247, n. 1, p. 310-318, 2018.

6. CAPITULO 2

6.1. Consumo Hídrico e Exigência Térmica da Palma Forrageira em Ambiente Semiárido

Resumo: Um dos fatores ambientais que mais influenciam no desenvolvimento das plantas é a temperatura do ar, e na palma forrageira, os cladódios são as unidades fotossintetizantes, que são responsáveis pela produtividade da cultura. A adoção de práticas de manejo pode afetar a fenologia e, conseqüentemente, o potencial produtivo da palma forrageira. Apesar de ser considerada resistente ao estresse hídrico, faz-se necessário o conhecimento de parâmetros como a evapotranspiração da cultura (ETc) e o coeficiente de cultura (Kc) para o adequado manejo. Parar tanto objetivou-se com este estudo avaliar o consumo hídrico e estabelecer a exigência térmica de variedades de palma forrageira nas diferentes fases de desenvolvimento em ambiente semiárido. O experimento foi desenvolvido em condições de campo no município de Santa Luzia – PB, na Fazenda Poço Redondo distando 2 km da cidade. Para a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), foram utilizados três lisímetros de drenagem localizados no centro da área experimental. Cada lisímetro continha quatro plantas com características semelhantes e sob o mesmo sistema de manejo das plantas externas. Um quarto lisímetro foi utilizado com grama para determinar a evapotranspiração de referência ET_0 . Cada lisímetro representava uma área efetiva de evaporação de 1,17 m². Pela ordem de emissão dos cladódios juntamente com o somatório de graus dias foi possível determinar quatro fenofases da palma forrageira. Por meio da grama como cultura de referência foi determinado o valor da ET_0 de 7,2 mm d⁻¹. Os valores de evapotranspiração da cultura ETc e coeficiente de cultivo Kc, foram: 4,8; 4,8 e 4,6 mm dia⁻¹ e 0,72; 0,70 e 0,70, para as variedades orelha de elefante, baiana e miúda, respectivamente. A temperatura basal foi igual a 18 °C e a soma térmica acumulada no período foi superior a 4000 °C.

Palavras-Chave: Fases fenológicas, graus-dias, temperatura base, coeficiente de cultivo.

Water Consumption and Thermal Demand of Forage Cactus in Semi-arid Environment

Abstract: One of the environmental factors that most influence the development of plants is the air temperature, and in the forage palm, the cladodes are the photosynthesizing units being responsible for the productivity of the crop. The adoption of management practices can affect the phenology and, consequently, the productive potential of the forage palm. Although it is considered resistant to hydric stress, knowledge of parameters such as crop evapotranspiration (ET_c) and crop coefficient (K_c) is necessary for proper management. The purpose of this study was to evaluate the water consumption and to establish the thermal demand of fodder palm varieties in the different phases of development in a semi-arid environment. The experiment was developed under field conditions in the municipality of Santa Luzia - PB, at Poço Redondo Farm 2 km away from the city. For the determination of the crop evapotranspiration (ET_c), three lysimeters of drainage located in the center of the experimental area were used. Each lysimeters contained four plants with similar characteristics and under the same management system of the external plants. A fourth lysimeters was used with grass to determine ET₀ reference evapotranspiration. Each lysimeters represented an effective evaporation area of 1,17 m². By the order of cladodes emission together with the sum of degrees days it was possible to determine four phenophases of forage palm. The ET⁰ value of 7,2 mm d⁻¹ was determined by means of the grass as reference culture. The values of ET_c crop evapotranspiration and K_c crop coefficient were: 4,8; 4,8 and 4,6 mm day⁻¹ and 0,72; 0,70 and 0,70, for the elephant ear, baiana and chick varieties respectively. The basal temperature was equal to 18 °C and the accumulated thermal sum in the period was over 4000 °C

Keywords: Phenological phases, degree days, base temperature, cultivation coefficient.

6.1.1. Introdução

As condições edafoclimáticas do ambiente semiárido e as práticas de manejo adotadas afetam o desenvolvimento das plantas e sua fenologia e, conseqüentemente, a produtividade das culturas, não sendo diferente para as cactáceas, tais como a palma forrageira (AMORIM *et al.*, 2017).

O panorama de escassez hídrica na região semiárida do Brasil confirma a necessidade de cultivos com espécies adaptáveis às condições climáticas da Região, devido ao seu metabolismo ácido crassuláceo (CAM) que lhes confere elevada eficiência do uso da água, como as espécies de palma forrageira, *Opuntia* e *Nopalea* (BAYAR *et al.*, 2018). Por serem cactáceas, possuem como características relevantes, boa adaptação a regiões que apresentam déficit hídrico (SILVA *et al.*, 2015).

Para Marques *et al.* (2015), mesmo as espécies adaptadas as regiões com déficit hídrico necessitam de estudos que apontem o manejo de irrigação correto visando a reposição da necessidade hídrica das culturas nas diferentes fases fenológicas. Pereira *et al.* (2013) afirmam que, para o adequado manejo da irrigação torna-se necessário o uso de coeficientes, especificamente os de cultura (K_c) nas diversas fases determinados em função da evapotranspiração da cultura (ET_c) e da evapotranspiração de referência (ET_o), cujas estimativas permitem avaliar as quantidades de água a serem disponibilizadas aos cultivos.

Como a ET_o teoricamente só varia de acordo com as condições atmosféricas, por causa das características físicas da superfície de referência permanecerem constantes, são os valores de K_c que variam com as características da cultura (efeitos morfológicos, fisiológicos e fenológicos), particularizando seu consumo de água (PEREIRA *et al.*, 2013).

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), em seu boletim 56 (ALLEN *et al.*, 1998), sugere valores médios de K_c para diversas culturas ao longo do ano. Tal informação é o primeiro passo para o manejo racional da irrigação, entretanto, é notória a escassez de dados de pesquisas referentes a esses coeficientes, sobretudo, para as cactáceas, e principalmente para as cactáceas nas variedades de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana *Opuntia*. e Baiana e Miúda (*Nopalea cochenillifera*).

Existe uma grande diversidade de métodos que determinam a ETc, desde a razão de Bowen, o balanço hídrico, fluxo de seiva, o sensoriamento remoto até os lisímetros. Já o coeficiente de cultivo é um parâmetro relacionado aos fatores do ambiente e fisiológico da planta e para sua obtenção é mais comum os lisímetros (MEDEIROS *et al.*, 2004). De acordo com Marques *et al.* (2015), os lisímetros de drenagem podem fornecer estimativas confiáveis de Kc, permitindo a contabilização dos termos do balanço hídrico de forma precisa. Eles podem ser divididos por duas categorias: de pesagem e de drenagem.

O benefício do uso de lisímetros de drenagem em confronto ao uso do balanço hídrico no campo está relacionada a uma avaliação mais precisa do termo de fluxo de drenagem vertical, que pode ser medido diretamente ao isolar os fluxos subterrâneos laterais interferentes, dada a presença das paredes, e ao baixo custo de implantação do equipamento (SANTOS *et al.*, 2009).

De acordo com Rodrigues *et al.* (2013), uma outra maneira bastante requisitada para estimar o tempo necessário para atingir cada fase fenológica das culturas, o que contribui para estabelecer a duração de cada fase, é pelas unidades térmicas (graus-dia) ou exigência térmica da cultura, que representa a necessidade de energia acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta.

O conhecimento da necessidade hídrica e da soma térmica da palma forrageira pode auxiliar no planejamento de suas atividades agrícolas, como o plantio, consumo hídrico em cada fase de desenvolvimento, colheita e tratos culturais, assim como, indicar o potencial climático de uma região para seu cultivo.

Dada à relevância da temática, objetivou-se com este estudo avaliar o consumo hídrico e estabelecer a exigência térmica de variedades de palma forrageira nas diferentes fases de desenvolvimento em ambiente semiárido.

6.1.2. Material e Métodos

6.1.2.1. Localização e caracterização da pesquisa

O Estudo foi conduzido, em condições de campo, na fazenda Poço Redondo, localizada a aproximadamente 2 km do município de Santa Luzia, Paraíba, nas margens do riacho chafariz, Figura 11. As coordenadas geográficas do local são: “06° 51’ 30,3”

de latitude Sul e “36° 56’ 9,7” de longitude Oeste. O município está situado na Região Imediata de Patos, sob as coordenadas geográficas 06° 52’ 27” de latitude Sul e 36° 56’ 00” de longitude Oeste, a uma altitude média de 299 metros. Inserido na bacia hidrográfica do rio Piranhas, onde predomina o clima do tipo Bsh, quente seco, semiárido com chuvas de verão, conforme classificação climática de Köppen (ALVAREZ *et al.*, 2014). A pesquisa durou 12 meses, iniciada em Setembro de 2016 e finalizada em Agosto de 2017.

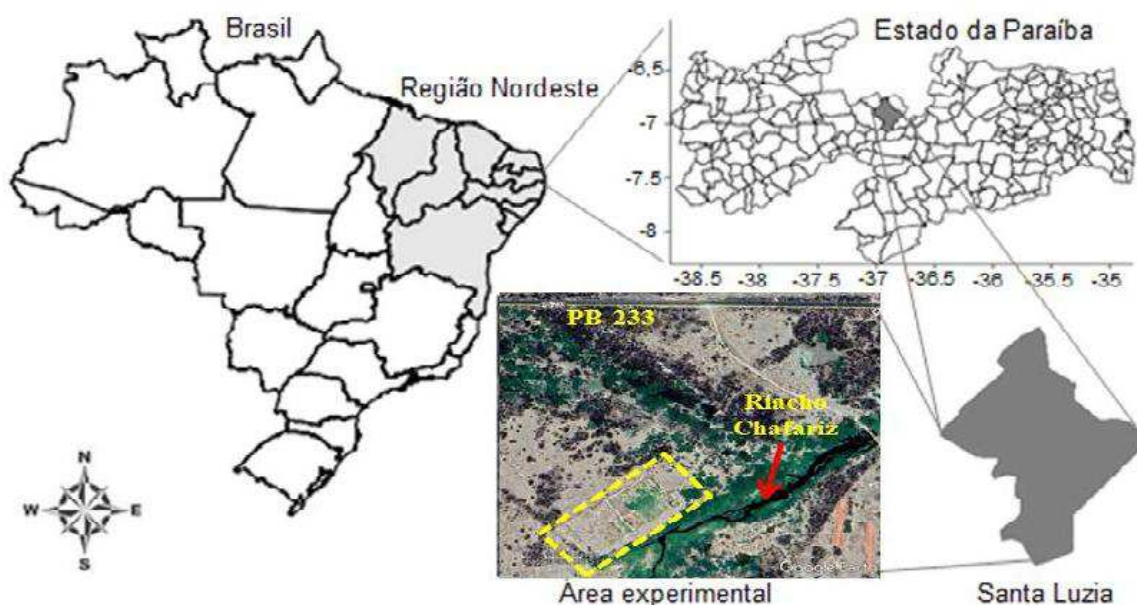


Figura 11. Localização da área experimental, fazenda Poço Redondo, município de Santa Luzia-PB. Fonte: (SILVA, 2017)

A média de precipitação da região é de 446,9 mm anuais, tendo como principal característica, a irregularidade das chuvas concentradas entre os meses de janeiro a maio. A temperatura média do município é de 27,6 °C, com máxima de 33,0 °C e mínima de 22,3 °C, e umidade relativa do ar variando entre 50 e 70% (SILVA, 2017). A vegetação predominante na área experimental é do tipo Caatinga-Seridó, subxerófila, constituída na sua maior parte por cactos e pequenas árvores ou arbustos, geralmente, espinhosos, formando agrupamentos densos em alguns pontos, e com árvores dispersas em outros pontos (DAMASCENO *et al.*, 2010). As variáveis meteorológicas como temperatura e umidade do ar foram monitoradas durante todo período da pesquisa e as médias mensais expressas em climograma conforme mostra a Figura 12.

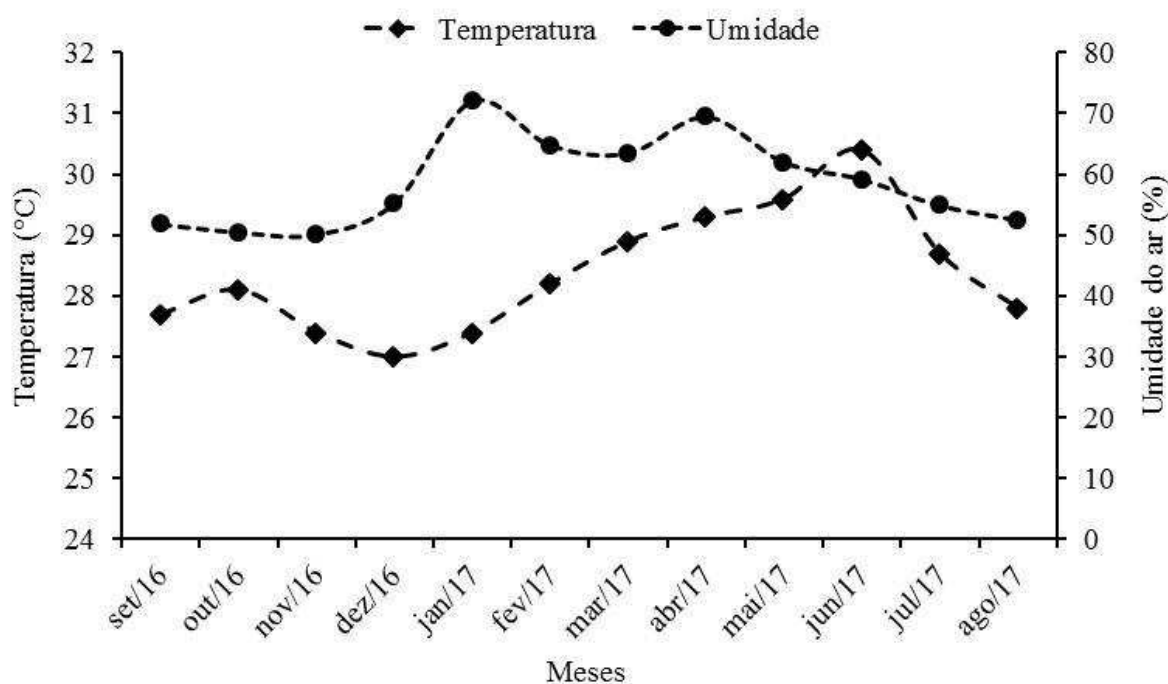


Figura 12. Climograma das variáveis meteorológicas registradas durante o período de condução do experimento. Santa Luzia, PB.

6.1.2.2. Caracterização do solo

O material de solo para preencher os lisímetros foi classificado como Neossolo Flúvico, de Textura Franco Arenosa, seguindo os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). Por meio da análise granulométrica determinaram-se os valores de 784,3; 178; 78,9 g kg⁻¹ para areia, silte e argila, respectivamente. A caracterização físico-hídrica do solo para a profundidade de 0,0 – 0,20 m estão na Tabela 5.

Tabela 5. Caracterização físico-hídrica do solo: umidade na capacidade de campo (CC), umidade no ponto de murcha permanente (pmp), água disponível (AD), densidade do solo (Ds), densidade das partículas do solo (Dp) e porosidade total do solo (Ptotal).

Profundidade	CC	PMP	Ds	Dp	Ptotal	AD
m	-----%-----		-----g cm ⁻³ -----		%	
0,0 – 0,20	24,8	5,4	1,56	1,39	44,23	10,4

CC – correspondente ao potencial matricial de 0,10 atm;

PMP – correspondente ao potencial matricial de 15 atm.

6.1.2.3. Confeção e manejo dos lisímetros

Para a determinação da evapotranspiração da cultura ETC, foram três lisímetros de drenagem localizados no centro da área experimental. Cada um com quatro plantas, com características semelhantes e sob o mesmo sistema de manejo das plantas externas. Um quarto lisímetro foi utilizado com grama para determinar a evapotranspiração de referência ET_0 , Figura 13.

As escavações para instalação dos lisímetros foram feitas manualmente, sendo o solo separado em camadas de 0,13 m até a profundidade das caixas. Cada camada de solo acondicionada em lona plástica e identificada para posterior reposicionamento no interior das caixas, visando atingir uma aproximação da condição original do solo, Figura 13.



Figura 13. Esquema da instalação dos lisímetros de drenagem para as cultivares de palma forrageira na área experimental. Santa Luzia-PB.

Foram confeccionados quatro lisímetros de drenagem com caixas de polietileno com diâmetros superior de 1,22 m e inferior de 0,95 m, com profundidade de 0,60 m,

com capacidade volumétrica de 554,5 L e área efetiva de evaporação de 1,17 m². Em um das arestas inferiores dos lisímetros, foi inserido um dreno de PVC, com diâmetro de 32 mm, conectado a um poço de observação e de coleta do volume drenado com 1,5 m de profundidade. Por meio deste poço, diariamente era captado e medido o volume de água percolado após a irrigação anterior, realizada para elevar o solo à capacidade de campo com um excedente de 15%, Figura 13.

Os lisímetros tinham um suave declive no sentido do dreno. Previamente ao enchimento, foi colocada uma camada de 0,10 m de brita nº 1 no fundo da caixa, revestida com uma manta geotêxtil (Bidim-RP07®). Em seguida, preencheu-se o volume dos lisímetros com as camadas de solo, respeitando a ordem inversa de retirada das mesmas na ocasião da escavação, conforme pode ser visualizado na Figura 13.

Os cladódios mãe foram obtidos de produtores rurais em municípios paraibanos, em parceria com o Instituto Nacional do Semiárido (INSA). As variedades de palma forrageira foram Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*), Baiana e Miúda (*Nopallea*), amplamente cultivadas no semiárido nordestino por serem resistentes a cochonilha do carmim.

6.1.2.4. Adubação dos lisímetros

A adubação nos lisímetros seguiu a recomendação de Santos *et al.* (2006) para a palma forrageira baseada na análise do solo. A adubação de fundação foi feita cinco dias antes do plantio dos cladódios mãe, aplicados o correspondente a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 65 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando 200 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP) e 108,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl) como fontes destes nutrientes. A adubação nitrogenada com de 150 kg ha⁻¹ de nitrogênio utilizando 333,33 kg ha⁻¹ de uréia como fonte de N.

Os cladódios mãe em uso, isentos de infestações de pragas e doenças, entre elas, a cochonilha-de-escamas, passaram pelo período de cura à sombra, quando o cladódio perde parte da umidade e ocorre a cicatrização das lesões provocadas pela operação de corte no campo. O período de cura foi de sete dias, em que se observou a perda de turgidez, ficando macia à compressão com os dedos e as lesões dos cortes cicatrizadas.

Os cladódios mãe foram dispostos nos lisímetros com alinhamento bilateral de frente para o sol (nascente) e enterradas 50% com inclinação de 45° (SUASSUNA, 1993). O plantio respeitou o espaçamento 0,25 m entre dentro de cada lisímetro.

6.1.2.5. Irrigação dos lisímetros

O manejo de irrigação feito pela estimativa da umidade do solo por meio de dados da sonda de capacitância, tipo FDR, na profundidade de 0,0 a 0,5 m, levando em consideração para efeito de irrigação à camada de 0,0 – 0,20 m. Para iniciar as avaliações, a sonda foi previamente calibrada para o solo da área por meio do método padrão da estufa. Em primeiro lugar, a umidade do solo foi elevada a capacidade de campo em todos os lisímetros. As medições da umidade do solo foram realizadas a cada sete dias, logo após, a partir das leituras da sonda se calculou a lâmina de irrigação para reposição do conteúdo de água no solo até a capacidade de campo CC para cada lisímetro. A reposição da água objetivando sempre proporcionar uma lâmina de drenagem correspondente a 15% (fração de lixiviação) da lâmina d'água aplicada, conforme (PEREIRA *et al.*, 2013). Os cálculos para obter o volume de água a ser repostos nos lisímetros seguiram as equações 18, 19 e 20.

$$LL = (\theta_{CC} - \theta_{at}) * Z \quad \text{eq. 18}$$

$$V = LL * A_L \quad \text{eq. 19}$$

$$V_R = V + (15\% * V) \quad \text{eq. 20}$$

Em que:

LL - É lâmina de irrigação (mm);

θ_{cc} - É a umidade na capacidade de campo média ao longo do perfil ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{at} - É a umidade atual média ao longo do perfil ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Z - É a profundidade da zona radicular (cm);

A_L - Representa a área do lisímetro (m^2);

V - O volume necessário para retornar à umidade do solo à capacidade de campo (L); e

V_R - O volume a ser repostos ao solo do lisímetro necessário para que ocorra a lixiviação (L).

Os dados de precipitação alcançados por meio da estação meteorológica instalada ao lado da área experimental. A aplicação do volume de reposição de água calculado de forma manual com o uso de um regador. A água drenada coletada por meio coletores de observação, sendo o volume drenado quantificado com provetas graduadas em ml. Este volume foi contabilizado como acúmulo de água entre a aplicação e a subsequente cessação da drenagem durante o período experimental.

De acordo com Pereira *et al.* (2013), os lisímetros de drenagem apresentam limitação na obtenção de dados diários de ET_c , sendo recomendados para períodos superiores a 10 dias.

6.1.2.6. Determinação dos parâmetros (ET_c , ET_0 , K_c)

A evapotranspiração da cultura (ET_c) determinada pela contabilidade das entradas e saídas de água nos lisímetros de drenagem, de acordo com a Equação 21.

$$ET_c = P + I - D \quad \text{eq. 21}$$

Em que:

ET_c – Evapotranspiração da cultura no período, mm lisímetro⁻¹;

I – Volume total de irrigação no período, mm;

P – Precipitação total no período, dentro do lisímetro, mm; e

D – Volume de drenagem no período, mm.

A evapotranspiração de referência ET_0 determinada por meio de lisímetro, tendo a grama como cultura de referência. Para tanto, a grama foi mantida cobrindo totalmente o solo, com altura entre 12 e 15 cm, sem restrição hídrica. Todas as entradas e saídas de água no sistema radicular foram contabilizadas e através da Equação 22 determinou-se a ET_0 em mm, considerando a precipitação (P), em mm, a irrigação (I), em mm, e a drenagem (D), em mm.

$$ET_0 = P + I - D \quad \text{eq. 22}$$

As estimativas dos valores dos coeficientes da cultura K_c para as variedades estudadas foram encontradas por meio da relação entre os valores da evapotranspiração da cultura ET_c medida no lisímetros, Equação 21, e a evapotranspiração de referência

ET_0 medida no lisímetro, Equação 22, de modo a obter valores de K_c para os diferentes estágios de desenvolvimento da cultura conforme Equação 23.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad \text{eq. 23}$$

Em que:

K_c – Coeficiente da cultura, adimensional;

ET_c – Evapotranspiração da cultura, em mm dia^{-1} e

ET_0 – Evapotranspiração de referência, em mm dia^{-1} .

6.1.2.7. Determinação das fenofases da cultura

Pela ordem de emissão dos cladódios juntamente com o somatório de graus dias foi possível determinar quatro fenofases da palma forrageira para 12 meses de cultivo (FV1, FV2, FV3 e FV4), conforme Tabela 6. Do plantio a emissão do cladódio de 2ª ordem, a cultura estava na fenofase um (FV1) do seu desenvolvimento vegetativo. O prolongamento da fase pode ser justificado pela planta constituir-se apenas do cladódio basal até a emissão do cladódio de primeira ordem. No período entre a emissão do cladódio de 2ª ordem e o de 3ª ordem, a cultura passou a fenofase dois (FV2). A fenofase três (FV3) se constituiu do intervalo entre a emissão do cladódio de 3ª ordem e o de 4ª ordem. A fenofase quatro (FV4) iniciou-se após a emissão do cladódio de 4ª ordem, se prolongando até o final da pesquisa, Tabela 6. É importante frisar que, nesta fase as plantas foram consideradas adultas, e que, após a emissão do cladódio de 4ª ordem, as plantas passaram a emitirem frutos.

Tabela 6. Fenofases de variedades de palma forrageira determinada com base na ordem de emissão dos cladódios e o somatório de graus dias para um período de 12 meses. Santa Luzia, PB.

Variedades	Fenofases	Estádios	Duração das fases (dias)	Graus dias	Kc	
Orelha	I	Estabelecimento	Do plantio a emissão do cladódio de 2ª ordem	1 a 71	835	0,78
	II	Vegetativo	Emissão do cladódio de 2ª ordem ao de 3ª ordem	72 a 121	1.383	0,72
	III	Floração	Emissão do cladódio de 3ª ordem ao de 4ª ordem	122 a 178	2.942	0,56
	IV	Frutificação	A partir da emissão do cladódio de 4ª ordem	179 a 365	4.471	0,65
Baiana	I	Estabelecimento	Do plantio a emissão do cladódio de 2ª ordem	1 a 70	823	0,74
	II	Vegetativo	Emissão do cladódio de 2ª ordem ao de 3ª ordem	71 a 119	1.373	0,59
	III	Floração	Emissão do cladódio de 3ª ordem ao de 4ª ordem	120 a 177	2.031	0,69
	IV	Frutificação	A partir da emissão do cladódio de 4ª ordem	178 a 365	4.471	0,69
Miúda	I	Estabelecimento	Do plantio a emissão do cladódio de 2ª ordem	1 a 70	823	0,73
	II	Vegetativo	Emissão do cladódio de 2ª ordem ao de 3ª ordem	71 a 118	1.363	0,54
	III	Floração	Emissão do cladódio de 3ª ordem ao de 4ª ordem	119 a 170	1.941	0,60
	IV	Frutificação	A partir da emissão do cladódio de 4ª ordem	170 a 365	4.471	0,69

Para caracterização das exigências térmicas da palma forrageira foi utilizado o somatório de graus dias (GD), conforme as equações 24, 25 e 26, propostas por Villa Nova *et al.* (1972), para as 4 fases fenológicas das variedades de palma forrageira.

$$GD_i = (T_m - T_b) + \frac{(T_M - T_m)}{2} \rightarrow \text{para } T_m > T_b \quad \text{eq. 24}$$

$$GD_i = (T_M - T_b)^2 + 2(T_M - T_m) \rightarrow \text{para } T_m < T_b \quad \text{eq. 25}$$

$$GD_i = 0 \rightarrow \text{para } T_M < T_b \quad \text{eq. 26}$$

Em que:

GD – graus-dia;

T_M – temperatura máxima diária (°C);

T_m – temperatura mínima diária (°C) e

T_b – temperatura basal (°C).

Os graus-dia acumulados (GD, °C dia) vieram com o somatório dos graus-dias desde a data de plantio até a colheita, Equação 27 obtida pelo somatório do GD_i .

$$GD = \sum GD_i \quad \text{eq. 27}$$

Foi utilizada a metodologia propostas por Arnold (1959) para a estimativa da T_b da palma forrageira pelo método do desvio padrão em graus-dia (DPgd), conforme Equação 28. Para determinação da temperatura base são escolhidas a priori, valores de temperaturas que vão ser utilizadas para o cálculo das somas térmicas. Posteriormente, determina-se o desvio-padrão em graus-dia, sendo a temperatura-base da variedade aquela que corresponder ao menor valor de desvio-padrão. As temperaturas para determinação da temperatura-base foram: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,18, 20, 22 e 24 °C.

$$DPgd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (GD_i - MGD)^2}{n - 1}} \quad \text{eq. 28}$$

Em que:

DPgd = Desvio padrão em graus-dia;

GD_i = Graus-dia acumulados do plantio até a colheita utilizando uma série de T_b ;

MGD = Média dos graus-dia acumulados do plantio a colheita e

n = Número dias do plantio a colheita.

Os dados e temperaturas foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ($P > 0,01$) e de Levene ($P > 0,01$) para verificação da normalidade e homocedasticidade residuais, respectivamente. Logo após, os dados passaram por análise de variância, com os efeitos quantitativos em polinômios ortogonais, segundo sua significância pelo Teste F, com o programa estatístico SAS.

6.1.3. Resultados e Discussão

6.1.3.1. Determinação do volume total de água aplicado

Durante o período de doze meses de cultivo da palma forrageira, foram contabilizados 389,3 mm precipitados, concentrados nos meses de fevereiro a abril de 2017, Figura 14. Isto implicou na necessidade de irrigação, aplicada durante os 365 dias após o plantio - DAP, conforme ilustrado na Figura 14. O volume acumulado totalizou uma lâmina de 2615,0; 1693,6; 1631,0 e 1581,0 mm por ano, para a grama, variedade Orelha de Elefante Mexicana, variedade Baiana e variedade Miúda e média diária de irrigação de 7,2; 4,6; 4,5 e 4,3 mm dia⁻¹, respectivamente. Os maiores volumes pluviométricos registrados foram de 115,6 e 125,1 mm por mês, nos meses de março e abril de 2017.

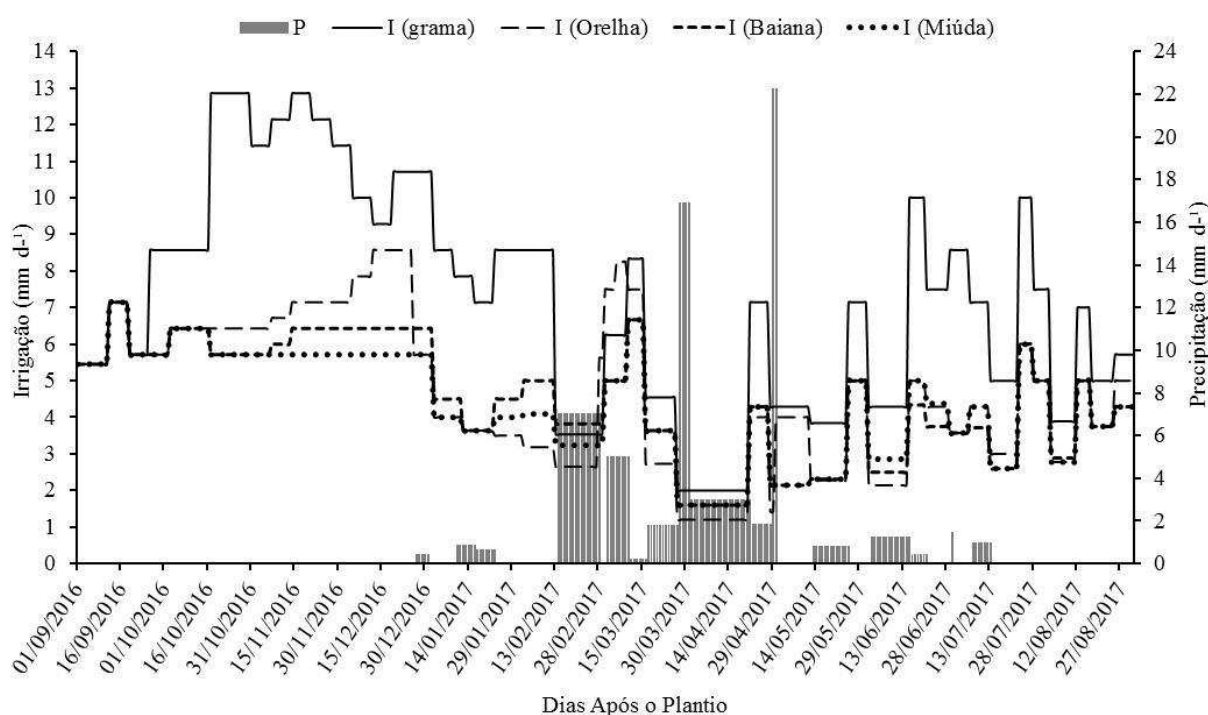


Figura 14. Precipitação e irrigação da grama das variedades Orelha de Elefante, Baiana e Miúda ao longo de 365 dias após o plantio – DAP. Santa Luzia-PB.

A precipitação média anual da região semiárida brasileira varia entre 300 - 700 mm, extremamente concentrada em alguns períodos do ano (SILVA *et al.*, 2012). Em vista disso, uma das alternativas para os produtores da região conviver com a deficiência hídrica é o cultivo de palma forrageira, no entanto, para que esta cultura

atinja valores elevados de produtividade faz-se necessário o uso e o manejo correto da irrigação (SILVA, 2017).

6.1.3.2. Determinação da ET_0 e da ET_c

No que diz respeito à evapotranspiração de referência calculada tendo a grama como cultura de referência, obteve-se valor médio de $7,2 \text{ mm dia}^{-1}$ e máximo de $12,5 \text{ mm dia}^{-1}$, Figura 15. Além disso, sabe-se que os maiores valores de ET_0 foram registrados para os meses de outubro, novembro e dezembro de 2016 e março de 2017. Fato que, provavelmente, está relacionado à maior demanda atmosférica para estes períodos do ano na região. A ET_0 acumulada durante todo período experimental foi de $2576,5 \text{ mm}$ por ano.

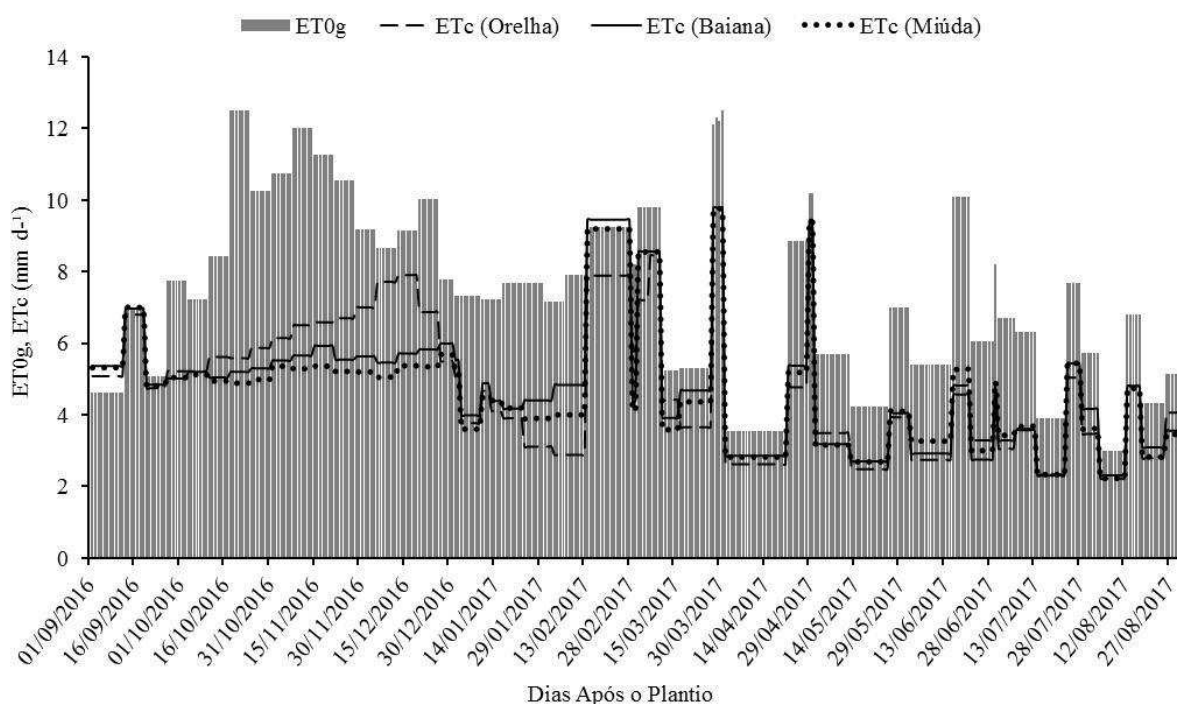


Figura 15. Evapotranspiração de referência (ET_0) para grama e evapotranspiração da cultura das variedades Orelha de Elefante, Baiana e Miúda ao longo de 365 dias após o plantio – DAP. Santa Luzia-PB.

A ET_0 de $7,2 \text{ mm d}^{-1}$ determinada nesta pesquisa, está de acordo com os estudos de Dinvincola *et al.* (2019) e Ferreira Júnior *et al.* (2006), no estado de Alagoas que encontraram valores de evapotranspiração de referência ET_0 de $7,4$ e $7,0 \text{ mm d}^{-1}$ respectivamente. Bem como com Cavalcante Junior *et al.* (2010) e Borges Junior e

Pinheiros (2019), que obtiveram ET_0 média de 7,5 mm d^{-1} para as regiões de Mossoró-RN e Petrolina-PE, respectivamente. Contudo, os valores de ET_0 do presente estudo se adequam aos mencionados na literatura para regiões com características climáticas semelhantes.

A evapotranspiração da cultura das diferentes variedades de palma forrageira foi obtida através do balanço hídrico ao longo dos 365 dias após o plantio – DAP, Figura 15. Os níveis mais elevados da ET_c são do momento em que a cultura se encontrava com mais de 170 DAP. A evapotranspiração média durante a condução da pesquisa foi de 4,8; 4,8 e 4,6 mm dia^{-1} , para as variedades Orelha de Elefante, Baiana e Miúda, respectivamente. O máximo consumo de água foi de 16,5; 16,7 e 16,7 mm dia^{-1} para as três variedades, Figura 15. Essa variação no consumo de água, em termos de evapotranspiração da cultura, pode estar associada às variações climáticas observadas durante o período de condução do experimento.

Os valores de ET_c determinados na presente pesquisa diferem dos reportados por Pereira *et al.*, (2017) e por Han & Felker (1997) que, estudando as espécies *Opuntia e Nopalea*, obtiveram ET_c equivalente a média de 1,5 mm d^{-1} . O mesmo ocorre quando se compara os resultados com Consoli *et al.* (2013), Silva *et al.* (2015) e Queiroz *et al.* (2016), que trabalhando com plantas do mesmo gênero chegaram a ET_c média de 2,5; 2,4 e 2,6 mm d^{-1} respectivamente.

No entanto, os valores de evapotranspiração do presente estudo corrobora com Dinvincola *et al.* (2019) ET_c igual a 4,2 mm d^{-1} , Alves *et al.* (2019) ET_c igual a 4,8 mm dia^{-1} e se aproximam dos citados por Meireles *et al.* (2011) e Santana *et al.* (2016) para as forrageira Braquiária brizantha e Tifiton-85. Silva *et al.* (2012) também reportam valor semelhante, pesquisando planta soca de cana-de-açúcar C4 determinou ET_c média de 4,7 mm d^{-1} . De acordo com Alves *et al.* (2019), os valores de ET_c inferiores aos constatados para outras espécies de metabolismo C4, deve-se ao metabolismo da palma, que realiza a fixação do CO_2 no período noturno, quando a demanda evapotranspiratória é baixa. Para Rosas-Anderson *et al.* (2018), a cobertura viva pode reduzir de forma significativa à evaporação do solo, a qual é proporcional aproximadamente a 80% do total da ET_c , a depender do dossel da cultura.

Queiroz *et al.* (2016) afirmam que, a variação no consumo hídrico de palma forrageira cultivada em ambiente semiárido se dá em decorrência da variação climática e aumenta com o fornecimento hídrico as plantas. Corroborando com esta afirmativa,

Freire (2012), assegura que, a palma forrageira quando cultivada com grande disponibilidade de água, passa a funcionar como plantas C3. Segundo Taiz *et al.* (2017), algumas plantas são CAM obrigatórias, funcionando sempre com este mecanismo, enquanto outras como *Ananas comosus*, *Agave sisalana*, *Opuntia fícus-indica* se desenvolvem via C3, porém sob estímulo de falta de água, salinidade ou fotoperíodo, apresentam o comportamento CAM, quando são bem hidratadas, podem mudar para o modo C3, abrindo seus estômatos e fixando CO₂ durante o dia, via rubisco.

6.1.3.3. Determinação da temperatura base e da soma térmica

A compreensão da temperatura base das culturas é fundamental, pois facilita a escolha de espécies adaptáveis às condições climáticas do local de cultivo (FERREIRA *et al.*, 2019). Para Silva *et al.* (2020), a temperatura basal delimita o acúmulo térmico necessário para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das culturas.

A temperatura do ar acima da temperatura basal inferior implica em acúmulo de graus-dia que se correlacionam (ARNOLD, 1959). Assim, a quantificação da temperatura basal da palma forrageira é fundamental para que se tenha uma referência de temperatura mínima que a palma suporta, sem que haja paralisação de seu desenvolvimento. O valor da temperatura base (T_b) pelo método do desvio padrão em graus dia na presente pesquisa foi de 18 °C, Figura 16, para todas as variedades estudadas, diferindo da temperatura base de 22°C adotada por Araújo Junior (2017) em estudos com a palma forrageira.

O valor de T_b de 18 °C para a cultura da palma foi superior aos valores encontrados em outras pesquisas utilizando culturas de clima tropical, como por exemplo, a bananeira (10 °C) Robinson *et al.* (2010), o cajueiro-anão (10 °C) Matos *et al.*, (2014), a mangueira (10,6 °C) Callejas *et al.*, (2014) e o *Eucalyptus urophylla* (11,5 °C) Freitas *et al.*, (2017).

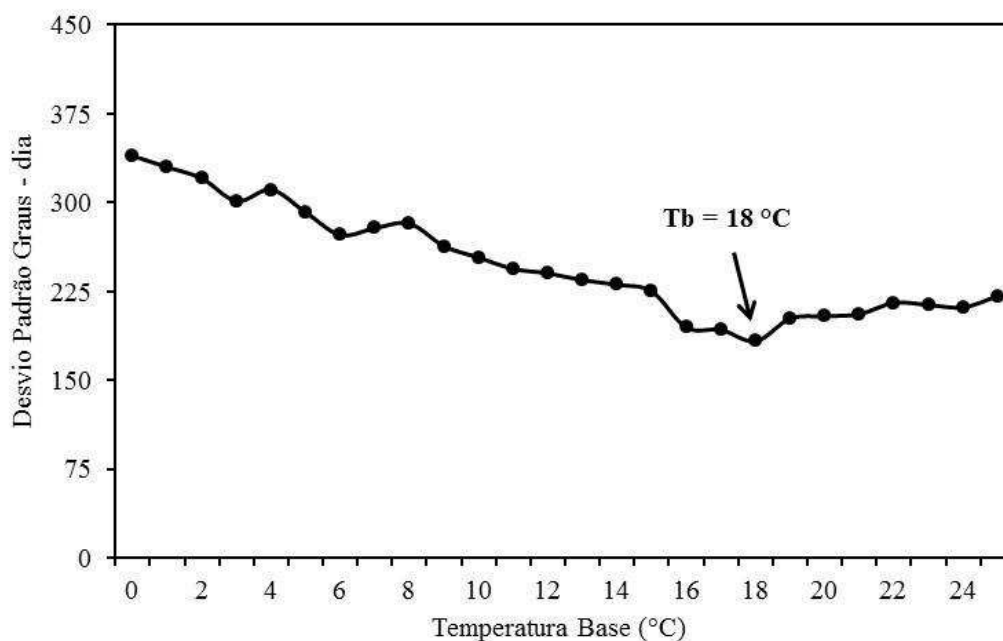


Figura 16. Representação gráfica da estimativa da temperatura basal - T_b para a palma forrageira pelo método do desvio padrão em graus dia - DPgd. Santa Luzia-PB.

As máximas temperaturas observadas em cada fase de desenvolvimento da palma foram de 35,49; 35,03; 37,33 e 38,45 °C; e as temperaturas mínimas de 25,05; 24,24; 24,31 e 26,36 °C para as fenofase I, II, III e IV, respectivamente, Figura 17.

Segundo Bezerra *et al.* (2014) e Rocha (2012), o maior potencial produtivo da palma forrageira ocorre pertence as regiões cuja temperatura média oscila entre 16,1 °C e 25,4 °C; com máximas entre 28,5 °C e 31,5 °C e mínimas variando de 8,6 °C a 20,4 °C. Todavia, nota-se que, as temperaturas máximas e mínimas do presente estudo foram superiores as observadas pelos autores anteriormente citados. Os valores elevados de temperatura da presente pesquisa estão relacionados com o fato de a área experimental ter como principais características temperaturas elevadas e umidade do ar relativamente baixa.

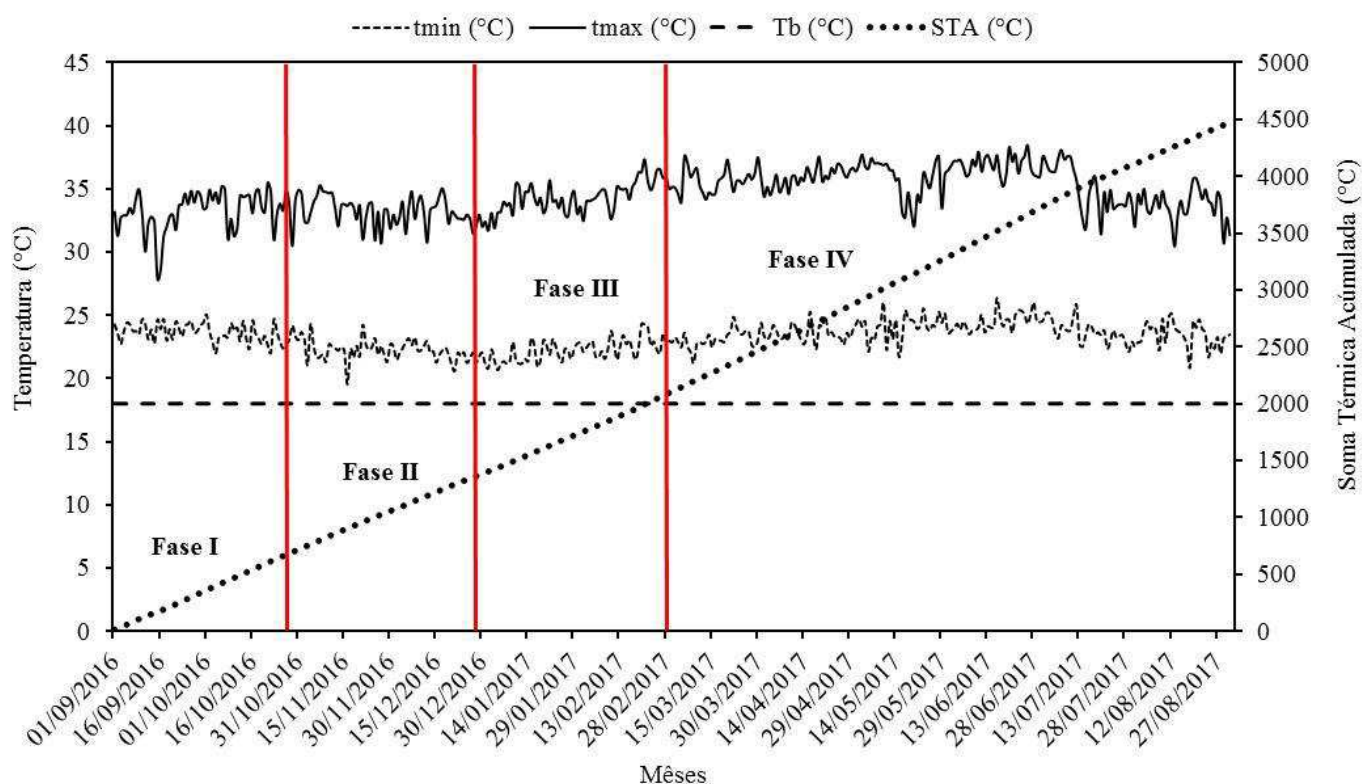


Figura 17. Temperaturas máximas ($t_{m\acute{a}x}$) e mínimas ($t_{m\acute{i}n}$) do ar registradas, temperatura basal (T_b) e a soma térmica acumulada (STA) para a 1^o, 2^o, 3^o e 4^o fenofase ao longo do ciclo de cultivo. Santa Luzia-PB.

Além disso, em todas as fenofase da palma forrageira a temperatura mínima do ar esteve sempre acima da temperatura basal (18 °C), significando que a planta não sofreu paralisação em seu crescimento em nenhuma de suas fases fenológicas, permitindo a emissão de cladódios de forma mais rápida e eficiente, Figura 17. A temperatura basal representa a temperatura que, abaixo da qual o desenvolvimento da cultura é nulo ou desprezível, os quais ocorrem, principalmente, durante o inverno, sendo bastante utilizada na clássica equação de cálculo dos graus-dia, dada pela diferença entre a temperatura média do ar diária e a T_b da espécie (ARNOLD, 1960).

As informações básicas sobre o desenvolvimento vegetativo, como a estimativa da T_b , em palma forrageira, são importantes para conhecer as necessidades da cultura em condições meteorológicas distintas do seu centro de origem. De acordo com Borella *et al.* (2020), os vegetais concentram diariamente certa quantidade de energia determinada como soma térmica acumulada (STA), essa energia é responsável pela realização dos processos metabólicos, dentro de faixas ótimas de temperaturas.

As somas térmicas nos períodos I, II, III e IV foram de 835, 1383, 2043 e 4471 °C para a variedade Orelha de Elefante; 823, 1373, 2031 e 4471 °C, para a variedade

Baiana e 823, 1363, 1941 e 4471°C para a variedade Miúda, Figura 17. A diferença para os valores de soma térmica entre as variedades está, possivelmente, relacionada ao tempo que cada variedade levou para emitir os cladódios de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordem, critério esse, de certa forma, subjetivo para determinar as diferentes fases de desenvolvimento das variedades de palma forrageira, outro fator que pode estar associado são as características genéticas intrínsecas de cada variedade que pertence a espécies diferentes.

Do mesmo modo, Araújo Junior *et al.* (2017), analisando a palma forrageira Orelha de Elefante, obtiveram soma térmica de 3.178 °C finalizando um ciclo de 380. Já Silva *et al.* (2015), ao avaliarem a exigência térmica da palma forrageira em cultivo exclusivo, chegaram a uma exigência térmica anual igual 2.767 °C. Valores inferiores aos obtidos no presente estudo, resultados que está relacionado pelo fato dos autores terem adotado Tb de 22 e 20 °C, além disso, eles relatam que, a palma apresentou baixo acúmulo diário de energia térmica e, portanto, necessita de maior tempo para emitir uma unidade de cladódio, o que não aconteceu neste estudo, visto que, a Tb foi de 18 °C, sendo inferior a temperatura mínima durante todo período experimental, o que favorece a emissão de cladódios com maior rapidez, além disso, a temperatura máxima foi superior a 34 °C, o que favorece o acúmulo diário de energia térmica.

6.1.3.4. Determinação dos coeficientes de cultivo

Os coeficientes da cultura ao longo dos 365 dias após o plantio das variedades Orelha de Elefante, Baiana e Miúda nas diferentes fases de desenvolvimento encontram-se inseridos na Figura 18. Os valores médios de coeficiente de cultura obtidos na primeira fase foram 0,78; 0,74 e 0,73 e (835; 823 e 823 GDA), para Orelha, Baiana e Miúda. Na segunda fase os valores de Kc foram 0,72; 0,59 e 0,54 e (1383; 1373 e 1363 GDA). Para terceira fase os coeficientes de cultivo foram de 0,56; 0,69 e 0,60 e (2942; 2031 e 1941 GDA). E na quarta fase os valores de Kc foram 0,65; 0,69 e 0,69 e (4471 GDA), para as variedades Orelha de Elefante, Baiana e Miúda respectivamente, Figura 18. Diferentemente dos resultados desta pesquisa, Alves *et al.* (2019) constataram Kc médio da fenofase I igual a 0,40, na fenofase II 0,68, fenofase III 0,90 e na fenofase IV 0,52.

No início da primeira fase os valores de Kc em todas as variedades foram superiores a 1, fato justificado devido a planta constituir-se na fase inicial apenas do cladódio basal. Neste período, a ausência de cladódios reduz a área evapotranspiratoria da planta, proporcionando maior incidência de luz solar diretamente no solo, aumentando a evaporação.

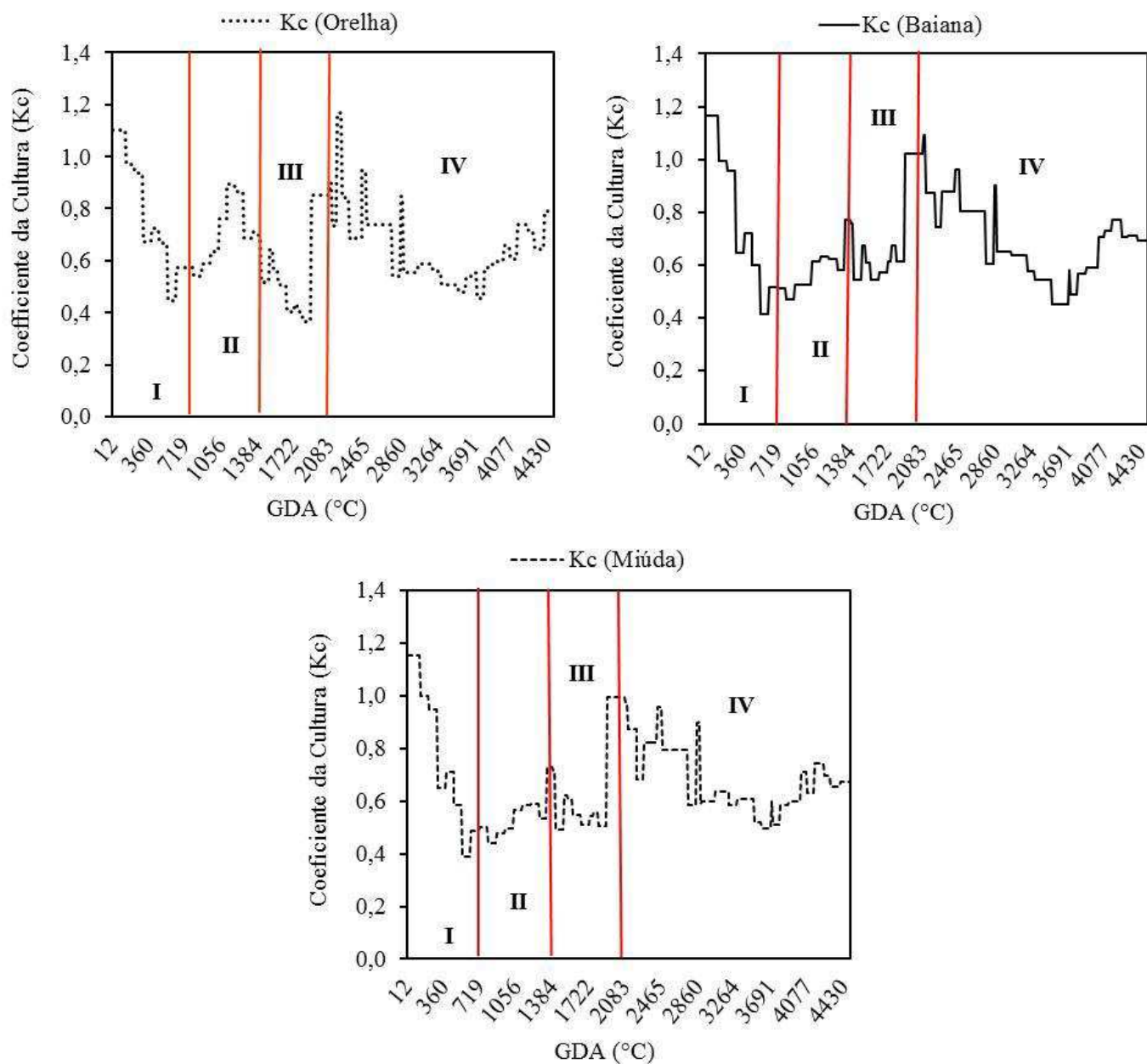


Figura 18. Coeficiente da cultura das variedades de palma forrageira Orelha de Elefante, Baiana e Miúda em razão do somatório térmico. Santa Luzia-PB.

Amorim *et al.* (2017) afirmam que, obtiveram apenas 3 fases de desenvolvimento na palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia*), sendo que a primeira fase durou cerca de 7 meses e a segunda e terceira fases variaram em

decorrência da lâmina de irrigação aplicada. Esta diferença observada pode ser em decorrência do manejo ofertado a cultura e das características climáticas dos locais estudados.

O coeficiente de cultura da palma forrageira, conforme exposto na Figura 18, apresentou variação com relação às fases de desenvolvimento, sendo em média igual a 0,72; 0,70 e 0,70, para as variedades orelha de elefante mexicana, baiana e miúda, respectivamente, para um período de doze meses. Os valores de coeficiente de cultivo na presente pesquisa se assemelham aos citados por Dinvincola *et al.* (2019) que por meio de lisímetros de drenagem estipularam Kc médio de 0,72; 0,84 e 0,48 pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e FAO-Radiação.

Contudo, estão acima dos encontrados por Consoli *et al.*, (2013), Kc médio de 0,40; Queiroz *et al.* (2016), Kc médio de 0,52 e Jardim *et al.* (2017), Kc médio de 0,57 para a mesma espécie de palma no segundo ciclo de cultivo. Do mesmo modo, Alves *et al.* (2019) aplicando lâmina de 75% da ETo, determinou Kc igual a 0,64 e Lima *et al.* (2018), que independente do sistema de cultivo e das lâminas de irrigação, obtiveram um Kc médio igual a 0,50.

Entretanto, os valores de Kc desta pesquisa estão de acordo com os sugeridos por Arba *et al.* (2016), os quais afirmam que, para o manejo de cultivos de palma do gênero *Opuntia*, deve-se adotar o Kc de 0,70. O maior consumo relativo de água ocorreu na nas fases I e IV, 1,10; 1,15 e 1,16, respectivamente, para a Orelha de Elefante, Baiana e Miúda Figura 18. Portanto, o valor de Kc a ser usado na elaboração de um projeto de irrigação para palma forrageira deverá ser a média das duas fases.

6.1.4. Conclusões

Os valores obtidos em termos de evapotranspiração da cultura foram superiores aos relatados pelas literaturas, 4,8; 4,8 e 4,6 para orelha de elefante, baiana e miúda.

O consumo hídrico nos períodos de cultivo I, e IV foi superior aos períodos II e III para todas as variedades em estudo.

A soma térmica acumulada média, do plantio até a colheita é superior a 4000°C para as três variedades de palma forrageira.

Os coeficientes de cultivo médio das variedades orelha de elefante mexicana, baiana e miúda para um ciclo de doze meses, foram superiores aos relatados na literatura para estas espécies, 0,72; 0,70 e 0,70.

Os coeficientes de cultura se ajustam satisfatoriamente a graus-dia de desenvolvimento das variedades de palma forrageira.

A temperatura basal foi inferior à temperatura mínima do ar durante todo o período experimental.

6.1.5. Referências Bibliográficas

ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; CRUZ NETO, J. F.; SANTOS, J. P. A. S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, v. 27, n. 2, p. 347-356, 2019.

ALVAREZ, C. A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p.711–728, 2014.

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.

AMORIM, D. M.; SILVA, T. G. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, L.S. B.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; JARDIM, A. M. R. F.; ALVES, H. K. M. N.; ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F. Exigência térmica fenológica e anual da palma forrageira em consórcio com o sorgo. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA V SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO, 2017. **Anais...** Petrolina, PE; Juazeiro, BA: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; Embrapa, 2017.

ARBA, M.; FALISSE, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; SINDIC, M. Effects of irrigation at critical crop stages on fruit yield and quality of cactus pear (*Opuntia* spp.). **Scientific Journal of Crop Science**, v. 5, n. 3, p. 73- 81, 2016.

ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. **Proceeding American Society for Horticultural Science**, v.74, p.430-445, 1959.

ARNOLD. C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basic for computing heat unit. **Proceedings off the American Society for Horticultural Sciences**. v.76, p. 682-692, 1960.

BAYAR, N.; FRIJI, M.; KAMMOUN, R. Optimization of enzymatic extraction of pectin from *Opuntia ficus indica* cladodes after mucilage removal. **Food Chemistry**, v. 241, p. 127-134, 2018.

BEZERRA, G. B.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 755–761, 2014.

BORELLA, D. R.; SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; FELIPE, R. T. A.; SILVA, K. N. C.; SOUZA, J. H. G. Exigências térmicas e filocrono de *Dipteryx alata* sob níveis de sombreamento na transição Cerrado-Amazônia. **Scientia Plena**, v. 16, n. p. 5, 1-15, 2020.

BORGES JÚNIOR, J.C.F.; PINHEIRO, M.A.B. Daily Reference Evapotranspiration Based on Temperature for Brazilian Meteorological Stations. **J. Irrig. Drain Eng.**, v. 145, n. 12, 2019.

CAVALCANTE JUNIOR, E.G.; ALMEIDA, B.M; OLIVEIRA, A.D de ; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; ARAÚJO, E.M. de; VIEIRA. R.Y.M.; Estimativa da evapotranspiração de referência para a cidade de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.4, n.2, p.87-92, 2010.

CALLEJAS, I. J. A.; NEVES, G. A. R.; TAVARES, A. S.; MOURA, I. B.; LIMA, E. A. Determinação das temperaturas cardinais da manga cultivar Roxa através de simulação computacional utilizando um modelo não linear. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 97-110, 2014.

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. **J. Irrig. Drain Eng.**, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.

DIVINCULA, J.S.; SILVA, C.B. da; SANTOS, M.A.L.; SANTOS, D. P. dos; SANTOS, L.W. Crop coefficient and water requirement of prickly pear in the Agreste region of Alagoas state, Brazil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.23, n.12, p.925-929, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FERREIRA, M. C.; MARTINS, F. B.; FLORÊNCIO, G. W. L.; SILVA, J. P. C.; PASIN, L. A. A. P. Cardinal temperatures and thermal requirements for initial development of two Brazilian native species. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, n. 525, p. 1-9, 2019.

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; CAMPOS, A. M. V.; SANTOS, M. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, R. C.; BRITO, J. E. D.; SILVA, P. B.; COSTA, C. T. S. Estimativa da evapotranspiração de referência pela radiação solar global na região de Arapiraca-AL. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais CBMET**, 2006.

FREITAS, C. H.; MARTINS, F. B.; ABREU, M. C. Cardinal temperatures for the leaf development of *Corymbia citriodora* and *Eucalyptus urophylla* seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 283-292, 2017.

FREIRE, J. de. L. **Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) sob irrigação e salinidade**. 2012. 85 p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 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, n. 1, p. 133-148, 1997.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. J.; QUEIROZ, M. G.; ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. no quarto ciclo produtivo. In XX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA V SIMPÓSIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 2017. **Anais...** Petrolina, PE; Juazeiro, BA: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; Embrapa, 2017.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; QUEIROZ, M. G.; TOBOSA, J. B. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum

intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018.

MARQUES, P. A. A.; JOSÉ, J. V.; ROCHA, H. S.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; SOARES, D. A.; DUARTE, S. N. Consumo hídrico do manjeriço por meio de lisímetro de drenagem. **Revista Irriga**, v. 20, n. 4, p. 745-761, 2015.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.35, n.9, p.1733-1742. 2004.

MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a *Brachiaria brizantha* pasture in the Brazilian savannah region. **Grass and Forage Science**. v. 66, n. 2, p. 206-213, 2011.

MATOS, V. A. T.; PIVETTA, F.; PAIVA SOBRINHO, S.; TISSIANI, A. S. O.; PEREIRA, A. P. M. S.; RAMOS, F. T.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Temperaturas basais e exigência térmica para a maturação de caju. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 969-977, 2014.

PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F. da.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. J. da. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 776 -785, 2017.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fealq, 2013.183p.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SOUZA, C. A. A.; E CARVALHO, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Edição Especial, p. 141-154, 2016.

ROBINSON, J. C.; GALÁN SAÚCO, V. Bananas and plantains. 2 ed. **Oxford: CAB International**. 2010. 311p. (Crop production science in horticulturae series, 19).

ROSAS-ANDERSON, P.; TAGGART, M. J.; HEITMAN, J. L.; MILLER, G. L.; SINCLAIR, T. R.; RUFTY, T. W. Partitioning between evaporation and transpiration

from *Agrostis stolonifera* L. during light and dark periods. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260, p. 73-79, 2018.

ROCHA, J. E. DA S. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil: estado da arte**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. 40 p. (Embrapa Caprinos e Ovinos. Documentos, 106).

RODRIGUES, J. C.; SOUZA DE, P. J. O.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.

SANTANA, M. J.; WACHSMUTH, R.; SGOBI, M. A.; ALMEIDA, F. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tifton-85 em Uberaba, MG. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 39-50, 2016.

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

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

SILVA, L. V.; REIS, F. Y.S.; MARTINS, F. B.; CASSEMIRO, J. M. Desenvolvimento Vegetativo de *Cesalpineia ferrea* e *Anadenanthera macrocarpa*: I - Estimativa das Temperaturas Cardinais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 23-33, 2020.

SILVA, P. F. **Crescimento e produtividade de palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação e adubação nitrogenada**. 2017. 68 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2017.

SILVA, A. P. G. DA; SOUZA, C. C. E. DE; RIBEIRO, J. E. S.; SANTOS, M. C. G. DOS; PONTES, A. L. DE S.; MADRUGA, M. S. Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea*

cochenillifera) oriundas do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 9, n. 2, p. 1810-1820, 2015.

SILVA, T. G. F.; M QUEIROZ, M. G.; MORAIS, J. E. F.; BARBOSA, M. L.; LIMA, L. R.; PEREIRA, P. C. Exigência térmica e filocrono da emissão de cladódios da cactácea forrageira mais cultivada no mundo. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2015, **Anais...** Lavras: SBAGRO, 2015. p. 942-946.

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

SILVA, T. G. F.; M QUEIROZ, M. G.; MORAIS, J. E. F.; BARBOSA, M. L.; LIMA, L. R.; PEREIRA, P. C. Exigência térmica e filocrono da emissão de cladódios da cactácea forrageira mais cultivada no mundo. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2015, **Anais...** Lavras: SBAGRO, 2015. p. 942-946.

SUASSUNA, P. **Lucratividade da Cultura da Palma Forrageira na Paraíba**. 1993. Disponível em: < www.joaosuassuna.hpg.ig.com.br/sistprod.htm - 5k ->. Acesso em 24 de julho de 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. Estimativa de graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base em função das temperaturas máxima e mínima. **Ciência da Terra**, n. 30, p. 1-8, 1972.