



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DA PALMA FORRAGEIRA SOB LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO E NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA**

CAMPINA GRANDE – PB

2020



MARIANA DE OLIVEIRA PEREIRA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DA PALMA FORRAGEIRA SOB LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO E NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Irrigação e Drenagem.

**Orientadores: Professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Ph.D
Professor Gustavo Bastos Lyra, D.Sc**

**CAMPINA GRANDE – PB
2020**



P436d Pereira, Mariana de Oliveira.
Desempenho agrônomo da palma forrageira sob lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água / Mariana de Oliveira Pereira. - Campina Grande, 2020.
73 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra.
Referências.

1. *Opuntia Stricta (Haworth) Haworth*. 2. Disponibilidade Hidrica. 3. Condutividade Elétrica da Água. I. Azevedo, Carlos Alberto Vieira de. II. Lyra, Gustavo Bastos. III. Título.

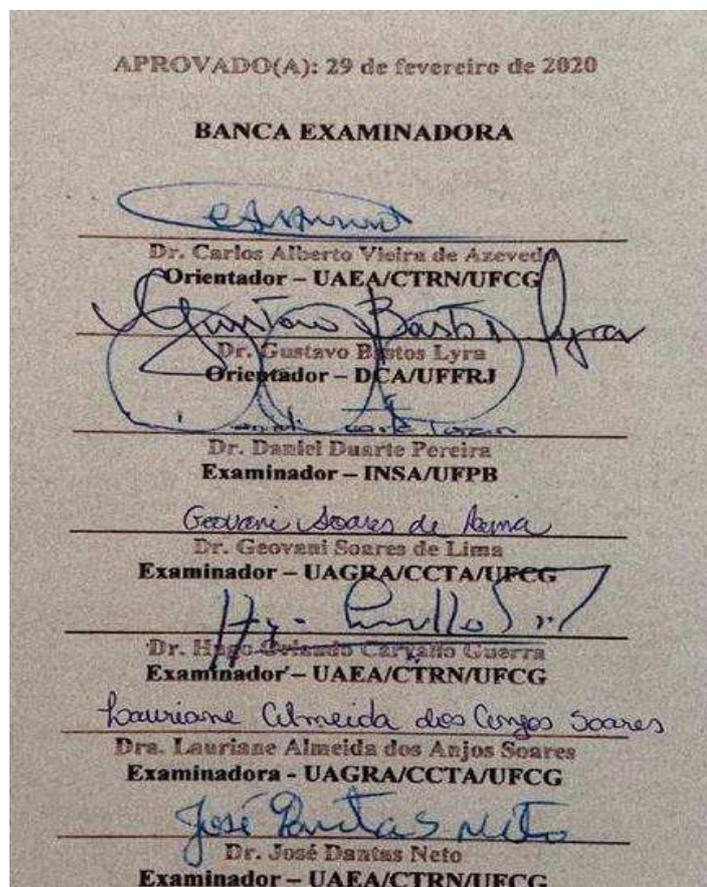
CDU 633.3(043)



MARIANA DE OLIVEIRA PEREIRA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DA PALMA FORRAGEIRA SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E NÍVEIS DE SALINIDADE DA ÁGUA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Irrigação e Drenagem.



CAMPINA GRANDE – PB

2020



DEDICATÓRIA

Dedico à realização deste sonho e desta conquista aos meus pais Marisis de Oliveira Pereira e Adilson Santos Pereira por todo amor, incentivo, compreensão e por acreditarem sempre no meu potencial.

Dedico também as minhas avós Hermínia Cunha de Oliveira (*in memoriam*), por sempre me ensinar a importância de se estudar, e Nair Santos Pereira (*in memoriam*) pela alegria de viver que me acompanha em tudo o que eu faço.



AGRADECIMENTOS

Antes de qualquer coisa e acima de tudo, agradeço a Deus por toda sua providência, amor e misericórdia para comigo em cada instante da minha vida. Agradeço por ter me dado sabedoria, força e discernimento para traçar as minhas escolhas e me sustentar nelas e, assim, conseguir chegar a este momento de término do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola: finalmente doutora. Obrigada Jesus Misericordioso por esse sonho realizado. Nunca foi fácil deixar tudo para trás e me aventurar em uma terra desconhecida, mas o Senhor me sustentou a cada momento e colocou pessoas especiais na minha vida ao longo dessa caminhada para que eu nunca pudesse me sentir só. A minha mãezinha Nossa Senhora, em todas as suas denominações e, em especial, com os títulos de Nossa Senhora Aparecida e Nossa Senhora das Graças, agradeço a intercessão e por tantas vezes me colocar em seu colo de mãe.

Agradeço aos meus pais Adilson Santos Pereira e Marisis de Oliveira Pereira por todo carinho, amor, paciência, ensinamentos, união, incentivo e tantas outras coisas que somente vocês com esse amor infinito por mim são capazes de fazer. Obrigada por não me deixarem desistir NUNCA em nada do que fiz. Vocês são meus maiores exemplos e força, depois de Deus. Sei o quanto a distância é complicada e peço desculpas por nem sempre poder estar presente, dando o suporte que eu gostaria a vocês. Essa conquista é nossa, esse título é de vocês também. Obrigada por tudo. Amo vocês.

Ao meu irmão Victor Hugo de Oliveira Pereira agradeço, principalmente, por me dar os melhores presentes da minha vida: Nicholas José Couto Pereira e Giovana Maria Couto Pereira, amores de tia. Sempre que estou em dias difíceis eu penso nos meus pequeninos e tudo se torna muito melhor.

A toda minha família da parte Oliveira e da parte Pereira eu agradeço o incentivo, o carinho, as orações e a alegria. Infelizmente fica inviável mencionar cada um de vocês porque, nesse caso, seria equivalente a escrever uma nova tese de tão grande que a família é. Assim, quero agradecer do lado dos Oliveira, em especial, a tia Márcia, tia Marcy, tio Francisco e prima Leila pela torcida e orações. E pelo lado da família Pereira, em especial, a tia Ana, padrinho Adauto, as primas Sheylla, Jaqueline, Vaninha e Bárbara (que inclusive me ajudou a digitar os dados da tese junto com Dudu) por todas as palavras de incentivo. Família, por favor, não fique com ciúme se deixei de colocar alguém aqui. Todos são especiais na minha vida!



Ao professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo (UFCEG) agradeço a orientação, paciência e disponibilidade. Obrigada pela compreensão, pelos ensinamentos, pelo apoio, pelas conversas, pelas correções e exigências. Isso contribuiu demais para a minha vida profissional e pessoal.

Ao professor e orientador Gustavo Bastos Lyra (UFRRJ), obrigada por aceitar mais uma vez minha orientação. O senhor me acompanha desde o mestrado, me incentivou a tentar o doutorado na UFCEG e me fez ser uma apaixonada pela agrometeorologia (não sei se isso é bom ou ruim, porque trabalhar com agrometeorologia e palma forrageira não foi nada fácil). Eu disse no mestrado que não iria se livrar assim tão fácil de mim, lembra? Obrigada por acreditar no meu potencial e na minha capacidade de ir além. Vir para a UFCEG mudou a minha vida!

Ao professor Luciano Saboya Fallé agradeço acima de tudo a amizade. Obrigada por tantas vezes me tratar com a preocupação de um pai. Incontáveis vezes dedicou seu tempo a me ajudar, a sanar minhas dúvidas e a simplesmente jogar conversa fora. Sei que sempre vai se lembrar de mim dizendo: ah professor, não vou fazer isso não! Minha eterna gratidão ao senhor.

Ao professor José Dantas Neto agradeço pela presteza em me ajudar em tudo o que estivesse ao seu alcance fosse com material para o experimento ou de forma intelectual.

Ao professor Hugo Orlando Carvalho Guerra, obrigada pela ajuda nas muitas dúvidas com o balanço de água no solo e pelo carinho.

Aos professores Geovani Soares de Lima e Lauriane Almeida dos Anjos Soares agradeço a amizade, a disponibilidade, a torcida e a paciência para comigo. Admiro vocês!

Ao professor Ronaldo Nascimento agradeço por disponibilizar o Laboratório de Fisiologia e por suas contribuições.

A professora Vera Lúcia Antunes de Lima, obrigada pela preocupação e apoio.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola aqui não mencionados, a Universidade Federal de Campina Grande, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA) por todo apoio necessário para a realização desta pesquisa.

A pesquisadora do INSA Jucilene Silva Araújo pela disponibilidade e apoio.

A toda a banca pelas contribuições necessárias a melhoria deste trabalho.

Ao professor Carlos Pereira da Universidade Federal Fluminense e aos demais colegas da mesma instituição que sempre torceram por mim.

Sempre me perguntaram como eu consegui ficar tão longe geograficamente de casa-RJ. Minha resposta é que Deus colocou em minha vida pessoas que me acompanharam nesta caminhada e as quais vou levar sempre comigo em meu coração, para aonde quer que eu vá. Agradeço aos



meus “ex-estagiários” que hoje são grandes amigos: João Henrique Cabral (e sua família) e Beatriz Tomaz (e sua família). Que bom que a UFCEG me deu vocês de presente! Agradeço a Kheila que esteve ao meu lado também ajudando sempre que possível.

Agradeço a acolhida e toda a ajuda que me deram desde o começo, sem isso seria impossível continuar: Rafa, Dani, Sah, Kecinha, Thiago, Tatá, Bruno obrigada por cuidarem de mim. Benevenuto, Jean (os dois), Robson, Paty e Rigo e aos meninos da equipe de salinidade (André, Adaan, Ellyson, Saulo, Carantino, Wesley e todos os meninos que me ajudaram e me alegraram, por favor, me desculpem se esqueci de alguém). Eu sei que essa foi à pesquisa que mais gente movimentou, eu sempre tinha uma atividade para alguém me ajudar. Foi incrível tudo o que vocês fizeram por mim. De todo o meu coração e gratidão eterna.

A Elka Costa agradeço a amizade, carinho e parceria dentro e fora da UFCEG. A Carlos Vailan, meu muito obrigada também pela parceria e por tudo o que fez por mim. Sentirei saudades das nossas viagens, estudos e passeios. E por favor, lembrem-se sempre de abastecer o carro nas próximas viagens, “TANK” (sei que vocês vão entender)!

Preciso abrir um parágrafo para eles dois, parceiros da caverna (nosso apelido carinhoso para nossa sala)... Márcia, obrigada pelo carinho, companheirismo, amizade, puxões de orelha, enfim, obrigada por tudo. Saiba que esse sentimento de gratidão se estende a sua família. Obrigada pela ajuda em todas as horas e por se fazer presente em minha vida. A Garcia (mais conhecido como Jailton), nem sei como começar a agradecer. Obrigada acima de tudo pela sua amizade sincera, por tudo o que fez e faz por mim, por toda torcida, amor e preocupação, por me acolher em seu lar com sua família, pelas nossas risadas por leseiras e por tantas outras coisas que não cabe no Lattes. Você foi a primeira pessoa que conheci quando cheguei a UFCEG, sempre te levarei comigo meu grande amigo. A vocês dois, obrigada por tudo. É impossível descrever em palavras minha gratidão.

Cris guria, você faz parte da minha vida. Não importa a distância que estejamos ou o tempo que ficamos sem nos falar. Obrigada por sempre estar ao meu lado em todas as horas. Minha parceira para o que der e vier. Sempre seremos a dupla café com leite!

Fernandinha, você não existe. Seu coração é de uma generosidade sem tamanho. O que tem de pequeninha tem de brava na hora de puxar minhas orelhas. Obrigada pela amizade que não julga, mas que corrige e que se coloca em favor do outro. Obrigada por tudo que fez por mim, só a gente sabe!

Gabi, obrigada por seu carinho e preocupação. O nosso Goiás por enquanto vai ter que ficar só com você, mas quem sabe um dia Deus não nos junta por aí?



Agradeço a todos os funcionários da UFCG que me ajudaram sempre prestativos, em especial senhor Antônio e aos meninos do setor de transporte; Alda; Roberto; Michelle, dona Cida, Marciano e sr. Edil.

A Ronaldo Filho e família obrigada por me acolherem com tanto carinho.

Obrigada ao Encontro com Cristo da Igreja de Nossa Senhora do Rosário por colocar pessoas especiais em minha vida também (Raquel, Tatá, Jaque e Anna).

As irmãs dominicanas Cleide, Silvana e Ana vocês são exemplos de bondade, amor e dedicação para com os outros. Obrigada por tudo!

As mulheres agricultoras dos projetos Quintais produtivos e Banco de sementes, vocês são uma inspiração de força, sabedoria, determinação e generosidade para mim. Agradeço a dona Luzia (*in memoriam*) por tantas vezes me acolher como uma filha com seu amor.

Enfim, a todos os que participaram direta ou indiretamente desta conquista meu muito obrigada. Peço desculpas se esqueci de alguém, mas não significa que seja menos importante. Que Deus ilumine a vida de cada um de vocês.



LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica inicial do solo	14
Tabela 2. Caracterização química (fertilidade) inicial do solo.....	14
Tabela 3A. Caracterização química (salinidade) inicial do solo	14
Tabela 3B. Caracterização química (salinidade) inicial do solo	14
Tabela 4. Caracterização química (salinidade) final do solo	14
Tabela 5A. Parâmetros químicos da água de chuva utilizada na pesquisa	18
Tabela 5B. Parâmetros químicos da água de abastecimento utilizada na pesquisa	19
Tabela 6. Frequência média de irrigação em função das lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água	27
Tabela 7. Evapotranspiração real (ET_r) acumulada da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no período de 11/01/2018 a 06/12/2018 em função dos tratamentos com lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água.....	33
Tabela 8. Coeficientes de cultivo (k_c) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana obtidos aos 442 dias de ciclo.....	36
Tabela 9. Resumos da análise de variância para comprimento de cladódio primário (CCP), largura de cladódio primário (LCP), área de cladódio primário (ACP), perímetro de cladódio primário (PCP) e espessura de cladódio primário (ECP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo.....	39
Tabela 10. Resumos da análise de variância para comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio secundário (LCS), área de cladódio secundário (ACS), perímetro de cladódio secundário (PCS) e espessura de cladódio secundário (ECS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo	42
Tabela 11. Resumos da análise de variância para largura de planta (LP) e altura de planta (AP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo	46
Tabela 12. Resumos da análise de variância para teor relativo de água (TRA) e extravasamento de elétricos (EE) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo.....	48



Tabela 13. Resumos da análise de variância para número de cladódios primários (NCP), número de cladódios secundários (NCS) e número total de cladódios (NTC) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo..... 54

Tabela 14. Resumos da análise de variância para massa fresca de cladódio primário (MFCP) e massa fresca de cladódio secundário (MFCS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo 57

Tabela 15. Resumos da análise de variância para massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo 62



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Condições de temperatura média (temperatura méd), umidade relativa do ar média (umidade méd), precipitação total (Ptotal) e evapotranspiração de referência (ET ₀) da região de estudo para o período de realização da pesquisa.....	12
Figura 2. Representação da distribuição do delineamento experimental na área de realização da pesquisa	13
Figura 3. Preparo inicial da área para condução da pesquisa.....	13
Figura 4. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE _{es}) inicial e final em função das médias por lâmina irrigada (L1 = 25; L2 = 50; L3 = 75 e; L4 = 100% da capacidade total de água no solo – CTA) e níveis de salinidade da água de irrigação (S1 = 0,60; S2 = 3,00; S3 = 5,40 e S4 = 7,80 dS m ⁻¹).....	15
Figura 5. Cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana tratados com calda bordalesa	16
Figura 6. Adição de água de chuva ao solo para que o mesmo atingisse a capacidade de campo.....	17
Figura 7. Emissão de cladódios de primeira ordem da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana para início dos tratamentos.....	18
Figura 8. Avaliações de crescimento de comprimento de cladódio (A), largura de cladódio (B) e perímetro de cladódio (C)	23
Figura 9. Adaptação da metodologia proposta para as avaliações fisiológicas com a extração de amostras com formatos cilíndricos de cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (A) e aumento do volume da água deionizada (B).....	24
Figura 10. Corte da palma forrageira para avaliação da produção (A) e separação e identificação dos cladódios para posterior pesagem (B).....	25
Figura 11. Balanço de água no solo em valores mensais correspondente ao período de 11/01/2018 a 06/12/2018 (330 dias) em função das lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água	29
Figura 12. Valores acumulados de precipitação, evapotranspiração de referência (ET ₀), irrigação e evapotranspiração real (ET _r), independentemente da condutividade elétrica da água (média por lâmina), no período de 11/01/2018 a 06/12/2018 (330 dias).....	35



Figura 13. Espessura de cladódio secundário (ECS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo.....	44
Figura 14. Teor relativo de água (TRA) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação ($L1 = 25$, $L2 = 50$, $L3 = 75$, e $L4 = 100\%$ da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo	49
Figura 15. Extravasamento de eletrólitos (EE) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação ($L1 = 25$, $L2 = 50$, $L3 = 75$, e $L4 = 100\%$ da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo.....	52
Figura 16. Número de cladódios primários (NCP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação aos 442 dias de ciclo	55
Figura 17. Massa fresca de cladódio primário (MFCP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo	58
Figura 18. Massa fresca de cladódio secundário (MFCS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação ($L1 = 25$, $L2 = 50$, $L3 = 75$, e $L4 = 100\%$ da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo	60
Figura 19. Massa fresca total (MFT) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação aos 442 dias de ciclo.....	62
Figura 20. Massa fresca total (MFT) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo	63



SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	2
2.1	Objetivo geral	2
2.2	Objetivos específicos.....	3
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	3
3.1	Relevância da palma forrageira no Nordeste brasileiro	3
3.2	Aspectos gerais da cultura.....	4
3.3	Agricultura bioessalina.....	6
3.3.1	Tolerância da cultura a salinidade.....	7
3.4	Consumo hídrico da palma forrageira	8
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	11
4.1	Localização e caracterização da área experimental.....	11
4.2	Delineamento experimental e tratamentos	12
4.3	Preparo das unidades experimentais e solo utilizado	13
4.4	Material vegetal, adubação e tratamentos culturais	15
4.5	Irrigação.....	16
4.6	Evapotranspiração de referência (ET_0).....	19
4.7	Balço de água no solo	20
4.7.1	Componentes do balanço de água no solo	20
4.8	Coeficiente de cultivo.....	22
4.9	Variáveis de crescimento.....	22
4.10	Variáveis fisiológicas.....	24
4.11	Variáveis de produção	25
4.12	Salinidade limiar	26
4.13	Análise estatística	26
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27



5.1	Agrometeorologia.....	27
5.1.1	Irrigação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real.....	27
5.1.2	Coeficiente de cultivo.....	36
5.2	Crescimento.....	39
5.2.1	Cladódio primário	39
5.2.2	Cladódio secundário.....	41
5.2.3	Altura e largura de planta	46
5.3	Fisiologia	47
5.3.1	Turgescência.....	48
5.3.2	Extravasamento de eletrólitos	51
5.4	Produção.....	54
5.4.1	Número de cladódios primários e secundários.....	54
5.4.2	Massa fresca de cladódios primário e secundário	56
5.4.3	Massa fresca total e massa seca total	61
6.	CONCLUSÕES	66
7.	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	67



Desempenho agrônômico da palma forrageira sob lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água

RESUMO: A palma forrageira, apesar de adaptada ao Semiárido brasileiro, pode ser influenciada pelas condições edafoclimáticas desta região. Assim, a presente pesquisa objetivou avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação e de níveis de salinidade da água no cultivo da espécie Orelha de Elefante Mexicana. A pesquisa foi conduzida em vasos a céu aberto na Universidade Federal de Campina Grande entre setembro de 2017 e dezembro de 2018. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições. Os fatores consistiram de quatro lâminas de irrigação (25, 50, 75 e 100%) em função da capacidade total de água no solo e quatro níveis de condutividade elétrica da água: 0,60; 3,00; 5,40 e 7,80 dS m⁻¹. Foram determinadas a evapotranspiração de referência (ET₀), a evapotranspiração real (ET_r) e o coeficiente de cultivo (k_c). E foram avaliadas variáveis morfométricas, fisiológicas e de biomassa da cultura. A aplicação de lâminas de irrigação compreendidas na faixa de 320,00 a 460,00 mm favorece a ET_r da palma forrageira e mesmo sob condições salinas a planta mantém sua demanda evapotranspirométrica. O k_c variou entre 0,68 e 0,85. O crescimento da cultura não foi afetado pelas lâminas de irrigação e níveis salinos, exceto a espessura de cladódio secundário. O aumento da salinidade reduziu o conteúdo de água na planta e aumentou a porcentagem de eletrólitos extravasados. A salinidade limiar da palma Orelha de Elefante Mexicana de 2,23 dS m⁻¹ e a lâmina de 354,00 mm resultaram em maiores valores de produção de massa fresca total de, respectivamente 9,34 e 5,94 kg.

Palavras-chave: *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth; disponibilidade hídrica; condutividade elétrica da água.



Agronomic performance of forage palm under irrigation water depth and levels of salinity

ABSTRACT: Although the adaptation of forage palm to the Brazilian semiarid region, it may be influenced by soil and climatic conditions. Thus, the present research aimed at analyzing the effect of irrigation water depth and salinity levels on the cultivation of Orelha e Elefante Mexicana species. The study was carried out in pots (open to sky) in the federal University of Campina Grande, from September 2017 to December 2018. Experimental design was randomized blocks in a factorial scheme 4x4, with 4 replications. Four irrigation water depths were applied (25, 50, 75 and 100%) as a function of water retention capacity in soil and four levels of electrical conductivity: 0.60; 3.00; 5.40 and 7.80 dS m⁻¹. Reference evapotranspiration (ET₀), real evapotranspiration (ET_r) and cultivation coefficient (k_c) were estimated. Morphometric and physiological variables and crop biomass were evaluated. The application of irrigation water depths of 320.00 to 460.00 mm benefits forage palm ET_r, even under saline conditions, the plant maintains its evapotranspirometer demand. K_c varied between 0.68 and 0.85. The plant growth was not affected by irrigation water depth and levels of salinity, except for the thickness of the secondary cladode. Increase in salinity reduced water in plant and increased percentage electrolytes leakage. Maximum salinity of forage palm Orelha de Elefante Mexicana of 2.23 dS m⁻¹ and water depth of 354.00 mm obtained the best results of total fresh mass production 9.34 and 5.94 kg, respectively.

Keywords: *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth; water availability; water electrical conductivity.



1. INTRODUÇÃO

A região do Semiárido é caracterizada por apresentar escassez e irregularidades de chuvas, elevada evaporação anual, superior a 2000 mm, e solos rasos com baixa capacidade de retenção de umidade limitando às atividades agropecuárias no Nordeste brasileiro (SILVA et al., 2014b). Estas condições acarretam estacionalidade de produção das culturas no período seco, e isso inclui a redução da disponibilidade de forragem para alimentação animal. Neste cenário, a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) se destaca como planta forrageira capaz de mitigar os efeitos do baixo rendimento da pecuária. Isto porque a eficiência de utilização de água do solo pelo gênero *Opuntia* é cerca de 100 a 150 litros de água para cada quilograma de matéria seca produzida, enquanto as gramíneas necessitam, para produzir a mesma quantidade de matéria seca, de um volume de água que varia de 250 a 350 litros (LARCHER, 1986).

As espécies de palma forrageira são cactáceas com maior potencial de exploração no Nordeste do Brasil constituindo-se em importante recurso forrageiro nos períodos de estiagens, devido ao seu elevado potencial de produção de fitomassa nas características ambientais do semiárido (CAMPOS et al., 2017). Apesar de serem espécies adaptadas a esta região, as condições meteorológicas locais exercem uma forte influência no desenvolvimento da planta, logo que o déficit hídrico pode promover uma redução do conteúdo de água e do potencial hídrico e resultar em perda de turgescência, fechamento dos estômatos, redução do crescimento e, conseqüentemente, decréscimo da produção final. Desta forma, a realização de eventos de irrigação torna-se uma prática preponderante para o sistema de produção devendo-se considerar o processo de evapotranspiração, além da resposta das plantas as diferentes condições de disponibilidade de água no solo (SILVA et al., 2012).

Embora a água seja fator limitante para a produção agrícola no semiárido, torna-se necessária a busca de melhores alternativas para o desenvolvimento das culturas com o intuito de otimizar o uso da água, a partir de determinações das necessidades hídricas de acordo com as características edafoclimáticas de cada região. Assim, a obtenção de estimativas de evapotranspiração da cultura permite a determinação do consumo total de água requerida pela planta e propicia um manejo adequado da irrigação favorecendo o incremento da produção.

A utilização de água de qualidade inferior tem sido a alternativa encontrada por muitos produtores do Nordeste para minimizar os efeitos da escassez hídrica às plantas. Todavia, deve-se considerar que à qualidade da água disponível para irrigação em diversas localidades do Semiárido brasileiro contém elevados teores de sais solúveis. Nestas circunstâncias, o acúmulo de sais no solo

pode fazer com que a necessidade hídrica da planta se modifique devido a alterações no processo de absorção de água e evapotranspiração bem como pode contribuir ainda mais com a degradação do solo (TOLEDO et al., 2017). Segundo Ribeiro et al. (2016a), a salinidade é um dos estresses abióticos que mais limita a produção agrícola em razão de seus efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento vegetal.

A sensibilidade das culturas aos sais da água e do solo evidencia a necessidade de pesquisas que tenham como meta a obtenção de tecnologias viáveis para os produtores e que possam minimizar os efeitos da salinidade às plantas (SOUSA et al., 2012).

O conhecimento do consumo hídrico da palma permite definir o manejo adequado da irrigação a fim de maximizar a produção final e, assim, contribuir com a renda do produtor rural. O estudo dos efeitos da salinidade no consumo hídrico, no crescimento, na fisiologia e na produção da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) é de grande relevância, tendo em vista que esta forragem tem sido utilizada como alternativa para alimentação animal pelos agricultores da região Semiárida nas épocas de seca. O entendimento dos efeitos dos sais da água e do solo sobre a palma colabora com a avaliação da viabilidade do uso de água salina na agricultura para o cultivo da mesma. O aproveitamento de água salina contribui, ainda, com a economia de água em regiões com baixa disponibilidade hídrica, a partir do uso de água de qualidade inferior para irrigação, mantendo-se a água de boa qualidade para fins mais nobres como consumo humano e a dessedentação de animais.

No que tange à palma forrageira, alguns autores (SALES et al., 2013; SILVA et al., 2015a; LIMA et al., 2016; CRUZ NETO et al., 2017; AMORIM et al., 2017) desenvolveram estudos visando avaliar as relações hídricas da cultura, seu crescimento e produtividade em diferentes condições de manejo. Entretanto, poucos são os trabalhos que abrangem as necessidades hídricas da cultura ao longo de seu ciclo, em função da aplicação de lâminas de irrigação e que relacionem os efeitos da salinidade da água de irrigação na planta.

Desta forma, verifica-se a necessidade de estudos que visem o aprimoramento dos sistemas de produção da palma forrageira e a manutenção do agricultor no campo, assim como o uso de água salina no âmbito agrícola, dado o atual cenário de escassez hídrica, e o desenvolvimento técnico-científico de estudantes e pesquisadores.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar o efeito da aplicação de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação no consumo hídrico, no crescimento, na fisiologia e na produção da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth).

2.2 Objetivos específicos

- Determinar a evapotranspiração de referência (ET_0) pelo método de Penman-Monteith – FAO 56;
- Estimar a evapotranspiração real (ET_r) da cultura por meio do balanço de água no solo a partir de método gravimétrico;
- Determinar o coeficiente de cultivo único da palma forrageira (k_c);
- Avaliar parâmetros morfométricos, fisiológicos e de biomassa da palma forrageira e;
- Determinar a salinidade limiar da palma forrageira.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Relevância da palma forrageira no Nordeste brasileiro

A pecuária na região semiárida do Brasil sofre influências da variabilidade temporal e espacial das chuvas, o que gera a busca por plantas forrageiras que sejam adaptadas às condições climáticas locais. Entre essas plantas a mais utilizada na alimentação animal no Nordeste brasileiro é a palma forrageira, uma espécie xerófila que devido as suas características morfofisiológicas possui certa tolerância a ambientes com escassez de água, alta temperatura e solos de baixa fertilidade (PEREIRA et al., 2015b).

A palma é uma espécie que se sobressai no semiárido brasileiro em relação a outras forrageiras por fazer parte da base alimentar de caprinos e ovinos que constituem grande importância social e econômica para os produtores da região. Esta cultura constitui relevante recurso forrageiro colaborando para atender a demanda de alimentos no período de estiagem, devido a sua rusticidade, elevado potencial de produção, alta palatabilidade e alto valor energético, quando comparada a outras espécies da vegetação nativa. A palma pode ser utilizada na substituição total ou parcial de outros ingredientes com maior custo de produção, como o milho. Também representa uma valiosa contribuição no suprimento hídrico dos animais por conter, em média, 90% de água nos seus cladódios. Pesquisas que avaliaram ruminantes consumindo dietas com inclusão de palma superior a 50% registraram diminuição de consumo de água de 87% em ovinos e 74% em vacas holandesas (FRANCISCO et al., 2015; LIMA et al., 2015).

Estima-se que o semiárido brasileiro possua uma área cultivada com esta cactácea superior a 600 mil ha destinada à produção de forragem (FROTA et al., 2015). Dentre as espécies mais cultivadas estão as *Opuntias* com cerca de 40.000 ha desta planta nos estados nordestinos da Paraíba, Pernambuco e Alagoas. O custo de raquetes-sementes sadias para o plantio varia entre R\$ 0,20 a 0,40 por unidade. Se plantada no adensamento de 40 mil plantas por hectare, a palma forrageira pode superar o milho na produção de energia por hectare. E numa produção de 350 t de matéria verde ha⁻¹ ano⁻¹ a cultura disponibiliza 315 mil litros de água. Com a severa escassez de água para os animais no período seco, essa característica das palmas tem importância estratégica (LIMA et al., 2015).

A razão do maior interesse nas *Opuntias* e, em particular, na *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth é a importante função que elas podem ter no sucesso dos sistemas de agricultura sustentável em zonas áridas e semiáridas. Isso se deve a seu alto grau de resistência à seca, às altas temperaturas, a sua adaptabilidade a solos pouco férteis, a sua alta produtividade decorrente de sua alta eficiência no uso da água, bem como à função econômica que pode desempenhar no aumento da viabilidade e eficiência econômica, nos lotes pequenos e médios de agricultores de baixa renda, que buscam produzir para sua subsistência (FAO, 1995).

3.2 Aspectos gerais da cultura

As espécies de palma forrageira pertencem à família Cactaceae Juss. Nessa família, existem 178 gêneros com cerca de 2.000 espécies conhecidas. Dentre as espécies mais cultivadas de palma forrageira para alimentação animal destacam-se: Miúda ou Doce (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), Baiana ou IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth). De modo geral, as cultivares do gênero *Opuntia* toleram secas mais intensas e são mais resistentes à cochonilha de escamas (*Diaspis echinocacti* Bouché) quando comparadas ao gênero *Nopalea*. Este gênero, por sua vez, possui maior resistência à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell) (VASCONCELOS et al., 2009).

As plantas da espécie *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth pertence à divisão Embryophyta, subdivisão Angiospermea, classe Equisetopsida C. Agardh, subclasse Magnoliidae Novák ex Takht., família Cactaceae e gênero *Opuntia* (TROPICOS, 2020). É uma espécie suculenta e espinhosa sendo nativa do sudeste dos Estados Unidos, leste do México e algumas ilhas do Caribe (SHACKLETON et al., 2017). São do tipo arborescente com mais de 1 m de altura; coroa larga; glabra; cladódios obovalados com 30-60 cm de comprimento, 20-40 cm de largura, verde escuros, cobertos com uma camada de cera (ZAPPI et al., 2015). O cladódio é uma elipse formada por: pele,

casca, um anel de tecido vascular feito de feixes colaterais separados por tecido parenquimatoso, e de uma medula que é o principal tecido suculento (TING, 1988; FAO, 1995). De acordo com os mesmos autores, os estômatos estão distribuídos uniformemente sobre ambos os lados da superfície dos cladódios e estão dispersos aleatoriamente não sendo muito numerosos (geralmente de 15 a 35 estômatos por mm^2). As flores são da cor amarela com 25-30 mm de comprimento. A fruta é doce, suculenta, comestível, com 40-60 mm de comprimento e 25-30 mm de largura (PINKAVA, 2004). Possui um sistema de raízes superficiais e carnosas, com uma distribuição horizontal. A distribuição das raízes pode depender do tipo de solo e do manejo da plantação. Sob condições favoráveis de solo se desenvolve uma raiz estendida, que penetra quase 30 cm no solo; sob condições de seca, como as que ocorrem em regiões áridas e semiáridas, se desenvolvem raízes laterais carnosas a partir da raiz principal com a função de absorver água em níveis baixos. Todavia, em todos os tipos de solo, a massa de raízes absorventes se encontra nos primeiros centímetros, com uma profundidade máxima de 30 cm e uma dispersão de 4 a 8 m (TING, 1988; FAO, 1995).

Os aspectos morfofisiológicos que tornam a palma uma opção interessante para zonas áridas e semiáridas estão ligados à cutícula impermeável, ao menor número de estômatos e ao aparelho fotossintético. Seu metabolismo ácido das crassuláceas (*crassulacean acid metabolism* - CAM) tem a capacidade de captar a energia solar durante o dia e fixar o CO_2 durante a noite, reduzindo a perda de água por transpiração. Desta forma, obtém maior eficiência no uso da água, sendo 10 vezes mais eficiente que uma planta de metabolismo fotossintético C3 (ROCHA, 2012). A transpiração envolve a evaporação da água que se encontra dentro dos órgãos fotossintéticos (cladódios), cujos espaços internos de ar se saturam de vapor de água. Os poros dos estômatos da *O. ficus-indica* ocupam apenas 0,50% da superfície da planta, mesmo quando estão completamente abertos, enquanto que os estômatos das folhas de plantas altamente produtivas do tipo C3 ou C4 ocupam duas a três vezes mais sua área foliar. Durante um período de 24 horas, as *Opuntias* podem transpirar 11,3 moles (203 g) de água por m^2 de superfície, enquanto que a planta C4 altamente produtiva pode perder cerca de 2,9 vezes mais e uma planta C3 até 4,7 vezes mais (FAO, 1995). Todavia, Silva et al. (2015b) afirmam que algumas espécies CAM ajustam seu padrão de captura de CO_2 em plantas C3, quando submetidas a maiores condições de disponibilidade hídrica.

O potencial produtivo das espécies de palma forrageira ocorre em 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. A amplitude térmica está situada entre 10,0 °C e 17,2 °C. A faixa ideal de precipitação se concentra entre 368,4 mm e 812,4 mm, embora possa ser cultivada com 200 mm, e umidade relativa no período noturno entre 55 e 60% (ROCHA, 2012).

A realização do primeiro corte da palma forrageira manejada em condições de sequeiro ocorre aos dois anos após o plantio e a realização de cortes subsequentes a cada dois anos. Em sistema de cultivo irrigado, pode-se realizar o primeiro corte aos 12 meses e os cortes subsequentes de acordo com a necessidade de forragem (LIMA et al., 2015).

Estudos conduzidos com espécies de palma forrageira demonstram que embora a cultura tolere condições extremas de seca, a aplicação de eventos suplementares de irrigação favorece o desempenho produtivo e, assim, contribui com o aumento da disponibilidade de alimentos, especialmente no período de seca (BARBOSA et al., 2017). Segundo Santos et al. (2006), a palma pode alcançar produtividade de até 40 toneladas de matéria seca por hectare em cultivo de sequeiro e benefícios produtivos da aplicação de lâminas de água às plantas podem ser notados sendo mais evidentes em regiões com reduzidos níveis pluviométricos. Entretanto, informações científicas relativas ao cultivo de palma forrageira sob sistemas de irrigação ainda são incipientes.

De acordo com Oliveira et al. (2010), existe pouco conhecimento a respeito da necessidade hídrica da palma para que a mesma alcance elevada produção. E na literatura a maioria dos trabalhos com palma forrageira são descritos na espécie *Opuntia ficus-indica*, sendo escassos trabalhos de produção vegetativa com a espécie *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth.

3.3 Agricultura biossalina

O aumento do potencial produtivo da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth associado ao uso de sistemas de irrigação, apesar de contraditório para regiões de escassez hídrica, deve ser considerado. Para tanto, o uso de águas salinas na agricultura deve ser pensado tendo em vista a qualidade das águas das fontes hídricas disponíveis em zonas áridas e semiáridas que, geralmente, possuem elevada concentração de solutos em decorrência dos processos de eutrofização e salinização. O processo de salinização envolve a concentração de sais solúveis na solução do solo e resulta na formação dos solos salinos com a acumulação de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ nos horizontes do solo. Os principais sais encontrados são os cloretos e sulfatos de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} sendo que carbonatos e nitratos são encontrados em quantidades reduzidas (RESENDE et al., 2014; PEDROTTI et al., 2015).

No Nordeste do Brasil, ocorre a maior parte de áreas salinizadas devido à precipitação pluviométrica limitada, a elevada demanda evapotranspirativa, à drenagem deficiente e utilização de águas de irrigação com alto teor de sais. Segundo Gheyi et al. (2010), o Semiárido brasileiro apresenta precipitação média anual de 750 mm, embora em algumas áreas a precipitação média não ultrapasse os 400 mm anuais. A evapotranspiração potencial média atinge 2500 mm ano, gerando

elevados déficits hídricos. Este déficit favorece a concentração de solutos nas fontes hídricas, degradando a qualidade das águas. A predominância de rochas cristalinas no subsolo em grande parte do Semiárido impõe características salobras e salinas às águas subterrâneas, dificultando seu aproveitamento para consumo humano. Mesmo com essas limitações, essas águas têm importância do ponto de vista social, podendo atender às necessidades das famílias na utilização destas águas na irrigação bem como criação de animais.

No Estado da Paraíba, Nordeste brasileiro, as condições climáticas marcantes devido às irregularidades tanto espacial quanto temporal do seu regime de chuvas (FRANCISCO et al., 2015) associadas a outros fatores acarreta, sobretudo, na redução da produtividade de forragens. Portanto, uma alternativa, para minimizar os efeitos deletérios da falta de chuvas às culturas é o uso de sistemas de irrigação. O uso de águas salinas deve ser considerado na irrigação tendo em vista a escassez dos recursos hídricos, todavia, o manejo de águas salinas na agricultura deve ser feito de maneira que não ocorra a salinização do solo assim como de forma a não prejudicar a cultura. Segundo Lima et al. (2015), resultados satisfatórios do uso de águas salinas na irrigação de palma forrageira estão associados à boa drenagem, profundidade e participação de areia (> 75%) nos solos, associada à pequena quantidade de água utilizada e conseqüentemente de sais, que sofrem lavagem anual com a chegada das chuvas.

É neste contexto que se observa a importância do desenvolvimento da agricultura bioassalina que consiste no uso de águas salinas, geralmente em solos salinos ou salinizados, para o cultivo de espécies tolerantes ao estresse salino (espécies halófitas), quando a água e solos de boa qualidade se tornam escassos, através da aplicação de métodos adequados de irrigação (GHEYI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2017).

3.3.1 Tolerância da cultura a salinidade

Apesar das espécies de palma forrageira não serem consideradas tolerantes a salinidade, segundo Lima et al. (2015), a agricultura bioassalina já é uma realidade para os produtores desta região haja vista que essas águas têm sido utilizadas na irrigação desta cactácea em campos experimentais e estabelecimentos privados, com produtividades acima de 20 t de matéria seca por hectare ano⁻¹ de *Opuntia* e *Nopalea*. Os autores afirmam ainda que informações científicas sobre a utilização de águas salinas e suas conseqüências nos diferentes tipos de solo do semiárido precisam ser obtidas também para a cultura da palma.

A salinização do solo acarreta efeitos negativos as plantas pelo aumento do potencial osmótico do solo que resulta em maior gasto energético pela planta no processo de absorção da

água do solo e dos demais elementos vitais; pela toxicidade iônica, principalmente sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em concentrações elevadas causam distúrbios fisiológicos nas plantas. A salinização também pode ocasionar desequilíbrio nutricional em virtude da significativa alteração nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta. A alteração nos valores de pH do solo também reduzem a disponibilidade de micronutrientes. A salinidade afeta negativamente a absorção de água pelas raízes. A presença de sais na solução do solo acarreta na diminuição do potencial hídrico externo. O déficit hídrico nos tecidos das plantas em decorrência do efeito osmótico pode provocar o fechamento estomático para reduzir as perdas de água por transpiração, reduzindo conseqüentemente a taxa fotossintética o que afeta o desenvolvimento e produtividade das plantas ao longo do seu ciclo (GHEYI et al., 2010; SILVA et al., 2013a; PEDROTTI et al., 2015).

Sendo assim, o uso de águas salinas na irrigação da palma forrageira requer estudos mais aprofundados. Segundo Freire (2012), a palma não apresenta tolerância ao estresse salino. Em condições de salinidade, as plantas têm seu crescimento reduzido devido às modificações na entrada e metabolismo dos íons, potencial hídrico, nutrição mineral, fechamento estomático e eficiência fotossintética. Todavia, Lima et al. (2015) ao utilizar água salina na irrigação da palma, com condutividade elétrica superior a 5 dS m^{-1} e considerada de alta salinidade e de níveis elevados de cloreto, verificaram que para um período de seis anos a produtividade não foi afetada e não houve prejuízos ao solo. Contudo, a literatura ainda não definiu níveis de salinidade limiar para os distintos gêneros de palma forrageira.

3.4 Consumo hídrico da palma forrageira

Outro fator fundamental para a irrigação da palma forrageira, dentre outras culturas, é o conhecimento do consumo hídrico durante seu ciclo tanto em relação à potencialização da produtividade quanto à racionalização do uso dos recursos hídricos. Todavia, apesar da irrigação ser apontada como benéfica ao aumento produtivo da palma, o excesso de água no solo pode comprometer a produção tendo em vista que esta é uma cultura adaptada às condições do semiárido. Desta forma, irrigações excessivas podem prejudicar a aeração do solo e favorecer o desenvolvimento de doenças nas plantas, em especial a podridão, devido à ação de fungos e bactérias. Na palma forrageira Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) a elevada umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica favorecem a intensidade de doença nos plantios (LIMA et al., 2017; SOUZA et al., 2017). Portanto, informações que caracterizem a resposta das plantas a diferentes níveis de disponibilidade hídrica são importantes para a definição das

estratégias de manejo visando o máximo aproveitamento de água pela cultura (PEREIRA et al., 2017).

O parâmetro que reflete o consumo de água pelas plantas é a evapotranspiração da cultura (ET_c) sendo de grande relevância para a irrigação, podendo ter a mesma importância que a precipitação, pois representa, teoricamente, a quantidade de água necessária a ser reposta na irrigação (CAMARGO; SENTELHAS, 1997). A ET_c reflete, portanto, a máxima perda de água de uma cultura, em qualquer estágio de desenvolvimento em condições de nenhuma restrição de água, quando existem ótimas condições de umidade e nutrientes no solo, de modo a permitir a produção potencial da cultura. A evapotranspiração da cultura expressa à ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água do solo e de transpiração das plantas e é função do balanço de energia, da demanda atmosférica e do suprimento de água do solo às plantas (CARVALHO et al., 2011; ADORIAN et al., 2015). A evapotranspiração varia entre as espécies e em função do manejo da cultura (ALLEN et al., 1998). Em condições naturais, a quantidade efetiva de água utilizada pela planta é definida como evapotranspiração real (ET_r) (BISPO et al., 2017).

A evapotranspiração real pode ser determinada pelo método do balanço de água no solo em um sistema de cultivo. Este método trata da quantificação, durante um determinado período de tempo, da lâmina de água que entrou (precipitação, irrigação, ascensão capilar e escoamento superficial) ou saiu (drenagem profunda, escoamento superficial e evapotranspiração) em um volume controle delimitado pela superfície do solo e pela profundidade do sistema radicular (LIBARDI, 1995; PEREIRA et al., 2015a). Associado ao método do balanço de água pode-se utilizar a gravimetria para a obtenção de dados relativos à umidade do solo para cômputo da variação do armazenamento de água no solo.

Em espécies cactáceas, de acordo com Morais et al. (2017), por conter elevado teor de água em seus cladódios, o método do balanço de água no solo pode causar interpretações errôneas da evapotranspiração da cultura, pois não considera o conteúdo de água retido nas plantas (nos parênquimas e nos vacúolos).

A estimativa da ET_c também pode ser obtida a partir da determinação da evapotranspiração de referência (ET_o), aplicando-se o coeficiente de cultivo (k_c). Este coeficiente considera condições ideais, sem limitações locais para o desenvolvimento da cultura, ou redução da evapotranspiração devido a restrições na água do solo, à densidade de plantio, a doenças, vegetação espontânea, a insetos ou à salinidade. O coeficiente de cultivo pode se constituir de um único valor (k_c único) ou da soma de dois valores. A aproximação do coeficiente da cultura duplo ou “dual” (k_c dual) calcula os aumentos reais no k_c durante cada dia em função das fases de desenvolvimento da planta e da

umidade da superfície do solo. Desta forma, os efeitos da transpiração e da evaporação de água do solo em k_c dual são determinados separadamente em função dos coeficientes basal da cultura (k_{cb}) e de evaporação da água do solo (k_e), respectivamente (SEDIYAMA, 1987; CARVALHO; OLIVEIRA, 2012; SILVA et al., 2012).

Devido à complexidade da transferência de água do sistema solo-planta-atmosfera há diversos métodos para estimar a evapotranspiração de referência (ET_o), desde os mais simples, com base empírica, até aqueles que apresentam embasamento físico consistente sobre o fenômeno. Segundo Ribeiro et al. (2016b), dentre esses métodos destacam-se: Jensen-Haise (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997), Ivanov (JENSEN, 1973), Thornthwaite (THORNTHWAITE; MATHER, 1948), Priestley-Taylor (PRIESTLEY; TAYLOR, 1972) e Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Contudo, o método de Penman-Monteith parametrizado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO) é considerado padrão para estimar a ET_o . O método fundamenta-se em aspectos físicos dos processos de evaporação e transpiração e incorpora explicitamente parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos da cultura de referência (ALLEN et. al., 1998).

Pereira et al. (2017) ao avaliarem o balanço de água no solo cultivado com clones de palma forrageira (IPA-Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) no Semiárido brasileiro sob a aplicação de lâmina de irrigação fixa (7,50 mm) em intervalos de 7, 14 e 28 dias, por nove períodos de 28 dias, observaram diferenças estatísticas significativas entre as componentes do balanço de água no solo ao longo do ciclo da cultura e entre as condições de irrigação. Todavia, não ocorreram diferenças no consumo de água entre os clones com valores de evapotranspiração real média diária de 1,50 mm. O coeficiente de cultivo também foi estimado pelos mesmos autores através da razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência, tendo sido obtido um valor médio de 0,29 ($\pm 0,12$) com ampla variação devido à sazonalidade do regime de água. Os autores concluíram que a evapotranspiração real foi mais dependente do regime hídrico que da demanda atmosférica, e que a evapotranspiração foi intensificada sob frequências de irrigação de 7 dias.

Silva et al. (2015b) obtiveram para três clones de palma forrageira (IPA-Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) cultivadas em regime de sequeiro, valores diários de evapotranspiração real pelo método do balanço hídrico do solo compreendidos entre: 0,71 e 4,22 mm para IPA-Sertânia; 0,86 e 5,42 mm para Miúda e; 0,74 e 5,29 mm para Orelha de Elefante Mexicana.

Silva et al. (2014c) ao avaliarem a evapotranspiração real de clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana e Miúda) quantificada por meio do resíduo do balanço de água no

solo, para intervalos de 14 dias, usando dados de conteúdo de água (θ) e propriedades físico-hídricas do solo, constataram que os clones com maiores magnitudes da evapotranspiração, apresentaram maior eficiência no uso do elemento sódio. Esse resultado pode ser indicativo de maior resistência, em ambiente semiárido, da espécie do gênero *Opuntia* já que o elemento sódio tem grande importância na atividade estomática de espécies CAM conferindo uma maior eficiência ao uso da água, que no mencionado estudo foi obtida pela Orelha de Elefante Mexicana, comprovada por seu maior desempenho produtivo em massa fresca.

A eficiência do uso da água é a relação entre a captação atmosférica do CO_2 e a perda diária de água que é uma medida da quantidade de água para produzir produtos fotossintéticos e, portanto, biomassa vegetal. Assim sendo, o consumo de água pela planta está diretamente relacionada ao seu desenvolvimento e produção. Em condições de disponibilidade hídrica adequada, essa eficiência é aproximadamente 3 vezes superior na *Opuntia* do que em plantas C4 e cerca de 5 vezes maior do que em plantas C3, o que se deve à quantidade relativa de transpiração diária. A vantagem pode ser ainda maior durante a seca, em que a água armazenada nos cladódios suculentos permitem que as trocas gasosas prossigam por um tempo maior em comparação com as plantas C3 e C4, que têm folhas finas e não suculentas (NOBEL, 1991; FAO, 1995). Gheyi et al. (2010) ressaltam que a suculência também é um dos mecanismos de adaptação ao estresse salino como forma de diluir os sais no citossol; o volume da célula aumenta diminuindo, assim, a concentração dos íons no protoplasto.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido a céu aberto na área experimental localizada no *campus* I da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, município de Campina Grande ($7^{\circ}12'52,56''\text{S}$; $35^{\circ}54'22,26''\text{O}$ e 532 m de altitude), Paraíba, no período 26 de setembro de 2017 a 11 de dezembro de 2018, totalizando 442 dias. Conforme a classificação climática de Köppen o clima da região é do tipo Csa, mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno.

Ao longo do período experimental, as condições climáticas foram monitoradas através da estação meteorológica automática de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ($7,22^{\circ}\text{S}$; $35,90^{\circ}\text{O}$ e 546 m de altitude) localizada a aproximadamente 1200 m de distância (em linha reta) da área experimental (Figura 1).

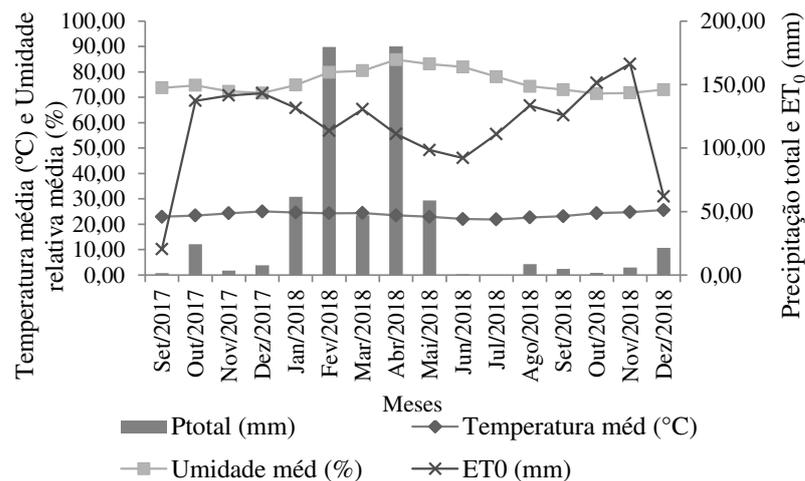


Figura 1. Condições de temperatura média (temperatura méd), umidade relativa do ar média (umidade méd), precipitação total (Ptotal) e evapotranspiração de referência (ET₀) da região de estudo para o período de realização da pesquisa

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4 x 4 com 4 repetições, totalizando 64 parcelas experimentais. Os fatores consistiram de quatro lâminas de irrigação (L1 = 25%, L2 = 50%, L3 = 75% e L4 = 100%) em função da depleção de água no solo a partir do valor de capacidade total de água no solo (CTA) e quatro níveis de salinidade da água de irrigação com condutividade elétrica (CE_a) de: S1 = 0,60 dS m⁻¹; S2 = 3,00 dS m⁻¹; S3 = 5,40 dS m⁻¹ e S4 = 7,80 dS m⁻¹; aplicados a palma forrageira Orelha de Elefante (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) (Figura 2). Foi considerado como tratamento controle aquele cuja lâmina de irrigação repôs 100% da capacidade total de água no solo e com menor valor de condutividade elétrica da água de irrigação (L4S1).

57 - L1S1B4	58 - L3S2B4	59 - L3S4B4	60 - L2S1B4	61 - L2S2B4	62 - L1S2B4	63 - L1S3B4	64 - L2S4B4
49 - L4S2B4	50 - L2S3B4	51 - L3S1B4	52 - L1S4B4	53 - L4S1B4	54 - L3S3B4	55 - L4S3B4	56 - L4S4B4
41 - L2S4B3	42 - L2S1B3	43 - L2S2B3	44 - L4S4B3	45 - L1S2B3	46 - L4S2B3	47 - L2S3B3	48 - L3S1B3
33 - L4S1B3	34 - L1S3B3	35 - L3S3B3	36 - L4S3B3	37 - L1S1B3	38 - L3S4B3	39 - L3S2B3	40 - L1S4B3
25 - L1S2B2	26 - L2S3B2	27 - L1S4B2	28 - L1S3B2	29 - L4S2B2	30 - L3S2B2	31 - L2S1B2	32 - L4S3B2
17 - L3S1B2	18 - L4S4B2	19 - L3S4B2	20 - L2S2B2	21 - L3S3B2	22 - L1S1B2	23 - L2S4B2	24 - L4S1B2
9 - L3S3B1	10 - L1S1B1	11 - L2S3B1	12 - L1S4B1	13 - L2S1B1	14 - L4S3B1	15 - L4S2B1	16 - L3S4B1
1 - L2S2B1	2 - L3S1B1	3 - L4S1B1	4 - L3S2B1	5 - L2S4B1	6 - L4S4B1	7 - L1S2B1	8 - L1S3B1

Cada cor representa os tratamentos com mesma lâmina de irrigação (L) em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (S) e seus respectivos blocos (B). A numeração que antecede a identificação dos tratamentos corresponde ao número do vaso (1 a 64).

Figura 2. Representação da distribuição do delineamento experimental na área de realização da pesquisa

4.3 Preparo das unidades experimentais e solo utilizado

O preparo da área para início da pesquisa constou de limpeza do local utilizando-se um trator agrícola de pequeno porte e da abertura de drenos escavados diretamente no solo no entorno da área para evitar possíveis alagamentos em decorrência de eventos de precipitação. Periodicamente, durante a condução da pesquisa, para a manutenção da área, era realizado o rebaixamento do capim nas linhas e fileiras compreendidas entre os vasos com o uso de roçadeira.

A pesquisa foi realizada em vasos de 120 litros dispostos com espaçamento de 1,30 m entre linhas e 1,00 m entre plantas, com uma planta por vaso. Os vasos foram pintados com tinta de cor branca para favorecer a reflexão da radiação solar e evitar o aquecimento excessivo do solo. Foram instalados dois drenos ao fundo de cada vaso conectados por mangueiras a coletores plásticos com capacidade para 2 litros (garrafas de polietileno tereftalato - PET) para permitir a drenagem no interior dos vasos. Os vasos foram apoiados sobre duas camadas de tijolos (Figura 3).



Figura 3. Preparo inicial da área para condução da pesquisa

Ao fundo, os vasos foram preenchidos com brita nº 1 (2,40 kg) coberta com tela têxtil, uma camada de areia grossa lavada (2,10 kg) e 170 kg de solo (0,268 m³), de acordo com a capacidade do vaso. O solo para enchimento dos vasos foi proveniente da Fazenda Cardeiro, zona rural do município de Soledade – PB. Foram realizadas análises do solo antes do início da pesquisa e ao final do período experimental para sua caracterização físico-química. A análise inicial foi realizada

pele Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG e constou de caracterização física (Tabela 1), fertilidade (Tabela 2) e salinidade (Tabelas 3A e 3B).

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica inicial do solo

Granulometria			Classificação Textural	Densidade do solo	Densidade de partículas	Porosidade	Umidade (% base solo seco)	
-----%-----			-	-----g cm ⁻³ -----		%	0,10 atm	15,00 atm
Areia	Silte	Argila						
82,79	11,86	5,35	Areia Franca	1,58	2,72	41,91	7,50	2,85

Tabela 2. Caracterização química (fertilidade) inicial do solo

Ca	Mg	Na	K	SB	H	Al	CTC	M.O.	P assimilável	pH H ₂ O (1:2,5)
-----meq 100 g ⁻¹ de solo-----								%	mg 100 g ⁻¹	-
1,07	2,41	0,20	0,13	3,81	0,56	0,0	4,37	1,15	0,57	6,75

SB - Soma de bases; CTC - Capacidade de trocas catiônicas; M.O - Matéria orgânica.

Tabela 3A. Caracterização química (salinidade) inicial do solo

CE	Cloreto	Carbonato	Bicarbonato	Sulfato	Ca	Mg	K	Na
mmhos cm ⁻¹	-----meq L ⁻¹ -----							
0,53	5,00	0,00	0,22	-	1,50	3,50	3,76	2,56

Tabela 3B. Caracterização química (salinidade) inicial do solo

PS	RAS	PST	Salinidade	Classe do solo
%	-	-	-	-
22,17	1,62	4,57	Não salino	Normal

PS - Porcentagem de saturação; RAS - Razão de adsorção de sódio; PST - Porcentagem de sódio trocável.

A análise final do solo (Tabela 4) foi realizada apenas para salinidade, pelo Laboratório de Solos do Departamento de Solos e Engenharia Rural da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Tabela 4. Caracterização química (salinidade) final do solo

Amostra	pH	CE	SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	RAS	PST
	-	dS m ⁻¹	-----mmol _c L ⁻¹ -----								mmol _c L ⁻¹	%
L1S1	6,73	0,62	0,22	4,00	3,50	3,15	0,63	0,00	10,00	6,50	1,63	1,13
L1S2	7,50	0,92	0,09	7,00	10,50	5,81	0,42	0,00	12,50	14,00	1,96	1,61
L1S3	5,78	3,17	0,08	9,00	9,50	20,20	1,25	0,00	12,50	49,00	6,64	7,86
L1S4	5,23	4,88	0,11	16,50	14,50	35,59	2,41	0,00	12,50	69,00	9,04	10,77
L2S1	5,48	0,56	0,50	3,00	7,50	2,23	0,34	0,00	10,00	5,00	0,97	0,17

L2S2	5,27	1,09	1,04	0,50	5,00	7,32	0,67	0,00	10,00	12,50	4,41	4,99
L2S3	4,99	3,40	0,35	3,00	3,75	24,12	1,51	0,00	7,50	37,50	13,13	15,33
L2S4	4,98	3,96	0,51	3,50	11,50	25,65	1,81	0,00	12,50	40,00	9,37	11,16
L3S1	5,35	0,93	0,61	2,50	4,25	4,71	1,15	0,00	12,50	7,50	2,56	2,46
L3S2	5,19	1,39	0,39	0,75	6,00	9,06	1,06	0,00	5,00	10,00	4,93	5,67
L3S3	4,99	2,35	0,31	0,75	7,50	16,65	1,16	0,00	7,50	25,00	8,20	9,77
L3S4	5,32	2,66	0,32	2,25	5,25	15,27	1,34	0,00	10,00	22,50	7,88	9,39
L4S1	6,03	0,40	0,61	11,00	13,50	2,42	0,62	0,00	40,00	19,00	0,69	0,00
L4S2	5,81	1,93	0,08	5,00	6,75	10,66	1,26	0,00	12,50	31,50	4,40	4,97
L4S3	5,54	2,04	0,15	10,00	11,00	12,24	1,41	0,00	12,50	34,00	3,78	4,13
L4S4	7,55	2,59	1,45	7,50	15,00	15,71	1,22	0,00	7,50	31,50	4,68	5,35

CE_{es} - condutividade elétrica do extrato de saturação; RAS - Razão de adsorção de sódio; PST - Percentagem de sódio trocável.

Ao final da pesquisa os tratamentos: L1S3, L1S4, L2S3, L2S4, L3S3, L3S4 foram classificados como salinos sódicos. Os tratamentos L4S3 e L4S4 foram classificados como salinos e os demais foram classificados como não salinos e não sódicos (Figura 4).

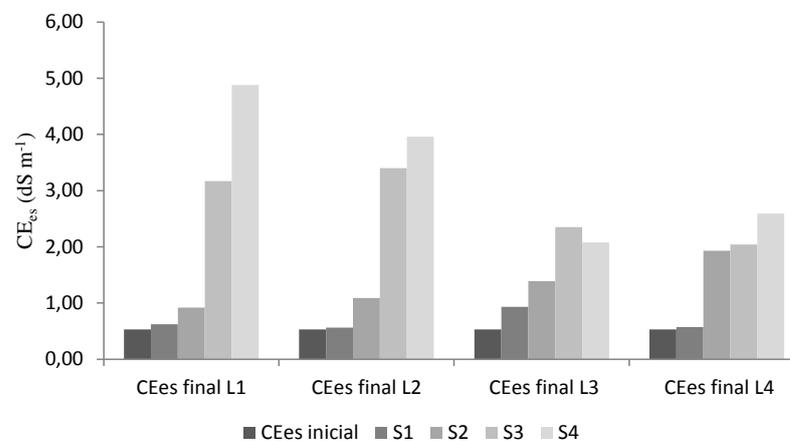


Figura 4. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) inicial e final em função das médias por lâmina irrigada (L1 = 25; L2 = 50; L3 = 75 e; L4 = 100% da capacidade total de água no solo – CTA) e níveis de salinidade da água de irrigação (S1 = 0,60; S2 = 3,00; S3 = 5,40 e S4 = 7,80 dS m⁻¹)

4.4 Material vegetal, adubação e tratos culturais

Os cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) utilizados no experimento foram provenientes da Estação Experimental Lagoa Bonita do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, localizada na zona rural no município de Campina Grande - PB. Foram utilizados cladódios secundários e com tamanhos aproximados para o plantio, procurando-se manter homogeneidade entre as plantas. Após o corte dos cladódios na Estação

Experimental, os mesmos permaneceram por 15 dias a sombra para perder o excesso de umidade, permitir a cicatrização das injúrias ocorridas no corte e, assim, diminuir as possibilidades de incidência de doenças. Os cladódios foram tratados através da aplicação de calda bordalesa 48 horas antes da realização do plantio (Figura 5), para prevenir a infestação por fungos e bactérias (ROCHA, 2012; GAVA; LOPES, 2012). O plantio foi realizado no ângulo de 45° em relação ao solo para que não ocorresse o tombamento das raquetes em função do vento e no sentido leste-oeste.



Figura 5. Cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana tratados com calda bordalesa

As adubações foram efetuadas conforme recomendação de Novais et al. (1991) para ensaios realizados em vasos mantendo-se doses iguais para todos os vasos. Foram aplicados nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) utilizando-se como fontes destes nutrientes a ureia, o cloreto de potássio (KCl) e o fosfato monoamônico (MAP), respectivamente. A dose total adicionada ao solo foi de 18,84 g de ureia, 50,85 g de KCl e 115,38 g de MAP. A adubação foi fracionada em 30% como adubação de fundação e a diferença foi dividida e aplicada mensalmente ao longo do período experimental.

Nos períodos em que foram identificadas incidências de cochonilha de escamas, as plantas de palma forrageira foram pulverizadas com uma solução contendo água, detergente neutro e óleo mineral, nas proporções recomendadas por Brito et al. (2008).

4.5 Irrigação

Os tratamentos foram iniciados aos 108 dias após o plantio (11/01/2018) e foram finalizados ao final do ciclo (442 dias após o plantio), totalizando 334 dias de aplicação, tempo este necessário para que a cultura se estabelecesse e para que todas as plantas apresentassem brotação de pelo menos um cladódio de primeira ordem com área superior a 18 cm². Para isto, o solo contido nos vasos foi colocado em capacidade de campo (09/01/2018) e a partir decaimento do conteúdo de água no solo (CTA), conforme as porcentagens pré-estabelecidas, é que se iniciou a aplicação das lâminas de irrigação com água salina (Figuras 6 e 7 para solo em capacidade de campo e brotação de cladódio primário, respectivamente).



Figura 6. Adição de água de chuva ao solo para que o mesmo atingisse a capacidade de campo



Figura 7. Emissão de cladódios de primeira ordem da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana para início dos tratamentos

A irrigação foi realizada manualmente através de recipiente graduado com frequência variável. Para a avaliação do decaimento da umidade em função da porcentagem da capacidade total de água no solo foram realizadas diariamente coletas de amostras de solo, nas profundidades de 15 e 30 cm (correspondentes à zona de maior distribuição do sistema radicular da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth), para determinação da umidade pelo método do forno elétrico (MATOS et al., 2017). As coletas de solo eram realizadas na parte da manhã entre 7h e 8h e as irrigações eram realizadas ao final da tarde entre 16:30h e 17:30h.

Com base no resultado da análise física do solo, foi determinada a curva característica da água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten por meio do programa computacional *Soil Water Retention Curve fit* (SWRT fit), a partir de valores de granulometria (%) e de densidade de partículas (g cm^{-3}) (Seki, 2007). Deste modo, o conteúdo de água no solo (umidade à base de volume, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) era determinado com base nas umidades obtidas pelo método gravimétrico através do forno elétrico, na profundidade do sistema radicular. O conteúdo de água no solo foi utilizado para a definição do momento de aplicação das lâminas de irrigação (quando irrigar), a lâmina a ser aplicada para que o solo retornasse a capacidade de campo (quanto irrigar) e para a obtenção de variáveis do balanço de água no solo.

Inicialmente utilizou-se água de chuva para colocar o solo em capacidade de campo, antes de se iniciar os tratamentos, e para preparar às águas com os distintos níveis de condutividade elétrica. A água foi coletada das calhas das casas de vegetação localizadas próximas a área experimental e armazenada em caixas de polietileno de 5000 L dispostas no local. No período de estiagem, em que o volume precipitado não foi suficiente para ser utilizado na irrigação passou-se a utilizar água proveniente da Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba – CAGEPA. As análises químicas das águas foram realizadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFGM (Tabelas 5A e 5B).

Tabela 5A. Parâmetros químicos da água de chuva utilizada na pesquisa

pH	CE	Ca	Mg	Na	K
-	dS m^{-1}	----- mg L^{-1} -----			
6,70	0,03	1,20	2,40	0,70	0,0

Cloreto	Bicarbonato	Carbonato	Sulfato	Dureza	Alcalinidade
-----mg L ⁻¹ -----					
0,0	20,13	0,0	0,0	13,20	16,50

Tabela 5B. Parâmetros químicos da água de abastecimento utilizada na pesquisa

pH	CE	Ca	Mg	Na	K
-	dS m ⁻¹	-----mg L ⁻¹ -----			
7,40	0,37	16,00	8,00	19,00	32,70

Cloreto	Bicarbonato	Carbonato	Sulfato	Dureza	Alcalinidade
-----mg L ⁻¹ -----					
46,79	75,64	0,0	35,04	73,12	62,00

O preparo das águas salinas para uso na irrigação foi realizado adicionando-se cloreto de sódio comercial (sem iodo), cloreto de cálcio e cloreto de magnésio a água nas proporções 7:2:1, respectivamente, a fim de se elevar a condutividade elétrica da água, conforme metodologia proposta por Richards (1954). As diluições foram realizadas em quatro caixas de polietileno de 500 L, cada caixa correspondeu a um tratamento com salinidade da água de irrigação. Semanalmente eram verificadas as condutividades elétricas das águas (CE_a) dos tratamentos para correção das mesmas, caso necessário.

4.6 Evapotranspiração de referência (ET₀)

Para a obtenção de parâmetros agrometeorológicos também foi utilizada a estação meteorológica automática de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Com os dados obtidos pela estação foi estimada a evapotranspiração de referência (ET₀) pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, conforme Allen et al. (1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

Em que: ET₀ - evapotranspiração de referência diária (mm d⁻¹); R_n - saldo diário de radiação (MJ m⁻² d⁻¹); G - fluxo diário de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); T - temperatura média diária do ar (°C); u₂ - velocidade média diária do vento a 2 m de altura (m s⁻¹); e_s - pressão de saturação do vapor d'água média diária (kPa); e_a - pressão de vapor média diária (kPa); Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T (kPa °C⁻¹); γ - coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0), pelo método de Penman-Monteith – FAO 56, foi realizada com o auxílio do programa computacional Ref-ET: *Reference Evapotranspiration Calculator* (ALLEN, 1992).

4.7 Balanço de água no solo

A evapotranspiração real (ET_r) da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth foi determinada pelo método do balanço de água no solo, expresso por Libardi (1995) e adaptado por Santana et al. (2016):

$$\Delta Arm = P + I \pm R \pm Q - ET_r \quad (2)$$

Em que: ΔArm - variação de armazenamento de água do solo (mm d^{-1}); P - precipitação (mm d^{-1}); I - irrigação (mm d^{-1}); R - escoamento superficial ou run off (mm d^{-1}); Q - lâmina que entra ou sai do contorno inferior (mm d^{-1}) podendo ser ascensão capilar (entrada) ou drenagem profunda (saída) e; ET_r - evapotranspiração real (mm d^{-1}).

Por se tratar de cultivo em vasos o escoamento superficial foi considerado nulo, sendo assim, a Equação 2 foi simplificada na Equação 3:

$$ET_r = P + I \pm Q - \Delta Arm \quad (3)$$

O balanço de água no solo foi realizado diariamente no período compreendido entre 11/01/2018 e 06/12/2018, totalizando 330 dias, para determinação de estimativas mensais da evapotranspiração real da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana. As estimativas de evapotranspiração foram determinadas em apenas uma repetição de cada tratamento por causa da necessidade de retirada de solo diariamente, em duas profundidades, para a obtenção de valores de umidade pelo método gravimétrico. Como a pesquisa foi realizada em vasos e para uma cultura de ciclo longo, não foi viável realizar a amostragem de solo em todas as repetições, pois periodicamente era preciso alternar entre as repetições do mesmo tratamento para que a raiz da planta não ficasse exposta e, com isso, pudesse prejudicar o desenvolvimento das plantas.

4.7.1 Componentes do balanço de água no solo

Através da estação meteorológica foram coletados registros de precipitação em valores horários (mm h^{-1}) que foram acumulados para obtenção de valores diários (mm d^{-1}) para aplicação no balanço de água no solo.

Para fins de cálculo, foi adotado o mesmo critério usado no balanço hídrico desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) e abordado por Pereira et al. (1997). Nesta simplificação, quando

a evapotranspiração real (ET_r) foi superestimada devido a elevados valores de precipitação, a evapotranspiração real foi igualada a evapotranspiração de referência (ET_0).

As lâminas de irrigação foram determinadas com base na capacidade total de água no solo ($L1 = 25\%$, $L2 = 50\%$, $L3 = 75\%$ e $L4 = 100\%$ da CTA), com frequência de irrigação variável e determinada pela depleção do conteúdo de água do solo correspondente às lâminas a serem repostas. A capacidade total de água do solo foi determinada a partir da disponibilidade total de água do solo, conforme Salassier et al. (2009):

$$DTA = \frac{(CC - PM)}{10} \times d_a \quad (4)$$

$$CTA = DTA \times Z \quad (5)$$

Em que: DTA - disponibilidade total de água do solo (mm cm^{-1} de solo); CC - capacidade de campo (% de peso); PM - ponto de murcha (% de peso); d_a - densidade do solo (g cm^{-3}); CTA - capacidade total de água no solo (mm) e; Z - profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

A variação do armazenamento de água no solo foi determinada com base em Lopes et al. (2004), para a profundidade de 0,15 m:

$$\Delta Arm = (\theta_2 - \theta_1) \times z \quad (6)$$

Em que: ΔArm - variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado (mm d^{-1}); θ_2 - umidade média no tempo final ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) correspondente a umidade determinada no dia; θ_1 - umidade média no tempo inicial ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) correspondente a umidade do dia anterior e; z - profundidade considerada para o balanço (mm).

O movimento de água no contorno inferior (Q) foi determinado pela equação de Darcy-Buckingham (PREVEDELLO, 1996):

$$q = -K(\theta) \frac{d\psi_t}{dx} \quad (7)$$

Em que: q - densidade de fluxo da água no solo (mm h^{-1}); K (θ) - condutividade hidráulica do solo (mm h^{-1}) e; $d\psi_t/dx$ - gradiente de potencial total em duas profundidades do volume de controle ($\Psi_{t1} - \Psi_{t2} / x_1 - x_2$) correspondentes à metade da profundidade da zona radicular e ao final da zona radicular (mm mm^{-1}).

O potencial total de água no solo foi estimado, conforme Gheyi et al. (2010):

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_{os} + \Psi_g \quad (8)$$

Em que: Ψ_m - potencial matricial (mm) Ψ_{os} - potencial osmótico (mm) e; Ψ_g - potencial gravitacional (mm).

A partir dos valores de umidade do solo obtidos pela gravimetria e pela curva característica de água no solo foi determinado o potencial matricial de água no solo (Ψ_m). O potencial osmótico foi considerado intrínseco ao potencial matricial, portanto, a Equação 8 foi simplificada na Equação 9:

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_g \quad (9)$$

O potencial gravitacional foi estimado de acordo com Reichardt (1990):

$$\psi_g = ((d \times g \times z) \times 0,0010) \times 10 \quad (10)$$

Em que: Ψ_g - potencial gravitacional (mm); g - 1000 cm s^{-2} ; d - densidade da água (1 g cm^{-3}); z - altura em relação a um referencial, neste caso, corresponde à profundidade da superfície do solo até os 15,0 cm (zona radicular); 0,0010 - fator de conversão de unidade (bária para cm de H_2O) e; 10 - fator de conversão de unidade (cm de H_2O para mm de H_2O).

A condutividade hidráulica do solo não saturado foi estimada conforme Prevedello (1996):

$$K(\theta) = K_0 w^L \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (11)$$

Em que: w - saturação relativa e é determinada por $w = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$; K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado (mm h^{-1}); L - parâmetro empírico e considerado de aproximadamente 0,5 para a maioria dos solos; θ - umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_r - umidade residual do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s - umidade de saturação do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e; m - parâmetro independente estimado pelos dados ajustados a partir do modelo de van Genuchten (1980), onde $m = 1 - 1/n$ (n - parâmetro independente estimado pelos dados ajustados a partir do modelo de van Genuchten).

A determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) foi realizada pelo método do permeâmetro de carga constante (YOUNGS, 1991).

4.8 Coeficiente de cultivo

O coeficiente de cultivo (k_c) foi obtido de acordo com Allen et al. (1998), ao final do ciclo da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth, pela razão entre a evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração real (ET_r):

$$k_c = \frac{ET_r}{ET_o} \quad (12)$$

Em que: k_c - coeficiente de cultivo (adimensional); ET_r - evapotranspiração real (mm d^{-1}); ET_o - evapotranspiração de referência (mm d^{-1}).

4.9 Variáveis de crescimento

As avaliações de crescimento foram realizadas ao final do ciclo, aos 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos ou 442 dias após o plantio, de acordo com a metodologia descrita por Borges et al. (2015) e constou de: altura de planta (AP, cm), medida desde o solo até o ápice; largura de planta (LP, cm) medida considerando-se as maiores extremidades longitudinais da planta; comprimento de cladódio de primeira ordem ou primário (CCP, cm) e segunda ordem ou secundário (CCS, cm); largura de cladódio primário (LCP, cm) e secundário (LCS, cm), perímetro de cladódio primário (PCP, cm) e secundário (PCS, cm) e espessura de cladódio primário (ECP, mm) e secundário (ECS, mm). Para medições de altura, largura, comprimento e perímetro (Figuras 8A, B e C) foi utilizada fita métrica e para medições de espessura foi utilizado paquímetro digital com precisão de 0,05 mm.

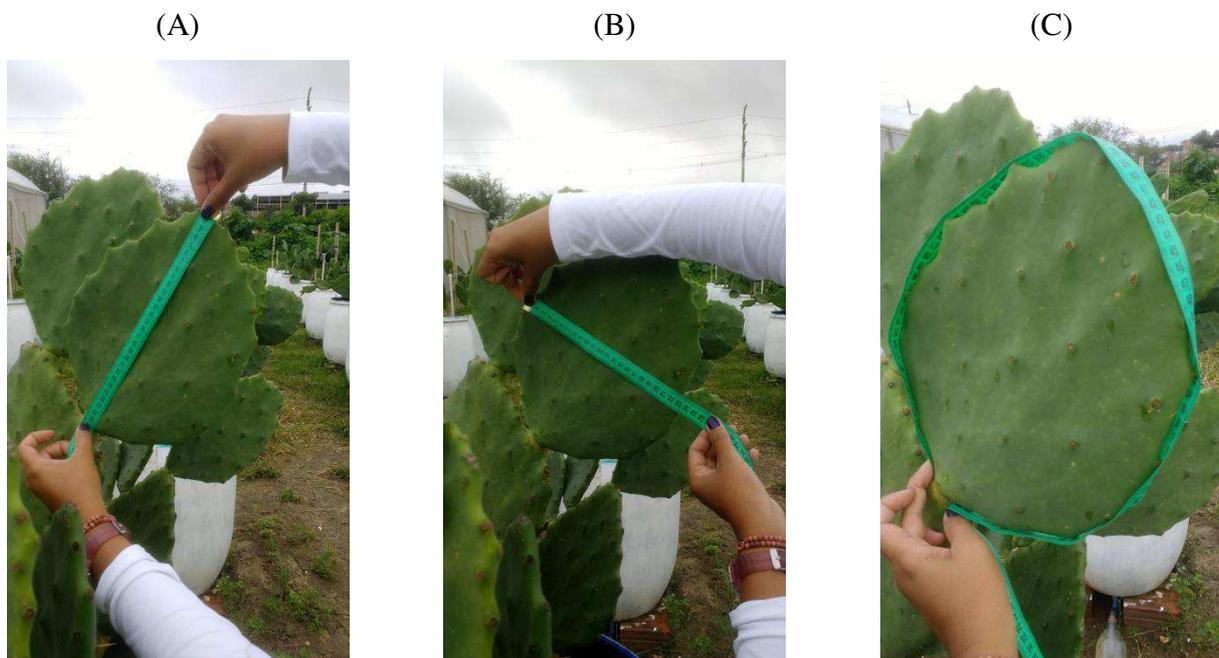


Figura 8. Avaliações de crescimento de comprimento de cladódio (A), largura de cladódio (B) e perímetro de cladódio (C)

As áreas de cladódios primário (ACP, cm²) e secundário (ACS, cm²) foram estimadas a partir das variáveis de comprimento e largura de cladódio, pela metodologia proposta por Santos et al. (2006), para palma forrageira (*Opuntia*):

$$AC = CC * LC * 0,693 \quad (13)$$

Em que: AC - área do cladódio (cm²); CC - comprimento do cladódio (cm); LC - largura do cladódio (cm) e; 0,693 - fator de correção em função do cladódio.

As avaliações de crescimento foram realizadas em todos os cladódios primários e secundários das 64 parcelas experimentais.

4.10 Variáveis fisiológicas

As avaliações fisiológicas ocorreram ao final do ciclo (442 dias após o plantio ou 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos) e constaram das variáveis de teor relativo de água (TRA, %) e extravasamento de eletrólitos (EE, %).

A determinação do teor relativo de água se baseou na metodologia de Cairo (1995) enquanto que a obtenção da porcentagem de eletrólitos extravasados foi embasada na metodologia descrita por Scotti & Thu Phan Thi (1997). Todavia, ambas as metodologias precisaram ser adaptadas para a cultura da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em virtude da planta ser uma espécie suculenta, a mesma apresenta características morfológicas próprias. Neste caso, ao invés da utilização de discos circulares foliares, utilizou-se três amostras com formatos cilíndricos extraídos de cladódios primários e secundários da mesma planta (Figuras 9A e 9B). Também foi necessário aumentar o volume de água deionizada de 20 mL para 30 mL adicionado ao Baker, para que fosse suficiente para submergir as amostras cilíndricas.



Figura 9. Adaptação da metodologia proposta para as avaliações fisiológicas com a extração de amostras com formatos cilíndricos de cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (A) e aumento do volume da água deionizada (B)

O teor relativo de água foi encontrado pela Equação 14:

$$TRA = \frac{PF-PS}{PT-PS} \times 100 \quad (14)$$

Em que: TRA - teor relativo de água (%); PF - peso da matéria fresca (g); PS - peso da matéria seca (g); PT - peso túrgido das amostras (g).

O extravasamento de eletrólitos na membrana celular foi obtido conforme a Equação 15:

$$EE = \frac{CE_i}{CE_f} \times 100 \quad (15)$$

Em que: EE - extravasamento de eletrólitos (%); CE_i - condutividade elétrica inicial ($dS\ m^{-1}$); CE_f - condutividade elétrica final ($dS\ m^{-1}$).

4.11 Variáveis de produção

Aos 442 dias após o plantio, equivalente aos 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos, foram realizadas as avaliações de produção. As variáveis de número de cladódios primário (NCP, unidade) e secundário (NCS, unidade) e número total de cladódios por planta (NCT, unidade) foram obtidas por meio de contagem direta, de acordo com Borges et al. (2015).

As variáveis de produção de biomassa foram obtidas, conforme metodologia proposta por Silva et al. (2014b), também ao final do período experimental. O corte dos cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana foi realizado mantendo-se apenas o cladódio principal em cada unidade experimental, para determinação da: massa fresca de cladódio primário (MFCP, kg por planta), massa fresca de cladódio secundário (MFCS, kg por planta) e massa fresca total por planta (MFT, kg por planta). Logo após a retirada dos cladódios, estes foram pesados em balança digital com precisão de 0,05 g (Figuras 10A e 10B).



Figura 10. Corte da palma forrageira para avaliação da produção (A) e separação e identificação dos cladódios para posterior pesagem (B)

Na sequência foram separados, identificados e pesados uma unidade de cladódio primário e uma unidade de cladódio secundário de cada uma das 64 unidades experimentais. Estas amostras foram necessárias na determinação da massa seca total (MST, kg por planta) através da relação entre a massa fresca média por planta (média entre massa fresca de cladódio primário e secundário) e massa seca média por planta (média entre massa seca de cladódio primário e secundário):

$$MST = \frac{MFT \times MSM}{MFM} \quad (14)$$

Em que: MST - massa seca total (kg por planta); MFT - massa fresca total (kg por planta); MSM - massa seca média (kg por planta) e; MFM - massa fresca média (kg por planta).

As amostras foram picadas, colocadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, pesadas a cada 48 horas, até que atingissem massa constante, para determinação da massa seca total.

4.12 Salinidade limiar

A salinidade limiar da palma forrageira (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) foi determinada através da derivada primeira da equação de ajuste gráfico das variáveis de produção de massa fresca de cladódios primário e secundário e massa fresca total, em função das lâminas de irrigação e dos níveis de salinidade da água de irrigação.

4.13 Análise estatística

Os dados de crescimento, fisiologia e produção foram submetidos ao teste de normalidade da distribuição (teste de Shapiro-Wilk) ao nível de 5% de probabilidade. As variáveis que demonstraram a não normalidade da distribuição foram transformadas utilizando-se a raiz quadrada. Subsequente ao teste de normalidade, foi realizada a análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para os fatores isolados de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação e para a interação entre os fatores (lâminas x salinidade).

Os dados que apresentaram efeitos significativos dos tratamentos foram ajustados por meio de regressão polinomial linear e quadrática (fatores isolados e interação entre os fatores) e pelo modelo de superfície de resposta (no caso de interação entre os fatores). Os resultados da interação entre os fatores foram apresentados no formato de superfície de resposta ($z = a + bx + cx^2 + dy + ey^2$) apenas para equações com ajustes gráficos com coeficiente de regressão (R^2) superiores a 0,60. Para valores inferiores de R^2 no modelo de superfície de resposta, as interações foram representadas por regressão polinomial linear e quadrática.

As análises estatísticas (Shapiro-Wilk e teste F) foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico Sisvar, na versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Para ajustar os modelos de superfície de resposta foi utilizado o *software* Table Curve 3D (SILVA et al., 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Agrometeorologia

5.1.1 Irrigação, evapotranspiração de referência e evapotranspiração real

Os resultados das frequências médias de irrigação em função dos tratamentos com lâminas e níveis de salinidade da água de irrigação encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Frequência média de irrigação em função das lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água

Tratamento	Frequência (dias)	Tratamento	Frequência (dias)	Tratamento	Frequência (dias)	Tratamento	Frequência (dias)
L1S1	2	L2S1	5	L3S1	9	L4S1	10
L1S2	2	L2S2	6	L3S2	10	L4S2	10
L1S3	2	L2S3	5	L3S3	9	L4S3	13
L1S4	3	L2S4	6	L3S4	8	L4S4	12

L1S1, L1S2, L1S3 e L1S4 (25% da capacidade total de água - CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente); L2S1, L2S2, L2S3 e L2S4 (50% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente); L3S1, L3S2, L3S3 e L3S4 (75% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente) e; L4S1, L4S2, L4S3 e L4S4 (100% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente).

De acordo com os resultados obtidos, as frequências médias de irrigação variaram entre 2 e 13 dias, conforme os tratamentos. Em geral, as menores frequências foram obtidas para os maiores níveis salinos da água de irrigação (S3 = 5,40 dS m⁻¹ e S4 = 7,80 dS m⁻¹).

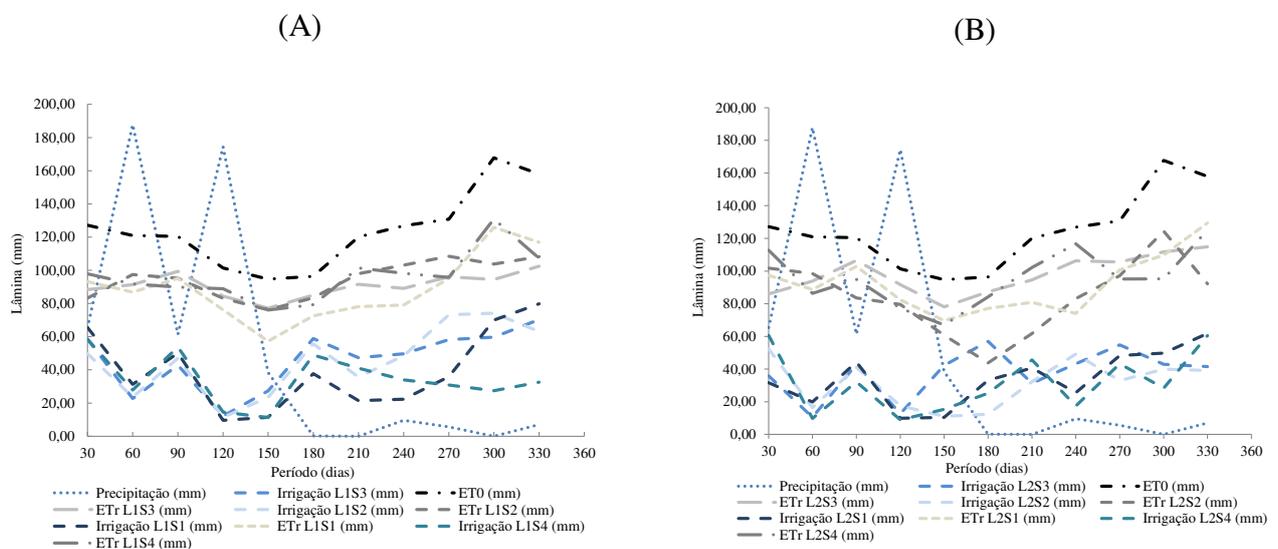
As menores frequências para as águas de irrigação com as maiores concentrações salinas ocorreram porque os sais presentes na água e depositados no solo provocaram alterações em suas propriedades físico-químicas. Esse processo pôde ser observado com a elevação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) para estes tratamentos (Tabela 4 apresentada na metodologia).

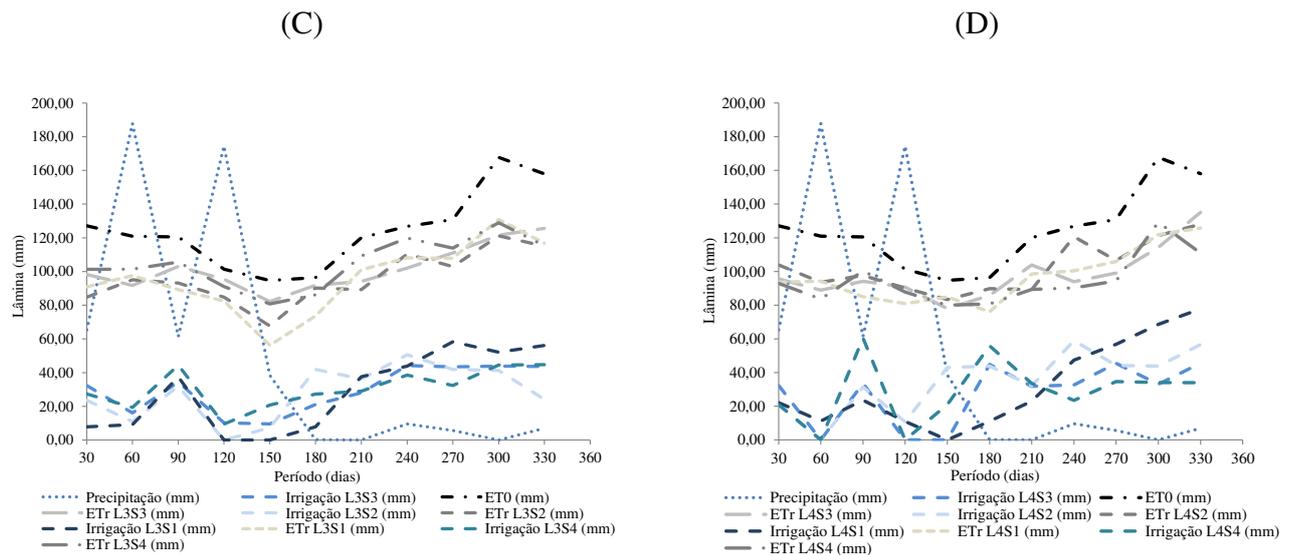
Segundo Queiroz et al. (2010), o acúmulo de sais no solo devido a irrigação compromete as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Em especial, em regiões de clima semiárido, onde há predomínio da evaporação sobre a precipitação. A salinização do solo reduz o potencial

osmótico de sua solução e pode acarretar na diminuição da disponibilidade de água às plantas (SOUZA et al., 2019).

Ao se comparar o mesmo nível salino para as distintas lâminas aplicadas observou-se uma redução progressiva das frequências de irrigação. Isto em virtude do momento de aplicação da irrigação ter sido determinado pelo decaimento da água no solo, em função da capacidade total de água no solo, através do balanço de água. Portanto, com o aumento das lâminas foi necessário o decorrer de um período superior (menor frequência de irrigação) para que ocorresse o decaimento da água no solo e a aplicação da irrigação.

Os resultados de precipitação (mm), evapotranspiração de referência (ET_0 , mm), lâminas aplicadas pela irrigação (mm) e evapotranspiração real (ET_r , mm) encontram-se apresentados na Figura 11 (A, B, C e D) para cada tratamento considerado de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação.





L1S1, L1S2, L1S3 e L1S4 (25% da capacidade total de água - CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m^{-1} , respectivamente); L2S1, L2S2, L2S3 e L2S4 (50% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m^{-1} , respectivamente); L3S1, L3S2, L3S3 e L3S4 (75% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m^{-1} , respectivamente) e; L4S1, L4S2, L4S3 e L4S4 (100% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m^{-1} , respectivamente).

Figura 11. Balanço de água no solo em valores mensais correspondente ao período de 11/01/2018 a 06/12/2018 (330 dias) em função das lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água

De modo geral, a partir do balanço de água no solo observou-se a mesma tendência para irrigação até os 120 dias para todos os tratamentos (Figura 11). Este mesmo período apresentou os maiores valores de precipitação, totalizando 489,00 mm, o que correspondeu a 88,94% do total precipitado (após início da aplicação dos tratamentos). É possível que a precipitação tenha descaracterizado as lâminas de irrigação aplicadas neste intervalo, pois a recarga da chuva ao solo foi igual para todos os tratamentos, retornando o solo a valores próximos a capacidade de campo. A precipitação também pode ter favorecido a lixiviação dos sais depositados pela água de irrigação ao solo franco arenoso. Com a diminuição da intensidade da precipitação, posterior aos 120 dias, observou-se a variabilidade das irrigações dentro da mesma lâmina para níveis de salinidade distintos.

Fonseca et al. (2019) em estudo realizado com diferentes lâminas e frequências de irrigação, níveis de salinidade da água e palma forrageira Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill), afirmaram que após a estação chuvosa não houve diferença significativa na salinidade do solo entre as diferentes condições de aplicação da água. O mesmo foi observado no corrente trabalho no período de maior precipitação.

A evapotranspiração de referência (ET_0) acumulada para os 330 dias avaliados foi de 1364,37 mm. Houve um declínio dos valores de ET_0 no intervalo compreendido entre 90 e 180 dias (meses de abril a julho) após o início da aplicação dos tratamentos em decorrência das características climáticas da região para este período (Figura 11). A máxima demanda mensal de ET_0 (167,74 mm), dentro do período de avaliação das variáveis agrometeorológicas, ocorreu aos 300 dias (entre o final de outubro e início de novembro), enquanto que a mínima mensal (94,67 mm) foi observada para os 150 dias (final de maio e início de junho).

Para a lâmina L1 (25 % da capacidade total de água – CTA), os valores totais de irrigação foram crescentes até a salinidade de $5,40 \text{ dS m}^{-1}$ (S3) e decaíram com o aumento da salinidade para o nível de $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, tendo este nível apresentado a menor lâmina irrigada (Figura 11A). A lâmina total aplicada de acordo com os diferentes níveis de salinidade da água de irrigação para L1 foi de: 434,88 mm ($S1 = 0,60 \text{ dS m}^{-1}$); 505,37 mm ($S2 = 3,00 \text{ dS m}^{-1}$), 507,63 mm ($S3 = 5,40 \text{ dS m}^{-1}$) e 380,67 mm ($S4 = 7,80 \text{ dS m}^{-1}$). Apesar disto, os tratamentos L1S2 e L1S3 apresentaram valores similares. A diferença percentual entre os valores máximo e mínimo irrigados, dentro da mesma lâmina para as distintas condutividades elétricas da água, foi de 25,01%. Isto demonstrou a influência do acúmulo de sais da água de irrigação no solo e seu efeito sobre a cultura da palma forrageira. Outro resultado que reforça o efeito da salinidade foi demonstrado pela frequência de irrigação em função dos níveis salinos, a qual foi de aproximadamente 2 dias para S1, S2 e S3 e de 3 dias para S4. Além disto, a condutividade elétrica final do extrato de saturação do solo foi maior para o tratamento S4 (Tabela 4 apresentada na metodologia). Com a salinização, o potencial osmótico do solo tende a permanecer mais negativo que o potencial da planta e, assim, a planta não consegue absorver a água presente no solo já que o movimento da água se dá do maior potencial para o menor potencial. Para que ocorra a absorção nestes casos, a planta precisa realizar o ajustamento osmótico, uma forma de tornar seu potencial osmótico mais negativo que o do solo e, com isso, conseguir absorver água. Em relação à evapotranspiração real (ET_r) dos tratamentos de lâmina de 25% da CTA, maiores magnitudes foram obtidas para o tratamento L1S4 com total acumulado igual a 1057,11 mm e ET_r mínima total acumulada para L1S1 igual a 976,24 mm.

Apesar de L1S4 ter apresentado a menor lâmina irrigada, neste tratamento foi observada a máxima ET_r em comparação com os demais níveis salinos. Isto possivelmente ocorreu pelo fato de que o íon sódio (Na^+) pode substituir, em parte, o potássio (K^+) como um soluto osmoticamente ativo. Este íon participa, deste modo, da osmorregulação e favorece um gradiente de potencial. A abertura estomática ocorre quando solutos são ativamente acumulados nas células-guarda. Esse acúmulo (e conseqüente redução do potencial de água nas células-guarda) causa um movimento

osmótico de água para o interior das células-guarda, aumentando sua pressão de turgor. O fechamento estomático ocorre por meio de processo inverso, ou seja, declínio da concentração de solutos nestas células. Em adição, o elemento sódio é fundamental para a regeneração do fosfoenolpiruvato, substrato da primeira carboxilação na rota CAM, e contribui para que o ciclo de Calvin não seja interrompido. Espécies CAM requerem, na maioria, íons sódio (WILLADINO; CAMARA, 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Embora a palma forrageira não seja considerada uma planta tolerante a salinidade, Willadino & Camara (2010) afirmaram que dentre os efeitos do acúmulo de Na^+ na planta destaca-se a redução da concentração de K^+ em função do incremento da salinidade, o que é reconhecido como um mecanismo de tolerância de algumas plantas associado à capacidade de absorção seletiva de K^+ .

A participação do sódio na regulação estomática também foi observada por Silva et al. (2014c). Os autores verificaram para clones de palma forrageira, com destaque a espécie do gênero *Opuntia*, que maiores magnitudes de ET_r apresentaram maior eficiência no uso do elemento sódio. Os autores constataram uma ET_r acumulada média de 1418 mm por ciclo, resultado este superior ao encontrado no presente trabalho para a lâmina L1 (25% da CTA) com a maior condutividade elétrica da água de irrigação (L1S4 - 1057,11 mm).

A lâmina L2 (50% da CTA) apresentou baixa variação dos valores acumulados de irrigação, entre os níveis salinos, para os 330 dias após o início da aplicação dos tratamentos (Figura 11B). Os resultados foram de: 375,42 mm (L2S1); 344,51 mm (L2S2); 415,31 mm (L2S3) e; 347,39 mm (L2S4). A lâmina máxima total irrigada ocorreu para o tratamento (L2S3). Foi observada a mesma frequência de irrigação para L2S1 e L2S3, de aproximadamente 5 dias, e de 6 dias para L2S2 e L2S4 ao longo do período avaliado. As maiores lâminas irrigadas apresentaram as menores frequências de irrigação. No que tange a ET_r , as maiores magnitudes foram encontradas para os tratamentos de salinidade S3 (5,40 dS m^{-1}) e S4 (7,80 dS m^{-1}) com valores acumulados de 1076,39 mm e 1056,91 mm, respectivamente. As demais salinidades apresentaram ET_r de 1012,98 mm (S1 = 0,60 dS m^{-1}) e 926,65 mm (S2 = 3,00 dS m^{-1}). Este resultado corrobora com Silva et al. (2014c) e Taiz & Zeiger (2013), cujos autores afirmaram a participação do sódio na regulação estomática contribuindo, portanto, com a elevação da taxa transpiratória.

Segundo Basu et al. (2017), o excesso de sais nas raízes das plantas altera o processo de transpiração, que é uma etapa crucial para a regulação e manutenção de água na planta. No entanto, para Anower et al. (2017), algumas plantas já apresentam naturalmente um grau de tolerância aos sais e isso se deve ao desenvolvimento de diversos mecanismos que vão desde modificações morfológicas, a modificações fisiológicas e bioquímicas. No caso da exposta pesquisa, ocorreram

resultados indicativos de que a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana apresentou grau de tolerância aos sais da água de irrigação possivelmente causada pela osmoregulação.

Quanto aos resultados obtidos para a lâmina L3 (75% da CTA) nos diferentes níveis de salinidade da água de irrigação (Figura 11C), o tratamento L3S4 (7,80 dS m⁻¹) apresentou o maior valor acumulado irrigado com 337,42 mm, seguido do S3 (5,40 dS m⁻¹) com 326,78 mm. Os tratamentos L3S1 (0,60 dS m⁻¹) e L3S2 (3,00 dS m⁻¹) apresentaram valores de 310,32 mm e 309,64 mm, respectivamente. As frequências de irrigação foram de 9, 10, 9 e 8 dias correspondentes aos níveis salinos da água de irrigação em ordem crescente. Diferentemente do que ocorreu com os tratamentos das lâminas L1 e L2, no tratamento L3 a maior frequência foi observada para a salinidade S4. Nesta salinidade também se observou um maior consumo de água pela cultura em comparação aos demais tratamentos de L3, cuja ET_r máxima acumulada foi de 1153,44 mm. Todavia, valor aproximado foi encontrado para L3S3 com ET_r de 1116,88 mm. Os tratamentos L3S1 e L3S2 apresentaram praticamente a mesma ET_r com 1054,83 mm e 1054,60, nesta ordem.

Fonseca et al. (2019) estudaram a palma forrageira Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob lâminas de irrigação em função da evapotranspiração de referência e diferentes frequências de irrigação (sequeiro; 5 litros de água por metro linear a cada 15 dias; 7% de ET₀ com intervalo de irrigação de 15 dias; 15% de ET₀ com intervalo de irrigação de 7 dias; 33% de ET₀ com intervalo de irrigação de 3 dias; 50% de ET₀ com intervalo de irrigação de 2 dias; e 100% de ET₀ com irrigação diária), com salinidade da água de irrigação de 3,60 dS m⁻¹. Estes autores constataram que mesmo com o uso de água salina, a irrigação oferece melhores condições para o desenvolvimento da cultura, talvez devido ao aumento das taxas fotossintéticas.

Os tratamentos da lâmina L4 (100% de CTA) apresentaram as menores frequências de irrigação, de forma geral, em relação às outras lâminas irrigadas. As frequências foram de 10 dias para L4S1 (0,60 dS m⁻¹) e L4S2 (3,00 dS m⁻¹), 13 dias para L4S3 (5,40 dS m⁻¹) e 12 dias para L4S4 (7,80 dS m⁻¹). As lâminas irrigadas foram de 352,76 mm, 385,57 mm, 299,22 mm e 317,95 mm para S1, S2, S3 e S4, respectivamente. Os resultados (Figura 11D) demonstraram que o maior acúmulo de irrigação ocorreu para o tratamento L4S2 e, para este mesmo tratamento, observou-se a maior magnitude de ET_r (1124,13 mm). Verificou-se um incremento no valor de ET_r até o nível salino S2 e, com o aumento da salinidade da água de irrigação, houve um decaimento nos valores da evapotranspiração real. Assim, o tratamento L4 diferiu das demais lâminas nas quais as maiores magnitudes de ET_r foram encontradas para o maior nível de salinidade da água de irrigação (7,80 dS m⁻¹). A menor frequência de irrigação demonstrada pelas combinações dos tratamentos com L4 pode ter influenciado esse resultado.

Ao se avaliar o mesmo nível de salinidade da água de irrigação para as distintas lâminas, constatou-se que com o incremento das lâminas ocorreu a redução das frequências de irrigação e que a condutividade elétrica final do extrato de saturação do solo (CE_{es}) foi função da frequência de irrigação e dos níveis salinos da água. Os tratamentos que promoveram as maiores magnitudes de ET_r em função da variação dos níveis salinos para a mesma lâmina foram: S4 ($7,80 \text{ dS m}^{-1}$) para a lâmina L1 (25% da CTA); S3 ($5,40 \text{ dS m}^{-1}$) para a lâmina L2 (50% da CTA); S4 ($7,80 \text{ dS m}^{-1}$) para a lâmina L3 (75% da CTA) e; S2 ($3,00 \text{ dS m}^{-1}$) para a lâmina L4 (100% da CTA). E em função das diferentes lâminas para o mesmo nível de salinidade da água de irrigação, os tratamentos foram: L3S3; L3S4; L4S2 e; L4S1. Verificou-se, portanto, que os tratamentos que apresentaram coincidentemente a máxima ET_r acumulada tanto para as diferentes lâminas em função do mesmo nível salino quanto para o inverso, foram as combinações L3S4 e L4S2 com destaque para L3S4 conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Evapotranspiração real (ET_r) acumulada da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no período de 11/01/2018 a 06/12/2018 em função dos tratamentos com lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água

Tratamento	ET_r (mm)						
L1S1	976,24	L2S1	1012,98	L3S1	1054,83	L4S1	1067,27
L1S2	1040,05	L2S2	926,65	L3S2	1054,60	L4S2	1124,13
L1S3	999,31	L2S3	1076,39	L3S3	1116,88	L4S3	1079,36
L1S4	1057,10	L2S4	1056,91	L3S4	1153,44	L4S4	1039,44

L1S1, L1S2, L1S3 e L1S4 (25% da capacidade total de água - CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente); L2S1, L2S2, L2S3 e L2S4 (50% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente); L3S1, L3S2, L3S3 e L3S4 (75% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente) e; L4S1, L4S2, L4S3 e L4S4 (100% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente).

Divincula et al. (2019) ao avaliarem a necessidade hídrica da cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) no agreste de Alagoas obtiveram evapotranspiração da cultura acumulada de 637,84 mm ao longo do ciclo. A evapotranspiração da cultura foi determinada pelos autores através do lisímetro de drenagem. Este resultado foi inferior aos valores de ET_r encontrados para os diferentes tratamentos no presente estudo, contudo, o ciclo considerado por Divincula et al. (2019) foi de 152 dias enquanto que neste trabalho as avaliações agrometeorológicas foram realizadas ao longo de 330 dias.

Silva et al. (2014c) obtiveram evapotranspiração real acumulada pelo método do balanço de água no solo para palma forrageira (*Opuntia*), durante 499 dias de ciclo, de 1418 mm com média diária de 2,84 mm. Este resultado foi superior ao encontrado no presente estudo o qual também foi obtido pelo método do balanço de água no solo, todavia, para um período avaliado de 330 dias e em condições irrigadas.

Jardim et al. (2017), em experimento conduzido no município de Serra Talhada em Pernambuco com palma forrageira irrigada *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth com base na fração de 75% da evapotranspiração de referência, obtiveram ET_r acumulada de 645 mm. Este resultado foi obtido para o quarto ciclo de cultivo. Os autores verificaram, ainda, que a ET_r se diferenciou entre os ciclos produtivos. Para a determinação das variáveis agrometeorológicas os autores também utilizaram a metodologia do balanço de água no solo.

Queiroz et al. (2016) ao utilizarem o balanço de água no solo na determinação da ET_r acumulada da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes lâminas de água em condições de Semiárido brasileiro, obtiveram ET_r acumulada de 985,77 mm para o ciclo de 380 dias. Os autores verificaram que a Orelha de Elefante Mexicana, em condições de maior disponibilidade de água no solo, não a utiliza plenamente no processo de evapotranspiração. Este resultado foi inferior ao obtido neste trabalho para um período avaliado menor que o dos supracitados autores. Infere-se que a salinidade da água de irrigação tenha favorecido a elevação da evapotranspiração real da cultura.

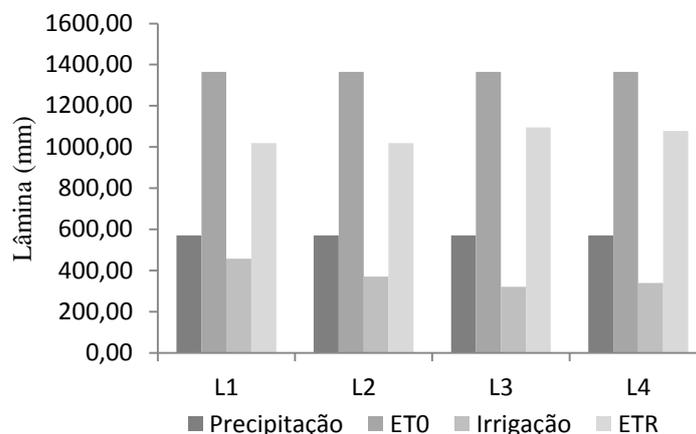
Autores como Nobel (1991) e Freire (2012) afirmaram que a palma forrageira é sensível a salinidade não sendo considerada, portanto, uma planta halófito. Entretanto, segundo Willadino e Camara (2010), em halófitas, muitas vezes, a tolerância à salinidade correlaciona-se positivamente com a concentração de Na^+ . Os autores afirmaram, ainda, que quando relacionada com elevadas concentrações citoplasmáticas de K^+ , o Na^+ favorece o ajuste osmótico da planta.

Além do sódio, a água utilizada na irrigação da palma forrageira neste trabalho continha os elementos cálcio e magnésio nas formas de cloreto de cálcio e cloreto de magnésio. De acordo com Taiz & Zeiger (2013), o magnésio é um importante constituinte da estrutura da molécula da clorofila e tem papel específico na ativação de enzimas da fotossíntese e da respiração. O aumento de sua absorção pela planta relacionada à concentração dos elementos cálcio e potássio, pode promover o aumento da produtividade das culturas, contudo, varia entre as espécies. Desta forma, os demais elementos presentes na água de irrigação também podem ter favorecido o aumento da evapotranspiração real.

De acordo com Franco-Salazar & Véliz (2008), o aumento da salinidade poderia induzir o ajustamento osmótico ou osmoproteção do aparelho de fotossintetização da palma forrageira. Isto explicaria o fato de no presente estudo, a máxima ET_r ter sido observada para o maior nível de salinidade da água de irrigação (L3S4 – 1153,44 mm).

A maior taxa evapotranspirométrica é um mecanismo importante fisiologicamente para a planta, porque reduz o estresse térmico, além de ser um mecanismo que favorece o processo de absorção de nutrientes mediante gradiente de potencial.

Os resultados, no que se refere às médias acumuladas de irrigação (mm) e evapotranspiração real (ET_r , mm) apenas em função dos tratamentos com lâminas (média por lâmina), independentemente da salinidade da água de irrigação, encontram-se apresentados na Figura 12.



L1; L2; L3 e L4 correspondem a 25, 50, 75 e 100% da capacidade total de água no solo (CTA), respectivamente.

Figura 12. Valores acumulados de precipitação, evapotranspiração de referência (ET_0), irrigação e evapotranspiração real (ET_r), independentemente da condutividade elétrica da água (média por lâmina), no período de 11/01/2018 a 06/12/2018 (330 dias)

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que as maiores médias de irrigação foram observadas para a lâmina L1 (25% da capacidade total de água - CTA), cuja frequência média de irrigação foi de aproximadamente 2 dias. Esse valor correspondeu à média acumulada das irrigações aplicadas em todos os níveis salinos para a correspondente lâmina, totalizando 457,12 mm. As demais lâminas (L2 – 50%, L3 – 75%, L4 – 100% da CTA) apresentaram baixa variação entre elas com valores médios irrigados de 370,66 mm, 321,04 mm e 338,87 mm, respectivamente. As frequências médias de irrigação em função das lâminas, independentemente da salinidade da água, foram de aproximadamente: 6 dias (L2), 9 dias (L3) e 11 dias (L4). Com o aumento da porcentagem

da capacidade total de água no solo como definição do momento de se irrigar, houve a diminuição das frequências de irrigação. Todavia, isto não foi determinante para que ocorresse a redução gradual da quantidade de água aplicada entre as diferentes lâminas. Da mesma forma que a maior disponibilidade de água pela irrigação (457,12 mm) não resultou em uma maximização da evapotranspiração real da cultura. As médias de evapotranspiração real por lâmina foram de: 1018,18 mm (25% da CTA – L1); 1018,23 mm (50% da CTA – L2); 1094,94 mm (75% da CTA – L3) e; 1077,55 mm (100% da CTA – L4).

Campos (2018) constatou que o uso da irrigação aumenta a evapotranspiração real da palma forrageira em comparação ao cultivo de sequeiro, devido ao aumento da disponibilidade hídrica a planta. A maior disponibilidade de água também proporciona o aumento da evaporação da água no solo.

Apesar da lâmina L3 (75% da CTA) ter apresentado o menor valor médio de irrigação, esta lâmina proporcionou a maior magnitude de ET_r (1094,94 mm) se comparada as demais. E quando avaliada em separado relacionando-a aos níveis salinos, observou-se que esta mesma lâmina apresentou a máxima ET_r para a salinidade S4 (7,80 dS m^{-1}), conforme abordado anteriormente. Isto confirmou o efeito da salinidade da água de irrigação sobre as lâminas irrigadas e sobre a evapotranspiração real da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana. Constatou-se, também, que as principais influências sobre as variáveis agrometeorológicas foram advindas dos níveis salinos e não das lâminas de irrigação. O sódio pode ter exercido papel fundamental nos resultados encontrados favorecendo a regulação osmótica da planta e, por consequência, o aumento das taxas de transpiração. Outro fator que deve ser considerado é a evaporação da água do solo. Conforme exposto por Gheyi et al. (2010), solos expostos a maior concentração de sódio na fase trocável apresentam aumento da umidade retida, devido a modificação de sua estrutura pela sodicidade e/ou ausência de íons em solução.

5.1.2 Coeficiente de cultivo

Os resultados dos coeficientes de cultivo (k_c) estimados para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana encontram-se apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Coeficientes de cultivo (k_c) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana obtidos aos 442 dias de ciclo

Tratamento	k_c	Tratamento	k_c	Tratamento	k_c	Tratamento	k_c
L1S1	0,71	L2S1	0,75	L3S1	0,77	L4S1	0,79

L1S2	0,77	L2S2	0,68	L3S2	0,78	L4S2	0,83
L1S3	0,75	L2S3	0,80	L3S3	0,83	L4S3	0,80
L1S4	0,78	L2S4	0,78	L3S4	0,85	L4S4	0,77
Média	0,75	-	0,75	-	0,81	-	0,80

L1S1, L1S2, L1S3 e L1S4 (25% da capacidade total de água - CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente); L2S1, L2S2, L2S3 e L2S4 (50% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente); L3S1, L3S2, L3S3 e L3S4 (75% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente) e; L4S1, L4S2, L4S3 e L4S4 (100% da CTA e 0,60; 3,00; 5,40 e; 7,80 dS m⁻¹, respectivamente).

De acordo com os resultados, o valor máximo de k_c (0,85) encontrado para a Orelha de Elefante Mexicana foi proporcionado pelo tratamento L3S4 (75% da CTA e 5,40 dS m⁻¹). O valor mínimo de k_c (0,68) foi observado para o tratamento L2S2 (50% de CTA e 3,00 dS m⁻¹).

Em relação aos valores de k_c para a mesma lâmina de irrigação e diferentes níveis salinos da água, os tratamentos L3S4 ($k_c = 0,85$), L4S2 ($k_c = 0,83$), L2S3 ($k_c = 0,80$) e L1S4 ($k_c = 0,78$) foram os que obtiveram os maiores coeficiente de cultivo. E para o mesmo nível salino com a variação das lâminas, os maiores valores foram encontrados para: L3S4 ($k_c = 0,85$), L3S3 ($k_c = 0,83$), L4S2 ($k_c = 0,83$) e L4S1 ($k_c = 0,79$). Os tratamentos L3S4 e L4S2 se destacam tanto em relação às lâminas como aos níveis de salinidade da água de irrigação. Isto porque o coeficiente de cultivo é dependente da razão entre a evapotranspiração real da cultura e a evapotranspiração de referência e, para estes tratamentos, também foram observadas as máximas evapotranspirações reais.

A determinação do coeficiente de cultivo em uma dada condição de clima, solo, planta e água deve ser considerada representativa, uma vez que este coeficiente é um dos mais eficientes na representação do fenômeno biofísico da evapotranspiração (SILVA et al., 2017b).

Divincula et al. (2019) encontraram para a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* L.), nas condições do agreste de Alagoas, k_c médio de 0,72, 0,84 e 0,48 pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves-Samani e FAO-Radiação, respectivamente. Os valores foram análogos aos obtidos neste estudo, com exceção do k_c determinado pelo método FAO-Radiação. Os autores mantiveram o solo sob capacidade de campo durante todo o período experimental.

Jardim et al. (2017) obtiveram k_c médio igual a 0,57 para a mesma espécie de palma forrageira pesquisada (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth). Os autores também determinaram a ET_r por meio do resíduo do método do balanço de água no solo em condições irrigadas, para posterior determinação do coeficiente de cultivo. Todavia, o valor de k_c foi cerca de 16% inferior ao menor valor encontrado no trabalho atual. Essa diferença pode ser devida ao valor de ET_r estimado pelos

autores que foi inferior ao observado nesta pesquisa, o que influenciou na diferença entre os coeficientes de cultivo.

Santos et al. (2015) determinaram coeficiente de cultivo médio superior ao deste trabalho, com k_c igual a 1,54 pelo método de Penman-Monteith e 1,23 pelo método de Hargreaves-Samani. O trabalho foi desenvolvido com palma forrageira submetida a turnos de rega, contudo, os autores não informaram o gênero de palma utilizada na pesquisa. Coeficientes de cultivo acima de 1,00 indicam que a planta possui uma demanda evapotranspirométrica superior a evapotranspiração de referência. Os valores de k_c variam com o tipo de cultura, seu estágio de desenvolvimento, o comprimento do seu ciclo vegetativo e as condições climáticas locais (BERNARDO; MANTOVANI, 2006).

Queiroz et al. (2016) obtiveram para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana coeficiente médio de cultivo de 0,52, com pouca variação ao longo do tempo. O maior valor observado de k_c ocorreu ao final do ciclo, proporcionado pelo máximo crescimento vegetativo. Os autores concluíram que essas alterações de k_c ao longo do ciclo foram, na sua maioria, devidas aos ajustes fisiológicos da cultura ao ambiente.

No que tange os resultados dos coeficientes de cultivo médios por lâmina de irrigação, observou-se que a lâmina L3 (75% da CTA) apresentou k_c igual a 0,81 (Tabela 8), sendo este o valor máximo. Esta mesma lâmina também apresentou a maior magnitude de ET_r (1094,94 mm).

Segundo Bernardo & Mantovani (2006), quanto maior a demanda evapotranspirométrica local ou quanto mais sensível for à planta ao déficit de água no solo, maior será o valor de k_c .

Conforme Lopes et al. (2011), o k_c é um parâmetro relacionado aos fatores ambientais e fisiológicos das plantas.

De forma geral, as variáveis agrometeorológicas avaliadas podem ter sido influenciadas não somente pelas condições climáticas locais e de cultivo, mas pela disponibilização de água a planta através da irrigação. Sob condições irrigadas, determinadas espécies de planta CAM possuem a capacidade de ajustarem seu metabolismo em C3 (SILVA et al., 2015b). Todavia, observou-se que a principal influência nos resultados foi devida a salinidade da água de irrigação que pode ter favorecido o ajuste osmótico da planta.

No caso da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Queiroz et al. (2016) concluíram que esta demonstra grande capacidade de adaptação de seus órgãos vegetativos às condições variáveis de solo e clima.

Portanto, o k_c descreve o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e representa o consumo de água de uma cultura específica que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico. O

requerimento hídrico é necessário, por sua vez, no dimensionamento de sistemas de irrigação e operacionalização de perímetros irrigados (CLARK et al., 1996). Desta maneira, o k_c associado a evapotranspiração de referência para a determinação da evapotranspiração da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana possibilita a realização eficiente do manejo da irrigação o que resulta no uso otimizado da água.

5.2 Crescimento

5.2.1 Cladódio primário

Os resultados referentes à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para as variáveis comprimento, largura, área, perímetro e espessura de cladódio primário aos 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos, correspondente ao ciclo total de 442 dias, encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Resumos da análise de variância para comprimento de cladódio primário (CCP), largura de cladódio primário (LCP), área de cladódio primário (ACP), perímetro de cladódio primário (PCP) e espessura de cladódio primário (ECP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)				
		CCP ¹	LCP	ACP ¹	PCP	ECP
Lâmina	3	66,51 ^{ns}	6,46 ^{ns}	44623,12 ^{ns}	48,01 ^{ns}	1,45 ^{ns}
Salinidade	3	41,13 ^{ns}	5,83 ^{ns}	19373,73 ^{ns}	51,82 ^{ns}	3,67 ^{ns}
Lâmina x Salinidade	9	50,73 ^{ns}	1,71 ^{ns}	17987,23 ^{ns}	18,07 ^{ns}	2,56 ^{ns}
Bloco	3	71,47 ^{ns}	8,04 ^{ns}	53399,78 ^{ns}	103,92 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Erro	45	55,33	4,43	29940,33	49,86	2,08
CV (%)	-	9,80	8,68	12,83	8,91	9,28
Média geral	-	30,02	24,27	551,86	79,25	15,56

^{ns} – não significativo pelo teste F ($p>0,05$); ¹ dados transformados por raiz quadrada.

De acordo com os dados obtidos (Tabela 9), observou-se que não ocorreram diferenças estatísticas significativas ($p>0,05$) para nenhuma das variáveis de crescimento analisadas. Verificou-se, assim, que os tratamentos aplicados não exerceram influência sobre os parâmetros de crescimento de cladódio primário.

Foram observados valores médios entre os tratamentos para comprimento (CCP), largura (LCP), área (ACP), perímetro (PCP) e espessura (ECP) de cladódio primário, respectivamente, de: 30,02 cm; 24,27 cm; 551,86 cm²; 79,25 cm e; 15,56 mm.

Apesar de Donato et al. (2014) afirmarem que as características morfométricas da palma forrageira são pouco influenciadas pelo manejo, o que também foi verificado neste trabalho, ao se comparar com os de outros autores, observou-se que os resultados obtidos divergem de trabalhos como os de Silva et al. (2015c) e Lima et al. (2016). Estes autores verificaram que a adoção de práticas de manejo da palma forrageira acarretaram em efeitos significativos no crescimento da planta, seja pelo uso de irrigação, de diferentes espaçamentos de plantio ou fornecimento de adubação.

Silva et al. (2015c) ao avaliarem o crescimento de clones de palma forrageira em condições de Semiárido brasileiro e suas relações com as variáveis meteorológicas, verificaram diferenças estatísticas significativas para comprimento médio de cladódio primário com valor de 27,73 cm para Orelha de Elefante Mexicana. Este valor se aproxima ao observado no presente estudo para a mesma cultivar de palma forrageira.

Lima et al. (2016), por sua vez, ao estudarem as características morfológicas e produtivas da palma forrageira Gigante irrigada com água salina (5,25 dS m⁻¹) e submetida a intensidades de corte, obtiveram comprimento médio de cladódio para o segundo ciclo de cultivo de 37,87 cm. Não foram observadas diferenças significativas para esta variável. Os autores observaram efeito significativo apenas para largura média de cladódio (20,95 cm), espessura (18,62 mm) e área de cladódio (583,46 cm²). Estes valores foram relativamente aproximados aos deste trabalho, todavia, os autores avaliaram a palma forrageira Gigante. Lima et al. (2016) não especificaram se essas variáveis foram analisadas separadamente para cladódios primários, secundários ou se corresponderam à média entre primários e secundários. Os referidos autores concluíram que as diferenças observadas para largura e espessura de cladódio possivelmente resultaram da maior eficiência dos processos fisiológicos e bioquímicos da planta como fotossíntese, respiração e transpiração, os quais foram influenciados pelas práticas de manejo.

Pereira et al. (2015b) ao avaliarem o crescimento de clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, IPA Sertânia e Miúda), no município de Serra Talhada em Pernambuco, sob irrigação por gotejamento com lâmina fixa (7,50 mm) e três intervalos de aplicação de água (7, 14 e 28 dias) constataram que a irrigação promoveu melhores incrementos biométricos nos clones avaliados. Para a Orelha de Elefante Mexicana foram observados os seguintes valores médios para cladódio de primeira ordem, em termos absolutos: 23,80 cm para comprimento de cladódio e 11,80

mm para espessura de cladódio. Em termos relativos, para as frequências de 7, 14 e 28 dias, esses valores foram de: 18,70 cm (7 dias), 15,40 cm (14 dias) e 16,20 cm (28 dias) para largura de cladódio; 68,60 cm (7 dias), 59,00 cm (28 dias) para perímetro de cladódio e; 285,00 cm² (7 dias), 310,00 cm² (14 dias) e 377,00 cm² (28 dias). O total de água recebida pela cultura foi de 558,00 mm (7 dias), 475,00 mm (14 dias) e 438,00 mm (28 dias). Mesmo com frequências de irrigação distintas observadas na atual pesquisa, esses valores de lâminas se aproximaram das de Pereira et al. (2015b) e, assim como esses autores, não foram verificados efeitos significativos no crescimento de cladódios primários.

Rocha et al. (2017) ao estudarem três genótipos de palma forrageira irrigada (Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e IPA 20) e diferentes intervalos de corte para um ciclo de 16 meses, obtiveram para Orelha de Elefante comprimento, largura, e área de cladódio valores de, respectivamente: 25,66 cm; 21,36 cm e 383,55 cm². Os resultados obtidos neste trabalho foram superiores aos encontrados pelos referidos autores. Essa diferença pode ter ocorrido devido à separação dos dados avaliados para cladódios de primeira e segunda ordem, enquanto os autores possivelmente utilizaram a média entre cladódios primários e secundários. Porém, esta informação não foi indicada por Rocha et al. (2017).

Sarmento et al. (2019) em estudo com o objetivo de avaliar a influência das diferentes frequências de irrigação sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) submetidas à diferentes frequências de irrigação (0, 7, 14 e 21 dias) verificaram efeito linear crescente no comprimento e na largura dos cladódios primários, com o aumento das frequências de irrigação. Isto não ocorreu para espessura de cladódio primário. As médias observadas para comprimento de cladódio primário foram de: 31,16 cm (sem irrigação); 32,83 cm (21 dias); 34,97 cm (14 dias) e; 36,07 (7 dias). Em relação à largura média, foram encontrados valores de: 23,86 (sem irrigação); 26,46 cm (21 dias); 26,73 (14 dias) e; 28,90 (7 dias). A espessura observada foi de: 19,14 mm (0 dias); 17,60 mm (21 dias); 18,36 mm (14 dias) e; 17,32 mm (7 dias). Os perímetros médios foram de 92,88 mm, 91,80 mm, 91,15 mm e 92,66 mm para 0, 21,14 e 7 dias, respectivamente. Estes resultados corroboram os encontrados no presente trabalho cujo crescimento para os cladódios de primeira ordem não foi afetado, mesmo que as diferentes lâminas de irrigação tenham acarretado em frequências distintas, conforme abordado nos resultados agrometeorológicos (Tabela 6).

5.2.2 Cladódio secundário

O resumo da análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para as variáveis comprimento, largura, área, perímetro e espessura de cladódio secundário aos 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10. Resumos da análise de variância para comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio secundário (LCS), área de cladódio secundário (ACS), perímetro de cladódio secundário (PCS) e espessura de cladódio secundário (ECS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)				
		CCS	LCS	ACS	PCS	ECS ¹
Lâmina	3	3,68 ^{ns}	2,09 ^{ns}	2573,55 ^{ns}	15,42 ^{ns}	4,63 ^{ns}
Salinidade	3	7,18 ^{ns}	2,79 ^{ns}	4025,10 ^{ns}	36,87 ^{ns}	5,53*
Lâmina x Salinidade	9	4,00 ^{ns}	4,11 ^{ns}	3657,90 ^{ns}	34,93 ^{ns}	1,85 ^{ns}
Bloco	3	7,11 ^{ns}	4,02 ^{ns}	5040,10 ^{ns}	37,58 ^{ns}	1,22 ^{ns}
Erro	45	2,39	2,04	1946,91	21,93	1,76
CV (%)	-	7,26	7,65	15,32	8,02	6,53
Média geral	-	21,32	18,66	287,93	58,38	9,39

* - significativo ($p \leq 0,05$) e ^{ns} - não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F; ¹ dados transformados por raiz quadrada.

De acordo com os resultados da análise de variância pelo teste F (Tabela 10), assim como ocorreu para cladódio de primeira ordem, não foram observados efeitos dos tratamentos ($p > 0,05$) sobre as variáveis avaliadas de comprimento, largura, área e perímetro de cladódio secundário.

As variáveis de cladódio de segunda ordem apresentaram valores médios, independentemente do tratamento aplicado, de: 21,32 cm para comprimento de cladódio, 18,66 cm para largura de cladódio, 287,93 cm² para área de cladódio e 58,38 cm para perímetro de cladódio. Estes resultados foram inferiores se comparados aos cladódios de primeira ordem devido às características morfométricas da própria planta.

Sarmiento et al. (2019) obtiveram comprimento de cladódio secundário para as diferentes frequências de irrigação de: 27,77 cm (sem irrigação); 27,28 cm (21 dias); 28,23 cm (14 dias) e; 29,26 cm (7 dias). Em relação à largura de cladódio, na ordem das menores frequências de irrigação para as maiores frequências, os valores médios foram de: 21,84 cm; 24,33 cm; 24,69 cm e; 25,52 cm. Os perímetros foram de: 87,73 cm, 83,24 cm, 85,38 cm e 86,96 cm da menor para a maior frequência. Apesar da não existência de efeitos significativos, irrigações mais frequentes

contribuíram com o incremento no crescimento da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana. Os resultados observados pelos autores para o gênero *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth foram superiores ao deste trabalho. As variáveis avaliadas no corrente estudo podem ter sofrido influência da salinidade da água de irrigação que pode ter feito com que o crescimento da planta fosse reduzido em relação a condições de cultivo com água não salina, mesmo não tendo havido significância estatística entre os tratamentos.

Ao estudarem o crescimento de três cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Baiana) submetidas à adubação nitrogenada via fertirrigação, Borges et al. (2015) observaram comprimento médio de cladódio variando de 25,40 a 27,52 cm em relação ao erro padrão para a Orelha de Elefante Mexicana. Infere-se que esta diferença entre o comprimento obtido neste trabalho e o verificado pelos autores se deve ao uso de valores médios entre cladódios primários e secundários.

Donato et al. (2014) em estudos sobre a morfometria e o rendimento da palma forrageira Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica verificaram, aos 600 dias após o plantio, largura média de cladódio de 16,30 cm. Valor próximo ao obtido nesta pesquisa para a cultivar Orelha de Elefante que apesar de não ser a mesma cultivar estudada pelos autores, pertence ao gênero *Opuntia*.

Sales et al. (2013) ao avaliarem o crescimento vegetativo de palma forrageira Gigante em diferentes densidades de plantio no Curimataú Paraibano verificaram valor médio entre as densidades de plantio para largura de cladódio igual a 18,98 cm e comprimento de cladódio igual a 33,89 cm, aos 710 dias após o plantio. A variável área de cladódio, entretanto, foi afetada pelos tratamentos com valores de 440,12 cm², 397,95 cm² e 383,05 cm². Os autores não realizaram eventos de irrigação ao longo do período experimental, a lâmina de água aplicada foi apenas pela precipitação. Assim como no presente trabalho, os autores não observaram diferenças estatísticas significativas dos tratamentos sobre as variáveis de crescimento analisadas, com exceção da altura de planta.

Pereira et al. (2015b) encontraram valores médios para cladódio de segunda ordem iguais a: 10,40 cm para comprimento, 12,60 cm de largura, 27,30 cm de perímetro e 74,60 cm² de área. Os resultados para estas variáveis foram inferiores ao deste estudo. Estatisticamente, nesta pesquisa, os resultados não foram significativos ($p > 0,05$) entre os tratamentos aplicados. Todavia, é possível que a salinidade da água de irrigação tenha exercido influência no crescimento da planta, pois a salinidade pode ter contribuído para elevar a evapotranspiração real (ET_r) da palma forrageira devido ao aproveitamento do sódio (Na^+) e ao ajustamento estomático o que, por sua vez, tendeu a

contribuir com o desenvolvimento da planta. Ademais, segundo Campos (2018), o fornecimento de água pela irrigação aumenta a evapotranspiração real da palma forrageira em comparação ao cultivo de sequeiro. Desta forma, a planta aumenta sua transpiração devido a maior disponibilidade de água.

Esta hipótese pode ser confirmada por Fonseca et al. (2019) que concluíram que maiores médias de características morfométricas da palma forrageira sob condições de disponibilidade hídrica indicam que mesmo com o uso de água salina, a irrigação proporciona melhores condições de desenvolvimento da cultura, talvez pelo incremento das taxas fotossintéticas.

A partir dos resultados obtidos verificou-se que ocorreram diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,05$) apenas para espessura de cladódio secundário em relação aos níveis de salinidade da água de irrigação. Não foram observados efeitos das lâminas e interação entre os fatores (lâmina x salinidade) sobre a espessura da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana. Os dados apresentaram baixa dispersão com coeficiente de variação (CV) de 6,53%. As demais variáveis não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) para nenhum dos fatores avaliados.

Constatou-se que houve um incremento na espessura de cladódio até o valor máximo de 9,79 mm para a salinidade de 1,22 dS m⁻¹ verificado pela equação de ajuste gráfico, a partir deste valor, a espessura decaiu. O valor de R² do ajuste gráfico foi de 0,70 (Figura 13).

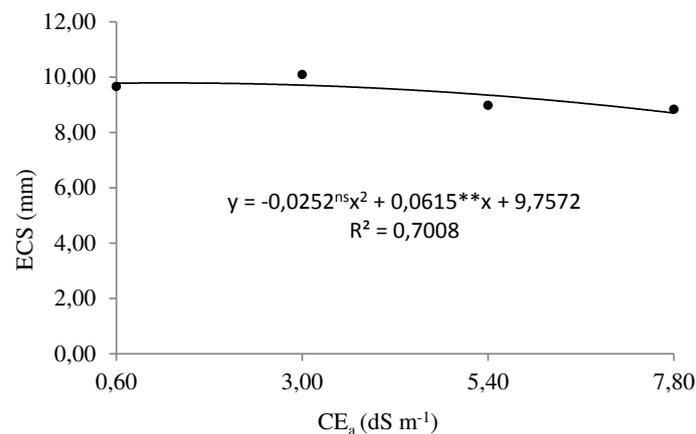


Figura 13. Espessura de cladódio secundário (ECS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo

A espessura de cladódio está relacionada ao acúmulo de água. Essa água armazenada, segundo Nobel (1991), pode favorecer as trocas gasosas da planta. É possível que este conteúdo de

água retido nos cladódios seja um indicativo de tolerância ao estresse causado pela salinidade da água.

O efeito dos tratamentos ($p < 0,05$) na espessura de cladódio secundário pode denotar o desenvolvimento de mecanismos de tolerância à salinidade através da suculência. Segundo Willadino & Camara (2010), o sódio tende a ser transportado via xilema e acumulado na parte aérea. Portanto, infere-se que a planta pode ter desenvolvido a suculência para atenuar o efeito dos sais acumulados nos cladódios secundários ou mesmo devido ao ajustamento osmótico, sendo este responsável por causar uma diferença de potencial e induzir o movimento de água para o interior das células-guarda.

Apesar disto, Freire (2012) constatou que níveis mais elevados de salinidade a partir de $3,60 \text{ dS m}^{-1}$ resultaram na diminuição da suculência da palma forrageira. Este nível máximo de salinidade para espessura foi cerca de 60% menor que o verificado pelo autor.

Ao se associar os resultados obtidos de espessura de cladódio as variáveis agrometeorológicas, verificou-se que maiores níveis salinos resultaram na maximização da evapotranspiração real. O ajustamento osmótico possivelmente contribuiu para que não ocorressem restrições à abertura estomática da planta, o que proporcionou o aumento da componente de transpiração e a redução do conteúdo de água na célula e, conseqüentemente, sua espessura. Isto justificaria a redução da espessura de cladódio secundário com o aumento da salinidade da água de irrigação.

A espessura dos cladódios é uma das características da espécie que se correlaciona diretamente com a turgidez das plantas. Assim, quanto maior a espessura, maior a quantidade de água presente em suas células, sendo este um dos principais atributos das plantas CAM (TAIZ & ZEIGER, 2013; PEREIRA et al., 2015b).

Pereira et al. (2015b), encontraram valores médios de espessura de cladódio para as cultivares OEM, IPA e Miúda de 11,80 ;18,50 e 14,10 mm, respectivamente. A espessura observada pelos autores para a Orelha de Elefante Mexicana foi cerca de 17% superior.

Sales et al. (2013) obtiveram para a palma forrageira Gigante, mesmo gênero da Orelha de Elefante Mexicana, espessura de cladódio de 23,80 mm.

Sarmiento et al. (2019) verificaram efeito significativo para espessura de cladódio secundário em função das frequências de irrigação, que apresentou efeito quadrático decrescente com valores de: 12,31 (0 dias); 13,58 (21 dias); 11,44 (14 dias); 11,30 (7 dias). O mesmo não ocorreu para espessura de cladódio primário.

Ao se comparar os resultados de espessura de cladódio secundário com Pereira et al. (2015b), Sales et al. (2013) e Sarmiento et al. (2019), verificou-se que a espessura apresentou valor inferior aos encontrados pelos demais autores. Contudo, deve-se considerar que os mencionados trabalhos foram com a espécie *Opuntia ficus-indica* Mill enquanto que neste estudo foi utilizada a espécie *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth.

Segundo Rocha et al. (2017), a espessura de cladódio é de grande importância para a capacidade fotossintética e de armazenamento de água na planta.

O clone Orelha de Elefante Mexicana possui maior potencial de adaptação às condições de baixa disponibilidade de água no solo, por apresentarem maior capacidade de reserva hídrica em seus cladódios (PEREIRA et al., 2015b). Esta capacidade de armazenamento de água, também faz com que a planta apresente certa tolerância à salinidade da água de irrigação.

Nobel (1991) afirmou que cladódios maduros têm, geralmente, maior espessura, sendo que a maior parte é constituída pelo tecido esbranquiçado armazenador.

5.2.3 Altura e largura de planta

O resumo dos resultados da análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para largura de planta e altura de planta em função dos tratamentos com lâminas de irrigação e salinidade da água de irrigação encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. Resumos da análise de variância para largura de planta (LP) e altura de planta (AP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)	
		LP	AP ¹
Lâmina	3	155,33 ^{ns}	51,77 ^{ns}
Salinidade	3	28,7 ^{ns}	34,35 ^{ns}
Lâmina x Salinidade	9	187,23 ^{ns}	28,84 ^{ns}
Bloco	3	159,87 ^{ns}	212,52 ^{ns}
Erro	45	195,93	75,12
CV (%)	-	16,19	8,02
Média geral	-	86,44	56,03

^{ns} – não significativo ($p>0,05$) pelo teste F; ¹ dados transformados por raiz quadrada.

Com os resultados obtidos, verificou-se que os tratamentos não proporcionaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) as variáveis de crescimento da planta de largura e altura. A largura de planta (LP) apresentou média de 86,44 cm e a altura de planta (AP) média de 56,03 cm.

Sarmiento et al. (2019) também obtiveram resultados similares, no qual os autores não verificaram efeito significativo para a altura e a largura da palma Orelha de Elefante Mexicana em função das frequências de irrigação (0, 21, 14 e 7 dias). Os valores observados foram de 78,47 cm (0 dias), 79,30 cm (21 dias), 77,98 (14 dias) e 84,67 cm (7 dias) para altura de planta e para largura de planta os valores foram de 119,86 cm (0 dias), 119,07 cm (21 dias), 121,21 cm (14 dias) e 119,55 cm (7 dias). A largura média de planta foi próxima à deste estudo, porém os autores obtiveram o dobro de valor para altura de planta. A maior altura foi consequência da emissão de cladódios até a quarta ordem observada pelos autores. Neste trabalho ocorreu a emissão de cladódios até a segunda ordem, no entanto, o experimento foi realizado em vasos.

Já Pereira et al. (2015b) observaram altura média de planta de 48,80 cm, após 12 meses de cultivo, tendo sido equivalente ao deste estudo.

Borges et al. (2015) obtiveram para Orelha de Elefante Mexicana valor médio de altura de planta igual a 65,00 cm.

Félix et al. (2018), em pesquisa realizada em vasos com o objetivo de avaliar o crescimento e a produção da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a irrigação com água salina (1,50; 3,00; 4,50; 6,00 dS m⁻¹), concluíram que a altura de planta foi afetada negativamente pela salinidade. As maiores alturas foram observadas para a salinidade de 1,50 dS m⁻¹. O mesmo ocorreu para a largura de planta.

Ramos et al. (2015) afirmaram que a altura de planta da palma forrageira é uma importante característica da planta e que, normalmente, esta se encontra relacionada a produção.

Largura de planta de 98,80 cm foi observada por Rocha et al. (2017) também para a *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth. Os autores realizaram a pesquisa em condições de campo sob fertirrigação.

De acordo com Fonseca et al. (2019), mudanças no manejo da cultura através da irrigação indicam que, mesmo com o uso de água salina, a irrigação favorece o aumento das características morfológicas da palma forrageira.

5.3 Fisiologia

Os resultados referentes à análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para as variáveis fisiológicas teor relativo de água e extravasamento de eletrólitos encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12. Resumos da análise de variância para teor relativo de água (TRA) e extravasamento de elétricos (EE) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)	
		TRA	EE
Lâmina	3	4,47 ^{ns}	85,59 ^{ns}
Salinidade	3	306,75**	33,31 ^{ns}
Lâmina x Salinidade	9	52,36**	116,34**
Bloco	3	0,96 ^{ns}	75,77 ^{ns}
Erro	45	4,92	24,53
CV (%)	-	2,44	12,87
Média geral	-	91,08	38,50

** - significativo ($p \leq 0,01$) e ^{ns} – não significativo ($p > 0,05$) pelo teste F.

Foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) para teor relativo de água (TRA) em relação à salinidade da água de irrigação e interação entre os fatores lâminas de irrigação e níveis salinos. Não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para o fator lâmina isoladamente. Para extravasamento de eletrólitos (EE) foi observada significância ($p \leq 0,01$) apenas para a interação entre os fatores.

5.3.1 Turgescência

De acordo com os resultados obtidos, a interação entre os fatores para teor relativo de água na planta (%) proporcionou efeito linear decrescente com o aumento da salinidade da água de irrigação para a lâmina L1, e efeito quadrático também decrescente para as demais lâminas (Figura 14).

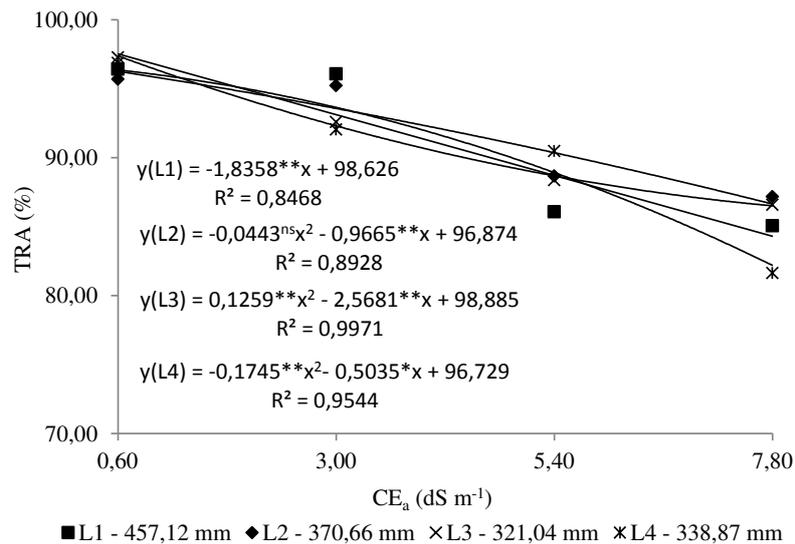


Figura 14. Teor relativo de água (TRA) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação (L1 = 25, L2 = 50, L3 = 75, e L4 = 100% da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo

A interação entre os fatores lâminas e níveis de salinidade da água de irrigação demonstrou que o valor máximo de TRA correspondeu à salinidade da água tendendo ao valor nulo. Isto pôde ser observado para todas as lâminas avaliadas (25% da capacidade total de água no solo (CTA) – L1, 50% da CTA – L2, 75% da CTA – L3 e 100% da CTA – L4).

Ao se analisar a lâmina L1 (457,12 mm) nos diferentes níveis salinos, verificou-se que para a salinidade S1 (0,60 $dS\ m^{-1}$), o TRA foi equivalente a 97,35% calculado com base na equação de ajuste gráfico. O valor mínimo de TRA, considerando-se o intervalo dos níveis salinos utilizados na pesquisa, foi obtido para a salinidade S4 (7,80 $dS\ m^{-1}$) tendo sido igual a 84,14%. A diferença percentual entre os extremos foi de 13,21%.

A lâmina L2 (370,66 mm) resultou em TRA máximo, dentro do intervalo dos tratamentos com níveis salinos, de 96,28% para S1 (0,60 $dS\ m^{-1}$) e mínimo de 86,64% para S4 (7,80 $dS\ m^{-1}$). A diferença percentual entre ambos foi de 9,64%.

Para a lâmina L3 (321,04 mm) em função dos níveis salinos, esta apresentou teor relativo de água máximo semelhante ao da lâmina L1 para a mesma salinidade de 0,60 $dS\ m^{-1}$ (S1) com TRA igual a 97,39% e mínimo de 86,51%, com diferença entre os valores de 10,88%.

A lâmina L4 (338,87 mm) proporcionou TRA igual a 96,36% para S1 (0,60 dS m⁻¹) e TRA igual a 82,18% para S4 (7,80 dS m⁻¹). A maior diferença percentual entre os valores máximos e mínimos de teor relativo de água foi encontrada para estes tratamentos com percentual de 14,18.

Verificou-se, portanto, que a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana reduziu seu teor relativo de água quando submetida a maiores níveis salinos, o que pode estar associado à regulação estomática e aumento da transpiração da planta. Este resultado corrobora com o de crescimento para espessura de cladódio secundário, em que a espessura foi reduzida com o aumento da salinidade da água de irrigação. Entretanto, mesmo com o decaimento do teor relativo de água, a planta manteve elevado conteúdo hídrico que pode ser observado pela diferença percentual entre os valores máximos (na salinidade de 0,60 dS m⁻¹) e mínimos (na salinidade de 7,80 dS m⁻¹) dentro da mesma lâmina de irrigação (L1 - 13,21%, L2 - 9,64%, L3 - 10,88% e L4 - 14,18%).

Scalisi et al. (2016) observaram, em condições de seca, que a espécie *Opuntia* mantém seu crescimento e condutância estomática com conteúdo relativo de água dos cladódios de pelo menos 45%, que é extremamente baixo, quando comparado com outras espécies. No presente estudo a irrigação, mesmo que com a utilização de água salina, favoreceu o incremento do teor relativo de água nos cladódios em comparação ao cultivo em regime de sequeiro. Ademais, a irrigação com água de maior condutividade elétrica (7,80 dS m⁻¹) proporcionou conteúdo de água na planta 47% superior em relação a condições não irrigadas. Isso demonstrou a importância da adoção de eventos de irrigação no cultivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana e a viabilidade, em termos de planta, do aproveitamento de água salina na irrigação desta cultura tendo em vista que a mesma não apresentou efeito significativo ($p > 0,05$) em seu crescimento. Todavia, é necessário considerar os aspectos do uso de água salina no solo.

Barreiro Neto et al. (2017) ao avaliarem índices fisiológicos em abacaxizeiro sobre estresse salino concluíram que o aumento do teor de água em folhas com o aumento da salinidade da água de irrigação é reflexo do ajustamento osmótico, com a planta acumulando íons no vacúolo das células ou sintetizando compostos orgânicos visando baixar o potencial hídrico interno e garantir a absorção de água, mantendo as células túrgidas. Apesar de o abacaxizeiro ser uma cultura com características completamente distintas das cactáceas, é possível que o decréscimo do conteúdo de água com o aumento da salinidade da água de irrigação na palma forrageira, assim como observado por Barreiro Neto et al. (2017), tenha ocorrido devido à acumulação de solutos osmoticamente ativos nos cladódios e a elevação da transpiração da planta.

Esse efeito osmótico na palma forrageira permite a aquisição noturna de água do fluxo de transpiração e do orvalho, além do armazenamento temporário de água nos vacúolos (EPIFÂNIO, 2019).

Segundo Almeida et al. (2019), o ajuste osmótico em plantas forrageiras xerófilas promove a manutenção da turgidez celular em potenciais hídricos muito negativos, o que permite a manutenção do processo de alongamento celular, além de maior condutância estomática, possibilitando maximização do processo fotossintético.

Pereira et al. (2017) observaram que embora a palma forrageira apresente mecanismo morfofisiológico CAM, quando estudados sob déficit hídrico, os cladódios apresentam redução da espessura relativa ao baixo teor de água dos cladódios.

Epifânio (2019) ao estudar a resistência a ataques de cochonilhas, valor nutricional, composição isotópica e descritores morfológicos de seis genótipos de palma forrageira submetidos a distintas condições edáficas verificou efeito quadrático para teor relativo de água com média diária igual a 30,13%. O genótipo Orelha de Elefante Mexicana apresentou maior estabilidade nos valores de teor relativo de água ao longo do dia, demonstrando boa capacidade em manter o status hídrico constante na planta. De acordo com o autor, o conteúdo de água é responsável pela turgidez dos tecidos e pode variar em função das condições de cultivo. Além disso, o conteúdo hídrico armazenado nos cladódios da palma forrageira é uma característica importante para a região semiárida, no atendimento de grande parte das necessidades de água dos animais, principalmente no período seco do ano, uma vez que a mesma já é utilizada para a diminuição de ingestão de água dos animais que a consomem.

5.3.2 Extravasamento de eletrólitos

A partir dos resultados da análise de variância pelo teste F ao nível de probabilidade de 1 e 5%, foram verificadas diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) para extravasamento de eletrólitos (EE) em relação a interação entre as lâminas de irrigação e salinidade da água de irrigação (Tabela 12).

A interação dos fatores demonstrou que os valores máximos de extravasamento de eletrólitos (%) foram similares para as distintas lâminas, dentro dos intervalos de salinidade da água de irrigação considerados (Figura 15).

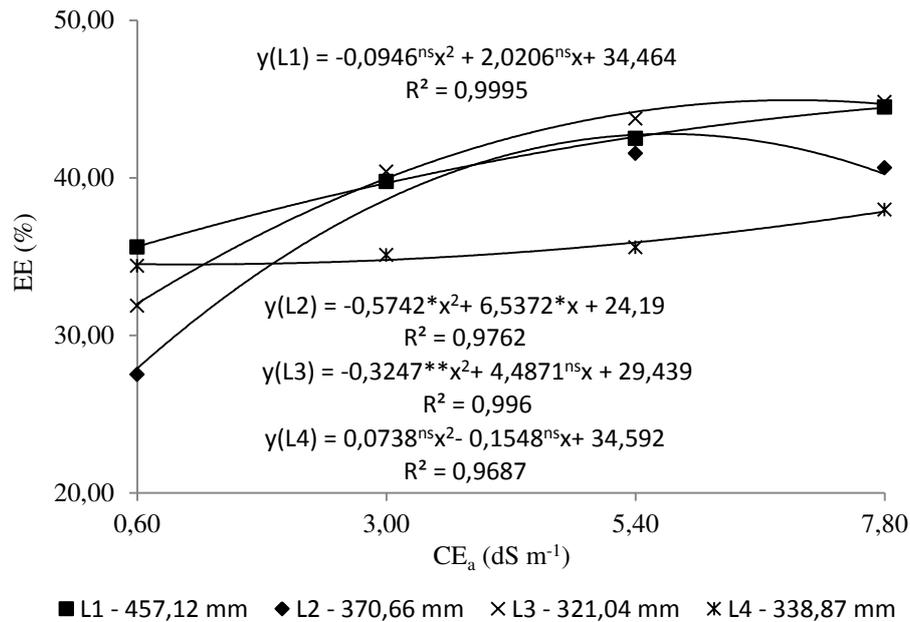


Figura 15. Extravasamento de eletrólitos (EE) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação (L1 = 25, L2 = 50, L3 = 75, e L4 = 100% da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo

Observou-se que para a lâmina L1 (25% da capacidade total de água no solo – CTA), com valor acumulado de 457,12 mm (média entre os tratamentos com lâmina L1), o aumento da salinidade da água de irrigação proporcionou o aumento do extravasamento de eletrólitos (EE,%). Nesta lâmina foi verificada tendência gráfica linear crescente para os diferentes níveis salinos com coeficiente de ajuste R^2 igual a 0,9995. Para a salinidade de $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, a partir da equação de ajuste gráfico, foi encontrado $EE = 44,47\%$.

Valor aproximado de extravasamento de eletrólitos foi verificado para a lâmina L2 (50% da CTA) com 42,79%. Entretanto, esta lâmina proporcionou tendência gráfica quadrática em função dos níveis salinos da água de irrigação, com valor máximo observado na salinidade de $5,69 \text{ dS m}^{-1}$. O coeficiente de ajuste demonstrou elevada correlação entre os dados avaliados com R^2 de 0,9762.

Similar ao observado para a lâmina L1, a lâmina L3 (75% da CTA) em função das diferentes condutividades elétricas da água de irrigação resultou em extravasamento de eletrólitos máximo igual a 44,94% para a salinidade máxima de $6,91 \text{ dS m}^{-1}$. O ajuste gráfico demonstrou comportamento quadrático decrescente e coeficiente R^2 de 0,996.

A interação da lâmina L4 (100% da CTA) em função dos níveis salinos ocasionou no efeito quadrático crescente com extravasamento de eletrólitos máximo igual a 37,87% para o nível de salinidade de 7,80 dS m⁻¹.

Os resultados permitem inferir, portanto, que o aumento da salinidade da água de irrigação, independentemente da lâmina, acarretou na ruptura da integridade e aumento da permeabilidade das membranas plasmáticas o que, segundo Brito et al. (2015), está associado ao maior valor de extravasamento de eletrólitos.

Não se encontrou na literatura resultados de pesquisas abordando diretamente os efeitos do estresse salino sobre o extravasamento de eletrólitos em plantas de palma forrageira, em especial em *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth, não tendo sido possível comparar os valores obtidos com os de demais autores.

Embora não se tenha encontrado referências para a palma forrageira, Nunes et al. (2019) observaram resultados que corroboram com os obtidos. Os autores ao avaliarem o cultivo de feijão-caupi (BRS Marataoã e Setentão) sob diferentes concentrações de ácido ascórbico e níveis salinos (0,0 - controle; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 e 7,50 dS m⁻¹) constataram que os tratamentos com solução salina ocasionaram no aumento dos danos à membrana, com base no extravasamento de eletrólitos. O mesmo foi observado no presente estudo em que incrementos nos níveis salinos acarretaram em maiores porcentagens de extravasamento de eletrólitos.

Sousa et al. (2017) em pesquisa com combinações de copa/porta-porta enxerto, níveis de salinidade da água de irrigação (0,60; 1,20; 1,80; 2,40 e 3,00 dS m⁻¹) e adubação nitrogenada verificaram acréscimos no extravasamento de eletrólitos com a elevação da salinidade, o que confirma os resultados observados nesta pesquisa. Os autores afirmaram que esta variável indica a resistência da membrana celular aos danos que podem ser ocasionados por estresses, a exemplo do salino; assim, quanto menor os valores obtidos no extravasamento, mais estável é a membrana celular. O aumento do extravasamento de eletrólitos do conteúdo celular é devido à maior fluidez da membrana em decorrência de injúrias, como o estresse salino, fato também observado neste estudo.

Ferraz et al. (2015) em experimento com mamoneira BRS Energia submetida a níveis de silício (0, 100, 200, e 300 mg L⁻¹) e níveis de salinidade da água (0, 2, 4 e 6 dS m⁻¹) verificaram que incrementos nos níveis de salinidade causaram aumento significativo (p<0,01) na ruptura da membrana celular, observado pelo aumento na porcentagem de eletrólitos extravasados. Os autores afirmaram que o aumento observado na extrusão de eletrólitos pode estar associado ao efeito da fitotoxicidade de sais em organismos vegetais, devido ao acúmulo de íons nos tecidos vegetais. Além disso, os distúrbios causados por esse acúmulo consistem em modificações na composição

das estruturas de membrana e organelas celulares, que causam alterações morfofisiológicas nas plantas. Essas alterações podem causar aumento na ruptura da membrana celular e consequente perda de seu conteúdo interno.

Martins et al. (2018) também verificaram que elevados valores de extravasamento de eletrólitos estão relacionados aos danos nas membranas causados por condições de estresse às plantas. E que danos em membranas a nível foliar podem ser um dos primeiros sinais ao estresse.

5.4 Produção

5.4.1 Número de cladódios primários e secundários

Os resultados da análise de variância pelo teste F para a significância de 1 e 5% de probabilidade demonstraram que ocorreu efeito significativo ($p \leq 0,05$) apenas para número de cladódios primários em relação as lâminas de irrigação. Para as demais variáveis de número de cladódios secundários e número total de cladódios não foram observadas diferenças estatísticas significativas (Tabela 13).

Tabela 13. Resumos da análise de variância para número de cladódios primários (NCP), número de cladódios secundários (NCS) e número total de cladódios (NCT) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)		
		NCP ¹	NCS	NCT
Lâmina	3	4,89*	3,43 ^{ns}	1,64 ^{ns}
Salinidade	3	2,89 ^{ns}	12,56 ^{ns}	9,18 ^{ns}
Lâmina x Salinidade	9	1,78 ^{ns}	14,25 ^{ns}	14,52 ^{ns}
Bloco	3	1,02 ^{ns}	20,31 ^{ns}	15,10 ^{ns}
Erro	45	1,73	19,35	16,66
CV (%)	-	11,79	21,19	12,06
Média geral	-	5,66	11,48	17,20

* - significativo ($p \leq 0,05$) e ^{ns} - não significativo pelo teste F; ¹ dados transformados por raiz quadrada.

O número de cladódios primários apresentou tendência quadrática com R^2 igual a 0,8643 (Figura 16). A maior média de número de cladódios primários foi encontrada, com base na equação de ajuste gráfico, para a lâmina de 376,00 mm com 4,03 cladódios. Esta lâmina é a mais próxima da L2 (370,66 mm) correspondente a 50% da capacidade total de água no solo – CTA. As demais lâminas apresentaram valores médios de 3,43 cladódios (L3 – 75% da CTA igual a 321,04 mm),

3,76 cladódios (L4 – 100% da CTA igual a 338,87 mm) e 2,72 cladódios (L1 – 25% da CTA igual a 457,12 mm), também obtidos pela equação de ajuste.

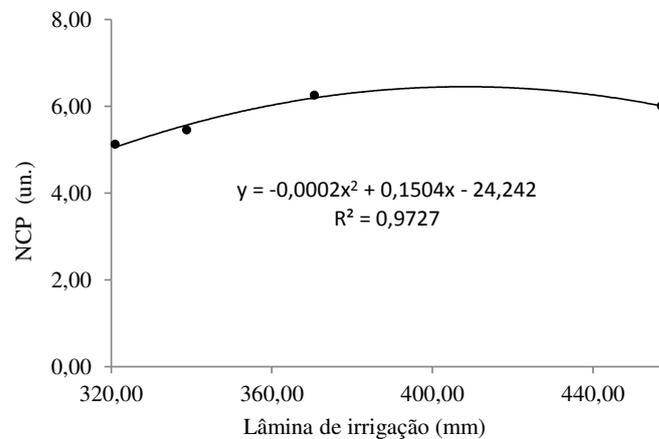


Figura 16. Número de cladódios primários (NCP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação aos 442 dias de ciclo

Verificou-se, portanto, que o número de cladódios primários aumentou com o aumento da lâmina de irrigação até 376,00 mm e, a partir deste valor, decaiu.

As demais variáveis não apresentaram efeito significativo ($p > 0,05$) com valores médios de 11,48 cladódios secundários (NCS) e 17,20 cladódios totais (NTC).

Cavalcante et al. (2017) ao avaliarem o cultivo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob a presença e ausência de cura nos cladódios não verificaram diferenças estatísticas ($p > 0,05$) para número de cladódios primários, número de cladódios de secundários e número total de cladódios. Ainda assim, os valores médios foram de 2,35 cladódios de primeira ordem, 5,37 cladódios de segunda ordem e 12,31 cladódios totais. Contudo, o número total de cladódios foi contabilizado, pelos autores, com os cladódios de terceira ordem e no caso da presente pesquisa, não foram observadas brotações de cladódios terciários. Os valores encontrados neste estudo foram superiores aos obtidos por Cavalcante et al. (2017), possivelmente em decorrência da aplicação das lâminas de irrigação que proporcionaram aumento na produção da palma forrageira.

Lima et al. (2016) não verificaram interação significativa ($p > 0,05$) para número de cladódios primários, porém observaram efeito significativo para número total de cladódios com valor máximo de 20,60 cladódios por planta. Os autores também utilizaram água salina na irrigação da palma forrageira, porém, avaliaram características produtivas para a palma Gigante. Lima et al. (2016)

concluíram que um maior número de cladódios tende a aumentar a captura de CO₂ o que acarreta na maior taxa fotossintética e, desta forma, contribui por maximizar a produção. Este resultado corrobora com os encontrados nesta pesquisa para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Sarmiento et al. (2019) encontraram número de cladódios que corroboram com esta pesquisa. Os autores verificaram para Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação (0, 7, 14 e 21 dias) valores de número de cladódios de: 6,06 cladódios (0 dias), 4,92 cladódios (21 dias), 4,85 cladódios (14 dias) e 4,82 cladódios (7 dias), para cladódios de primeira ordem; 12,40 cladódios (0 dias), 11,91 cladódios (21 dias), 11,91 cladódios (14 dias) e 10,50 cladódios (7 dias), para cladódios de segunda ordem e; 18,60 cladódios (0 dias), 17,20 cladódios (21 dias), 16,94 cladódios (14 dias) e 15,44 cladódios (7 dias), para número total de cladódios.

Segundo Borges et al. (2015), o maior número de cladódios em plantas de palma forrageira reflete em maior produção. Os autores encontraram para a Orelha de Elefante Mexicana sob fertirrigação, 13,00 cladódios por planta sendo este equivalente ao número total de cladódios.

Pereira et al. (2015b) constataram que as condições de disponibilidade hídrica não afetaram o número de cladódios primários e o número total de cladódios da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth. Todavia, verificaram efeito significativo para o número de cladódios secundários. Os autores observaram valores médios de: 8,11 cladódios de primeira ordem; 13,50 cladódios totais por planta. O número de cladódios secundários apresentou valores na ordem de: 7,67 unidades (para a frequência de irrigação de 7 dias com lâmina total irrigada de 558,00 mm); 1,56 unidades (para a frequência de irrigação de 14 dias com lâmina total irrigada de 475,00 mm) e; 4,22 unidades (para a frequência de irrigação de 28 dias com lâmina total irrigada de 438,00 mm). Neste estudo verificou-se valor médio de número de cladódios secundários igual a 11,48 unidades para lâminas de irrigação que variaram de 321,04 mm a 457,12 mm. Ao se comparar este resultado com os obtidos por Pereira et al. (2015b), percebeu-se que houve pela planta um maior aproveitamento da água de irrigação na produção de cladódios tendo em vista que a palma produziu uma quantidade cerca de 33% superior de cladódios para lâminas aproximadamente inferiores as aplicadas pelos autores.

5.4.2 Massa fresca de cladódios primário e secundário

De acordo com os resultados obtidos pela análise de variância através do teste F aos níveis de 1 e 5% de probabilidade (Tabela 14), foram observados efeitos significativos para as variáveis de massa fresca de cladódio primário e massa fresca de cladódio secundário em correspondência aos fatores isolados e a interação entre os fatores.

Tabela 14. Resumos da análise de variância para massa fresca de cladódio primário (MFCP) e massa fresca de cladódio secundário (MFCS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)	
		MFCP	MFCS
Lâmina	3	5,35**	1,02*
Salinidade	3	2,94**	2,76**
Lâmina x Salinidade	9	0,99*	1,11**
Bloco	3	0,13 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Erro	45	0,44	0,35
CV (%)	-	12,06	16,99
Média geral	-	5,52	3,47

**; * - significativo ($p \leq 0,01$); significativo ($p \leq 0,05$) e; ^{ns} - não significativo, pelo teste F.

Com base na análise de variância (Tabela 14), a variável de produção massa fresca de cladódio primário apresentou significância ($p \leq 0,01$) para os fatores isolados de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação. A interação entre os fatores apresentou diferença estatística significativa a 5% de probabilidade.

A massa fresca de cladódio primário foi modelada em função das lâminas e da salinidade da água de irrigação através da superfície de resposta, o que resultou em alta capacidade preditiva com valor de R^2 igual a 0,92 (Figura 17).

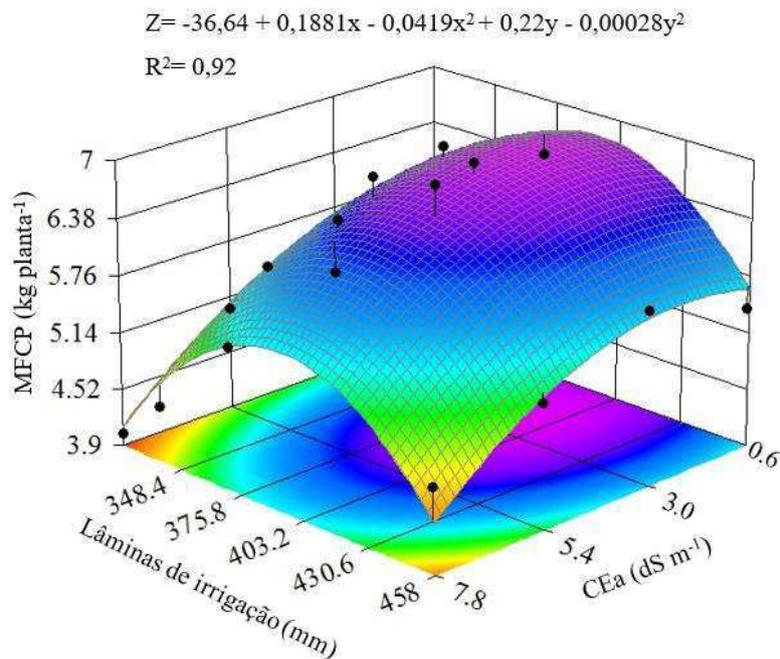


Figura 17. Massa fresca de cladódio primário (MFCP) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação e condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo

Os resultados indicaram, conforme a determinação da salinidade limiar a partir da equação de ajuste do modelo de superfície de resposta, que a máxima massa fresca de cladódio primário (MFCP) foi obtida para o nível salino de $2,20 \text{ dS m}^{-1}$ na lâmina de irrigação de $392,00 \text{ mm}$, tendo resultado em uma produção de $6,79 \text{ kg}$ de massa fresca de cladódio primário por planta. O menor valor de MFCP ($4,05 \text{ kg}$ por planta) foi encontrado para a salinidade de $7,80 \text{ dS m}^{-1}$ combinada a lâmina de irrigação de $321,12 \text{ mm}$. Em relação aos valores máximo e mínimo de massa fresca, o incremento de aproximadamente 72% na salinidade da água e de 18% na lâmina irrigada proporcionou uma redução de $40,35\%$ na produção de massa fresca de cladódio primário.

O mesmo foi observado por Fonseca et al. (2019) que constatou que o uso de água salina com condutividade elétrica de $3,60 \text{ dS m}^{-1}$ na irrigação da palma forrageira Gigante não foi um fator limitante para o desenvolvimento da cultura provavelmente pelo aumento das taxas fotossintéticas. Os autores afirmaram que a água salina nesta condutividade elétrica não causa estresse a planta. No presente estudo a salinidade limite para que a produção não fosse afetada foi de $2,20 \text{ dS m}^{-1}$, valor este abaixo do observado pelos autores, porém, para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

De acordo com Barreiro Neto et al. (2017), plantas que apresentam certa tolerância a determinados estresses abióticos produzem solutos orgânicos reguladores do gradiente osmótico no

citoplasma ou no vacúolo sendo capazes de produzir rendimentos aceitáveis em condições de salinidade.

Silva (2017) ao avaliar a palma forrageira irrigada com água salina com cinco níveis de salinidade ($0,58 \text{ dS m}^{-1}$ – controle; $1,67 \text{ dS m}^{-1}$; $2,69 \text{ dS m}^{-1}$; $3,77 \text{ dS m}^{-1}$ e; $4,78 \text{ dS m}^{-1}$) e três frequências de irrigação (uma, duas e três irrigações por semana de 500 mL por planta) concluiu que a utilização de água com condutividade elétrica de $4,78 \text{ dS m}^{-1}$ é uma opção viável para o cultivo dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* em períodos de estiagem. Os autores verificaram também que o aumento da frequência da irrigação com água salinizada de uma para três vezes por semana aumenta a produtividade, mas aumenta a condutividade elétrica e, conseqüentemente, a concentração de sais no solo, podendo inviabilizar o uso deste e a vida útil do palmar.

Santos et al. (2017) obtiveram respostas significativas de rendimento da palma forrageira irrigada com água salina de $3,60 \text{ dS m}^{-1}$, aos 380 dias após o plantio, com incremento de 111,22% na produção de massa verde, da condição de sequeiro para o maior valor obtido com aplicação de água.

Rego et al. (2014) ao avaliarem os efeitos da adubação orgânica e intensidades de corte sobre as características morfológicas e a produção da palma Miúda (*Nopalea cochenillifera*) adensada e irrigada com condutividade elétrica da água igual a $5,25 \text{ dS m}^{-1}$, encontraram para massa verde de cladódio primário valor médio de 3,24 kg. Apesar dos autores terem estudado um gênero diferente do utilizado nesta pesquisa, observou-se que mesmo sob condições de salinidade da água de irrigação a palma forrageira conseguiu manter sua capacidade produtiva em virtude não somente da contribuição da adubação orgânica, mas também do fornecimento de água a planta pela irrigação. O mesmo foi observado na presente pesquisa para o gênero *Opuntia* irrigado com água salina.

De acordo Queiroz et al. (2015), a Orelha de Elefante Mexicana possui elevada eficiência de uso da água o que reflete na sua produção, em comparação a outros genótipos de palma forrageira.

Ao se relacionar os resultados das variáveis de cladódio primário, verificou-se que estas não apresentaram diferenças estatísticas significativas para crescimento, todavia, foi verificada significância dos tratamentos sobre a fisiologia de cladódio primário e sua produção. Infere-se que o aumento da massa fresca de cladódio primário foi devido ao acúmulo de água nos cladódios da palma Orelha de Elefante Mexicana, tendo em vista que esta cactácea é constituída, em sua maioria, de água o que foi observado através do teor relativo de água na planta. Em adição, apesar do teor relativo de água na planta ter decaído em função do aumento do nível salino devido possivelmente ao aumento da taxa transpiratória indicada pela evapotranspiração real, observou-se que a adoção de

eventos de irrigação favoreceu o maior conteúdo hídrico nas células em comparação a palma forrageira não irrigada. A salinidade também tem participação importante nestes resultados por estar envolvida no mecanismo de ajustamento osmótico e consequente manutenção da absorção de água pela planta.

A massa fresca de cladódio secundário apresentou resultado significativo (Tabela 14) tanto para os fatores isolados quanto para a interação entre lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação.

A interação entre os fatores ($p \leq 0,01$) demonstrou, conforme a equação de ajuste gráfico, que o maior valor de massa fresca de cladódio secundário (4,46 kg) ocorreu para a lâmina de irrigação média acumulada L2 com 370,66 mm (50% da capacidade total de água no solo – CTA) na salinidade de 2,64 dS m⁻¹. O aumento do nível salino nesta mesma lâmina acarretou na redução da massa fresca, com valor mínimo igual 2,29 kg na salinidade de 7,80 dS m⁻¹ (Figura 18).

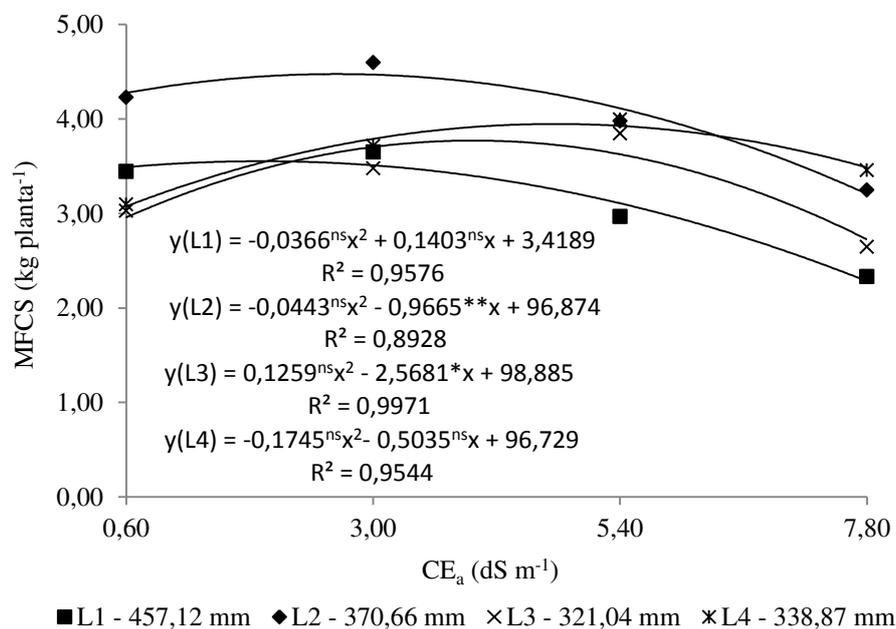


Figura 18. Massa fresca de cladódio secundário (MFCS) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função da salinidade da água (CE_a) para cada lâmina de irrigação (L1 = 25, L2 = 50, L3 = 75, e L4 = 100% da capacidade total de água no solo – CTA) aos 442 dias de ciclo

As demais lâminas apresentaram valores máximos de massa fresca de cladódio secundário de: 3,95 kg para L4 (100% da CTA) com média acumulada de 338,87 mm e salinidade de 4,77 dS m⁻¹; 3,77 kg para L3 (75% da CTA) com média acumulada de 321,04 mm e salinidade de 3,97 dS

m^{-1} e; 3,55 kg para o nível salino de $1,92 \text{ dS m}^{-1}$, na maior lâmina de irrigação média acumulada L1 de 457,12 mm (25% da CTA).

Os cladódios primários e secundários apresentaram respostas similares em relação ao nível de salinidade da água de irrigação e a lâmina de irrigação que proporcionaram o maior incremento em massa fresca. A salinidade limiar para massa fresca de cladódio primário foi de $2,20 \text{ dS m}^{-1}$ na lâmina de irrigação de 392,00 mm e de $2,64 \text{ dS m}^{-1}$ na lâmina de 370,66 mm para cladódio de segunda ordem. Observou-se, com isso, coerência dos resultados obtidos e que a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana demonstrou certa tolerância à salinidade da água de irrigação.

Aos 480 dias após o transplântio, Cavalcante et al. (2017) encontraram valores de massa verde de cladódios primário e secundário inferiores as observadas neste estudo para a Orelha de Elefante Mexicana. Os autores não verificaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$) para estas variáveis de produção com valores médios de 0,835 kg para massa verde de cladódio primário e 0,737 kg para massa verde de cladódio secundário. Diferença esta provavelmente ocasionada pela irrigação da palma forrageira que, no caso dos citados autores, a pesquisa foi realizada em regime de sequeiro.

Para o gênero *Nopalea*, Rego et al. (2014) encontraram massa fresca média de cladódio secundário igual a 0,321 kg. Valor este muito inferior ao obtido para o gênero *Opuntia* nesta pesquisa.

Fonseca et al. (2019) concluíram que o uso de água salina na irrigação da palma forrageira não afetou sua capacidade produtiva até o limite de $3,60 \text{ dS m}^{-1}$. Os autores justificaram que isto ocorreu pelo armazenamento de íons e pelo acúmulo de solutos orgânicos na planta. Os autores constaram, também, que a maior disponibilidade de água promoveu o aumento na produção da cultura. O mesmo ocorreu no presente estudo para a cultivar Orelha de Elefante Mexicana na salinidade de até $2,20 \text{ dS m}^{-1}$ para a produção de cladódios de primeira ordem e $2,64 \text{ dS m}^{-1}$ para cladódios de segunda ordem. Observou-se, portanto, que o fornecimento de água a planta, mesmo que salina, favoreceu o incremento na produção de forragem.

5.4.3 Massa fresca total e massa seca total

Os resultados da análise de variância pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade para massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15. Resumos da análise de variância para massa fresca total (MFT) e massa seca total (MST) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana aos 442 dias de ciclo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios (QM)	
		MFT	MST
Lâmina	3	3,79**	0,04 ^{ns}
Salinidade	3	3,72**	0,17 ^{ns}
Lâmina x Salinidade	9	1,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Bloco	3	0,13 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Erro	45	0,62	0,08
CV (%)	-	8,78	22,40
Média geral	-	8,99	1,24

** - significativo ($p \leq 0,01$) e ^{ns} – não significativo, pelo teste F.

A análise de variância demonstrou diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) de massa fresca total (MFT) para os fatores isolados de lâminas de irrigação e níveis de salinidade da água de irrigação (Tabela 15).

A massa fresca total apresentou tendência gráfica quadrática para as lâminas de irrigação, com valor de R^2 igual a 0,9133 (Figura 19).

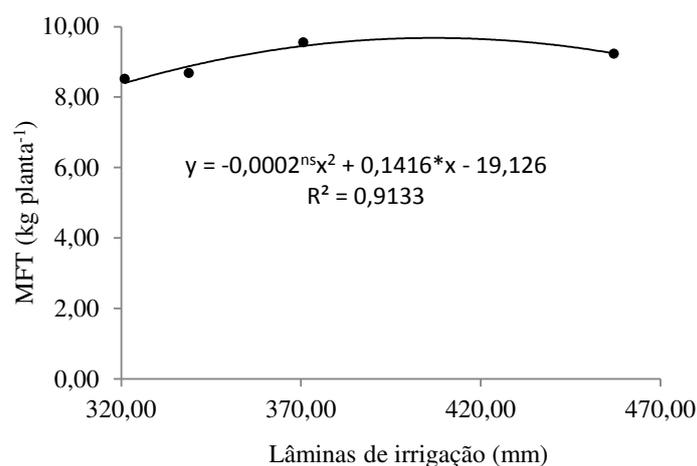


Figura 19. Massa fresca total (MFT) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função das lâminas de irrigação aos 442 dias de ciclo

Valor máximo de massa fresca total, determinado a partir da equação de ajuste gráfico, em função da lâmina de irrigação foi encontrado para a lâmina de 354,00 mm, sendo igual a 5,94 kg. O aumento da lâmina total irrigada acima de 354,00 mm proporcionou o decaimento da massa fresca.

O menor valor de massa fresca total foi observado para a lâmina de irrigação de 457,12 mm, equivalente ao tratamento L1 (25% da capacidade total de água no solo – CTA), com massa fresca igual a 3,81 kg.

No que concerne o efeito dos níveis salinos da água de irrigação sobre a massa fresca total, a salinidade limiar foi de 2,23 dS m⁻¹ resultando em uma produção de 9,34 kg, conforme a equação de ajuste. A menor produção ocorreu no maior nível salino utilizado no intervalo compreendido entre os tratamentos (7,80 dS m⁻¹) e proporcionou um valor de 8,36 kg (Figura 20).

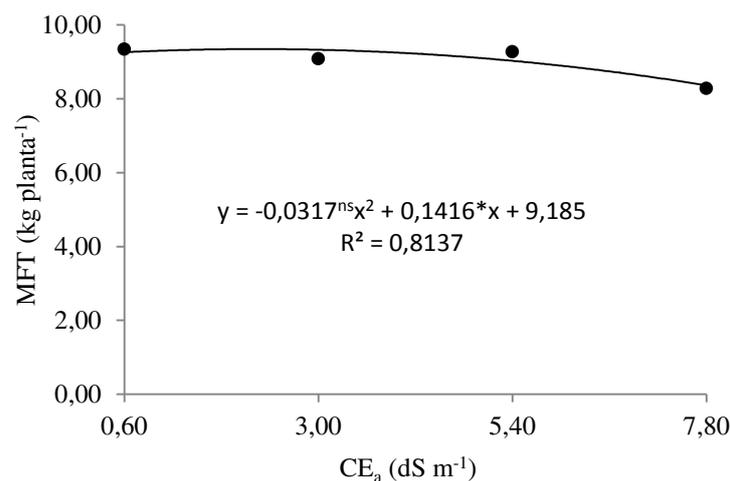


Figura 20. Massa fresca total (MFT) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos níveis de salinidade da água de irrigação (CE_a) aos 442 dias de ciclo

Foi possível observar que mesmo com o aumento da salinidade da água de irrigação em 71,41%, este aumento acarretou na diminuição de apenas 10,49% no valor de produção mostrando-se viável a utilização de água com salinidade superior a limiar até 7,80 dS m⁻¹.

Em muitas propriedades agrícolas do semiárido nordestino, o produtor só possui disponível água com elevada condutividade elétrica, não sendo possível sua utilização em outras culturas agrícolas. Desta forma, seria viável o aproveitamento desta água na irrigação da palma forrageira, todavia, deve-se levar em consideração as características físico-químicas do solo para não o tornar inutilizável no futuro.

Nas condições de realização do presente estudo, a interação entre os fatores para massa fresca total não apresentou efeito significativo (p>0,05). Os tratamentos L1S3 (25% da capacidade total de água no solo – CTA com condutividade elétrica de 5,40 dS m⁻¹), L1S4 (25% da CTA e 7,80 dS m⁻¹), L2S3 (50% da CTA e 5,40 dS m⁻¹), L2S4 (50% da CTA e 7,80 dS m⁻¹), L3S3 (75% da

CTA e $5,40 \text{ dS m}^{-1}$), L3S4 (75% da CTA e $7,80 \text{ dS m}^{-1}$) em termos produtivos não afetaram a massa fresca total da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, entretanto, acarretaram em consequências negativas ao solo. Estes tratamentos, pela análise final do solo (Tabela 4 e Figura 4), resultaram em solos salinos sódicos. Por conseguinte, para a utilização de água com elevados teores de sais combinadas as lâminas de irrigação, no caso específico da massa fresca total e nas condições em que foram desenvolvidas a pesquisa, os tratamentos L1S1 (25% da CTA e $0,60 \text{ dS m}^{-1}$), L1S2 (25% da CTA e $3,00 \text{ dS m}^{-1}$), L2S1 (50% da CTA e $0,60 \text{ dS m}^{-1}$), L2S2 (50% da CTA e $3,00 \text{ dS m}^{-1}$), L3S1 (75% da CTA e $0,60 \text{ dS m}^{-1}$), L3S2 (75% da CTA e $3,00 \text{ dS m}^{-1}$), L4 nas salinidades S1, S2 S3 e S4 (100% da CTA e $0,60 \text{ dS m}^{-1}$, $3,00 \text{ dS m}^{-1}$, $5,40 \text{ dS m}^{-1}$ e $7,80 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente) seriam os mais indicados, pois para estes tratamentos as amostras de solo foram classificadas como normais (não salinos e não sódicos) ao final do período experimental. Os demais tratamentos também poderiam ser utilizados, todavia, seria necessária a adoção de frações de lixiviação para atenuar o efeito do acúmulo de sais da água de irrigação ao solo.

A maior contribuição na massa fresca total de cladódios foi proveniente da massa fresca de cladódio primário, conforme observado nos resultados encontrados para cladódios primário e secundário. Pinheiro et al. (2014) corroboram este resultado quando afirmam que a OEM apresenta crescimento semiaberto que favorece a emissão de cladódios primários com grande contribuição, assim, dos cladódios de primeira ordem na produção final.

Silva et al. (2015d) compararam a produtividade das cultivares de palma forrageira IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana resistentes a cochonilha do carmim e observaram que a cultivar Orelha de Elefante Mexicana se destacou como o genótipo mais produtivo em massa fresca no semiárido.

A massa seca total (MST) não apresentou efeito significativo para nenhum dos fatores avaliados ($p > 0,05$), com valor médio de 1,24 kg. Infere-se que a diferença estatística observada na massa fresca total tenha sido em decorrência do armazenamento de água nos cladódios da palma Orelha de Elefante Mexicana em resposta aos tratamentos aplicados, contudo, verificou-se que os tratamentos não influenciaram no acúmulo de massa seca da forragem. Isto indicou que a palma forrageira permaneceu com elevado teor de água em consequência, talvez, do desenvolvimento de mecanismos de tolerância à salinidade da água de irrigação e também devido ao fornecimento de água a planta.

Rocha et al. (2017) ao avaliarem os efeitos de intervalos de corte sobre as características produtivas de genótipos da palma forrageira em condições irrigadas, obtiveram para a Orelha de Elefante Mexicana médias de 208,88 toneladas de massa verde por hectare ($t \text{ de MV ha}^{-1}$), 323,75 t

de MV ha⁻¹, 566,00 t de MV ha⁻¹ e 763,50 t de MV ha⁻¹ aos 4, 8, 12 e 16 meses de corte, respectivamente, Isso correspondeu à 4,18 kg, 6,47 kg, 11,32 kg e 15,27 kg. Ao todo foram fornecidos 738,50 mm de água à planta, contabilizando a precipitação e a irrigação. Na corrente pesquisa a massa fresca total foi determinada aos 334 dias após o início da aplicação dos tratamentos o que correspondeu a um ciclo total de 442 dias, cuja produção máxima foi de 9,34 kg. Este valor foi inferior ao encontrado pelos autores para um período equivalente. Entretanto, os autores realizaram o cultivo de palma em condições de campo. Rocha et al. (2017) encontraram ainda valor máximo de 1,52 kg de massa seca por planta, cortada aos 12 meses de cultivo e afirmaram que esse resultado foi devido ao maior volume de água aplicado. Valor este semelhante ao obtido na presente pesquisa.

Os resultados obtidos para massa fresca total e massa seca total foram superiores aos encontrados por Silva et al. (2015a) para cultivo em condições de campo. Os autores ao avaliarem o crescimento e a produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e suas relações com as variáveis meteorológicas encontraram para a cultivar Orelha de Elefante Mexicana uma produtividade de matéria fresca de 163,70 toneladas por hectare e matéria seca de 15,60 toneladas por hectare, com densidade de plantio de 31250 plantas por hectare. Isto correspondeu, respectivamente, a 5,24 kg de massa fresca por planta e 0,50 kg de massa seca por planta. Cabe ressaltar que o cultivo realizado pelos autores foi em função apenas da precipitação, não tendo sido adotados eventos de irrigação.

Queiroz et al. (2015) ao avaliarem as características morfofisiológicas e a produtividade de da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes lâminas de irrigação (0,0; 8,75; 17,50; 26,35 e 35,00% da evapotranspiração de referência) verificaram valor médio de massa seca por planta igual a 0,52 kg aos 380 dias após o plantio. Mesmo em condições irrigadas e para a mesma cultivar utilizada no presente estudo, os autores encontraram valor inferior de massa seca.

Santos et al. (2017) obtiveram respostas significativas de rendimento da palma forrageira irrigada com água salina de 3,60 dS m⁻¹, aos 380 dias após o plantio, com incremento de 68,40% na produção de massa seca, da condição de sequeiro para o maior valor obtido com aplicação de água.

Fonseca et al. (2019) concluíram que a utilização de irrigação com água salina aplicada com 33% da evapotranspiração de referência a intervalos de 3 dias aumenta significativamente a produção da palma forrageira e considera viável para a sustentabilidade da produção agrícola. Afirmaram também que a maior disponibilidade de água salina promoveu o aumento na produção da cultura e, conseqüentemente, maior eficiência de uso da água. Já condições de baixa

disponibilidade hídrica estão associadas a menores valores produção o que está relacionado ao menor crescimento da planta.

6. CONCLUSÕES

1. A aplicação de lâminas de irrigação compreendidas entre 320,00 e 460,00 mm favorece a evapotranspiração real da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth), para um ciclo de 15 meses.
2. Mesmo para salinidade da água de irrigação de até 7,80 dS m⁻¹, a planta mantém uma demanda evapotranspirométrica satisfatória.
3. Para as condições de disponibilidade hídrica e de salinidade da água de irrigação adotadas nesta pesquisa, o coeficiente de cultivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana variou entre 0,68 e 0,85.
4. O crescimento das plantas de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana não foi influenciado pelas lâminas de irrigação e pela salinidade da água de irrigação, com exceção da espessura de cladódios de segunda ordem que foi afetada positivamente pela condutividade elétrica da água.
5. O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação acarretou redução do teor relativo de água na planta Orelha de Elefante Mexicana.
6. Níveis elevados de condutividade elétrica da água de irrigação ocasionam aumento da porcentagem de eletrólitos extravasados da espécie *Opuntia stricta* (Haworth) Haworth.
7. A salinidade limiar da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haworth) Haworth) de 2,23 dS m⁻¹ obtida neste estudo e a lâmina de irrigação de 354,00 mm resultaram nos maiores valores de produção de massa fresca total respectivamente iguais a 9,34 kg e 5,94 kg.



7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Adorian, G. C.; Lorenconi, R.; Dourado Neto, D.; Reichardt, K. Evapotranspiração potencial e coeficiente da cultura de dois genótipos de arroz de terras altas. *Revista de Agricultura*, v.90, p. 128-140, 2015.
- Allen, R. G. Standard Reference Evapotranspiration Calculations: REF-ET. In: *Irrigation and Drainage: Saving a Threatened Resource. In Search of Solutions*. ASCE, 1992. p.140-145.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998. 297p, v.56.
- Almeida, I. V. B.; Souza, J. T. A.; Batista, M. C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.13, p.153, 2019.
- Amorim, D. M.; Silva, T. G. F. D.; Pereira, P. D. C.; Souza, L. S. B. D.; Minuzzi, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.47, p.62-71, 2017.
- Anower, M. R.; Peel, M. D.; Mott, I. W.; Wu, Y. Physiological processes associated with salinity tolerance in an alfalfa half-sib family. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.203, p.506-518, 2017.
- Barbosa, M. L.; Silva, T. G. F. da; Zolnier, S.; Silva, S. M. S. e; Morais, J. E. F. de; Assis, M. C. de S. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.600-605, 2017.
- Barreiro Neto, M.; F, P. D.; Gheyi, H. R.; Lacerda, J. T.; Carvalho, R. A. Índices fisiológicos em genótipos de abacaxizeiro sob estresse salino. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.11, n.6, p.89-99, 2017.
- Basu, S.; Giri, R. K.; Benazir, I.; Kumar, S.; Rajwanshi, R.; Dwivedi, S. K.; Kumar, G. Comprehensive physiological analyses and reactive oxygen species profiling in drought tolerant rice genotypes under salinity stress. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v.23, p.837-850, 2017.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. *Manual de Irrigação*. 8 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.
- Bispo, R. de C.; Hernandez, F. B. T.; Teixeira, A. H. de C. Balanço hídrico e estimativa do consumo relativo de água da cultura da cana-de-açúcar na região Noroeste paulista. *Irriga*, v.1, p.94-101, 2017.
- Borges, V. E.; Matos, R. M.; Silva, P. F.; Dantas Neto, J.; Sobrino, T. G. Análise de crescimento de três cultivares de palma forrageira. *Educação Agrícola Superior*, v.30, p.7-14, 2015.
- Brito, C. H.; Lopes Batista, E.; Albuquerque, I. de; Luna Batista, J. de. Avaliação de produtos alternativos e pesticidas no controle da cochonilha-do-carmim na Paraíba. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.8, p.1-5, 2008.
- Brito, M. E. B.; Anjos Soares, L. A. dos; Lima, G. S. de; Silva Sá, F. V. da; Araújo, T. T.; Silva, E. C. B da. Crescimento e formação de fitomassa do tomateiro sob estresse hídrico nas fases fenológicas. *Irriga*, v.20, p.139-153, 2015.



Cairo, P. A. R. Curso Básico de Relações Hídricas de Plantas. Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia: Vitória Da Conquista, 1995, 32p.

Camargo, Â. P.; Sentelhas, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, p.89-97, 1997.

Campos, A. R. F. Manejo de irrigação na palma forrageira: definição de critérios com base no potencial matricial da água no solo. Cruz das Almas: UFRB, 2018. 102p. Tese Doutorado.

Campos, F. S.; Gois, G. C.; Vicente, S. L. A.; Macedo, A. de; Matias, A. G. da S. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. Nutritime Revista Eletrônica, v.14, p.5004-5013, 2017.

Carvalho, D. F. de; Oliveira, L. F. C. de. Planejamento e manejo da água na agricultura irrigada. 1.ed. Viçosa: UFV, 2012. 240p.

Carvalho, L. C. 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, p.456-465, 2011.

Cavalcante, A. B.; Leite, M. L. M. V.; Pereira, J. S.; Lucena, L. R. R. Crescimento de palma forrageira em função da cura de segmentos dos cladódios. Tecnologia & Ciência Agropecuária, v.11, p.15-20, 2017.

Clark, G. A.; Albrechts, E.; Stanley, C. D. Water requirements and crop coefficients of dripirrigated strawberry plants. Transaction of ASAE, v.39, p.905-912, 1996.

Cruz Neto, J. F.; Morais, J. E. F.; Souza, C. A. A.; Carvalho, H. F. de S.; Rodrigues, C. T. A.; Silva, T. G. F. da. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. Journal of Environmental Analysis and Progress, v.2, p.98-106, 2017.

Divincola, J. S.; Silva, C. B. da; Santos, M. A. L. dos; Santos, D. P dos; Santos, L. W. dos. Coeficiente de cultivo e necessidade hídrica da palma forrageira no agreste de Alagoas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.23, p. 925-929, 2019.

Donato, P. E. R.; Pires, A. J. V.; Donato, S. L. R.; Bonomo, P.; Silva, J. A.; Aquino, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.9, p.151-158, 2014.

Epifânio, N. M. L. S. Descritores morfológicos e indicador de metabolismo fotossintético em clones de palma forrageira. Recife: UFRP, 2019. 84p. Tese Doutorado.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Roma: FAO, 1995. 216p.

Félix, E. S.; Lima, W. B.; Silva, C. T.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Lira, E. C. Cultivo de palma forrageira (*Opuntia stricta*) irrigada com água salinizada. Brazilian Applied Science Review, v.2, p.1869-1875, 2018.

Ferraz, R. L. de S.; Magalhães, I. D.; Beltrão, N. E. de M.; Melo, A. S. de, Brito Neto, J. F. de; Rocha, M. do S. Pigmentos fotossintetizantes, extrusão celular e conteúdo relativo de água nas



folhas da mamoneira sob silício e salinidade. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v.19, p.841-848, 2015.

Ferreira, D. F. SISVAR - a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, v.35, p.1039-1042, 2011.

Fonseca, V. A.; Santos, M. R. dos; Silva, J. A. da, Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S.; Brito, C. F. Ba. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. Acta Scientiarum Agronomy, v.41, p.1-11, 2019.

Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M. de; Matos, R. M. de; Bandeira, M. M.; Santos, D. Análise e mapeamento dos índices de umidade, hídrico e aridez através do BHC para o Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v.8, p.1093-1108, 2015.

Franco-Salazar, V. V.; Véliz, J. A. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentrtración de clorofila em *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. Saber, Universidade de Oriente, v.20, p.12-17, 2008.

Freire, J. L. de. Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) sob irrigação e salinidade. Pernambuco: UFRP, 2012. 85p. Tese Doutorado.

Frota, M. N. L. da; Carneiro, M. S. S de; Carvalho, G. M. C.; Araújo Neto, R. B de. Palma forrageira na alimentação animal. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 47p.

Gava, C. A. T.; Lopes, E. B. Produção de mudas de palma forrageira utilizando fragmentos de cladódios. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. 2p.

Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; Lacerda, C. F. de. Manejo de salinidade na agricultura: estudos básicos aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472p.

Jardim, A. M. da R. F.; Silva, M. J. da.; Queiroz, M. G. de; Alves, C. P.; Silva, T. G. F. da. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. no quarto ciclo produtivo. XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro. Juazeiro-BA/Petrolina-PE, Brasil: 14 a 18 de agosto de 2017.

Larcher, W. Utilização de carbono e produção de matéria seca. In: Larcher, W. Ecologia vegetal. São Paulo: EPU, 1986. p.74-160.

Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba: EDUSP, 1995. 497p.

Lima, G. F. da C.; Rego, M.; Teles, M.; Dantas, F. D. G.; Lôbo, R. N. B.; Silva, J. G. M. D.; Aguiar, E. M. D. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. Revista Caatinga, v.29, p.481-488, 2016.

Lima, G. F. da C.; Wanderley, A. de M.; Guedes, F. X.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Silva, J. G. M da; Novaes, L. P; Aguiar, E. M de. Palma forrageira irrigada e adensada: uma reserva forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar. Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN, Parnamirim, Rio Grande do Norte, 2015. Embrapa Semiárido (Documento 45)



Lima, T. P. de; Gomes, R. R. F.; Reis E. F.; Carvalho, C. M. de; Cadore, R. Freitas, D. S. Production of pepper *Capsicum chinense* under different irrigation depths in greenhouse. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1254-1260, 2017.

Lopes, A. S.; Pavani, L. C.; Corá, J. E.; Zanini, J. R.; Miranda, H. A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e Convencional. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.89-100, 2004.

Lopes, O. D.; Kobayashi, M. K.; Oliveira, F. G.; Alvarenga, I. C.; Martins, E. R.; Corsato, C. E. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) e eficiência do uso de água do alecrim-pimenta irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.6, p.548-553, 2011.

Matos, R. M.; Neto, J. D.; de Lima, A. S.; da Silva, P. F.; Borges, V. E.; Sobrinho, T. G. Teor de umidade por diferentes métodos em neossolo do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, n.4, p.1588, 2017.

Martins, A. C.; Larré, C. F.; Bortolini, F.; Borella, J.; Eichholz, R.; Delias, D.; Amarante, L do. Tolerância ao déficit hídrico: adaptação diferencial entre espécies forrageiras. *Iheringia. Série Botânica*, v.73, p.228-239, 2018.

Morais, J. E. de; Silva, T. G. da; Queiroz, M. G. D.; Araujo, G. G. de; Moura, M. S.; Araújo Júnior, G. D. 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.

Nobel, P. S. Achievable productivities of CAM plants: basis for high values compared with C3 and C4 plants. *New Phytol*, v.119, p.183-205, 1991.

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J. (ed.) *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: Embrapa SEA, 1991. 189-25p.

Nunes, L. R. de L.; Pinheiro, P. R.; Cabral, F. A. S.; Silva, J. B. da; Dutra, A. S. Ácido ascórbico em sementes de feijão-caupi sob estresse salino. *Journal of Seed Science*, v.41, p.441-451, 2019.

Oliveira, F. I.; Medeiros, W. J. de; Lacerda, C. F. D.; Neves, A. L.; Oliveira, D. R. Saline water irrigation managements on growth of ornamental plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, p.739-745, 2017.

Oliveira, F. T. de; Souto, J. S.; Silva, R.P. da; Andrade Filho, F.C. de; Pereira Júnior, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.5, p.27-37, 2010.

Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. P. do N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.19, p.1308-1324, 2015.

Pereira, A. R.; Villa Nova, N. A.; Sedyama, G. C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

Pereira, P. C.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Moraes, J. E. F.; Santos, D. C. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Goiânia, v.50, p.515-525, 2015a.



Pereira, P. C.; Silva, T. G. F.; 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, 2015b.

Pereira, P. D. C.; Silva, T. G. F. D.; Zolnier, S.; Silva, S. M. S. E.; Silva, M. J. D. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. *Revista Caatinga*, v.30, p.776-785, 2017.

Pinheiro, K. M.; Silva, T. G. F.; Sousa Carvalho, H. F.; Santos, J. E. O.; Morais, J. E. F.; Zolnier, S.; Santos, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.49, p.939-947, 2014.

Prevedello, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: C.L. Prevedello, 1996. 446 p.

Queiroz, J. E.; Goçaves, A. C. A.; Souto, J. S.; Folegatti, M. V. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In Gheyi, R. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCT Sal, 2010. 472p.

Queiroz, M.G.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Silva, S. M. S. E.; Lima, L. R.; Alves, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira sob diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, p.931-938, 2015.

Queiroz, M.G.; Silva, T. G. F.; Zolnier, S.; Silva, S. M. S.; Souza, C. A. A.; Carvalho, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. *Irriga*, v.1, p.141-154, 2016.

Ramos, J. P. R.; Leite, M. L. M. V.; Oliveira Júnior, S.; Nascimento, J. P.; Santos, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Caatinga*, v.24, p.41-48, 2015.

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, p.118-130, 2014.

Reichardt, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

Resende, R. S.; Amorim, J. R. A.; Cruz, M. A. S.; Meneses, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.46-52, 2014.

Ribeiro, A. A.; Moreira, F. J. C.; Seabra Filho, M.; Menezes, A. S. Emergência do maracujazeiro-amarelo sob estresse salino em diferentes substratos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v.10, p.27-36, 2016a.

Ribeiro, A. A.; Simeão, M.; Santos, A. R. B. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso e seco em Piripiri (PI). *Revista Agroambiental*, v.8, p. 89-100, 2016b.

Richards, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p.



Rocha, J. E. da S. Palma forrageira no Nordeste do Brasil o estado da arte. 21.ed. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. 40p.

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, p. 363-371, 2017.

Salassier, B., Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8 ed. Viçosa: Ed. UFRV, 2006. 625p.

Sales, A. T.; Leite, M. L. M. V.; Alves, A. Q.; Ramos, J. P. F.; Nascimento, J. P. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimataú Paraibano. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.7, p.19-24, 2013.

Santana, M. J. de; Wachsmuth, R.; Sgobi, M. A.; Almeida, F. da S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tifton-85 em Uberaba, MG. *Global Science and Technology*, v.9, p 39-50, 2016.

Santos, D. C. dos; Farias, I.; Lira, M. de A.; Santos, M. V. F. dos; Arruda, G. P. de; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Melo, J. N. de. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Napolea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48p.

Santos, M. A. A. R.; Santos, G. P. S.; Lima, C. B. da; Silva, D. P.; Santos, M. A. L. Coeficiente de cultivo (kc) da palma forrageira com turno de rega. XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem: UFS - São Cristóvão/SE, 2015. 144-1149p.

Santos, M. R. dos; Silva, A. J. P. da; Fonseca, V. A.; Campos, A. R. F.; Lisboa, M. de A. Irrigação na palma forrageira. *Informe Agropecuário, Belo Horizonte*, v.38, n.296, p.00-00, 2017.

Sarmento, W. G. C.; Oliveira, J. F. F. de; Cardoso, D. B.; Santos, E. A. dos; Silva Mendonça, C. G. da; Andrade, A. P. de; Melo, A. A. S. De. Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta Haw*) submetida a diferentes frequências de irrigação. XXVII SEMANA DE ZOOTECNIA DA UFRPE: RECIFE, 2019.

Scalasi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Lo Bianco, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, v.122, p.158-167, 2016.

Sediyama, G. C. Necessidade de água para os cultivos. Brasília: ABEAS, 1987. 143p.

Seki, K. SWRC fit – a nonlinear fitting program with a water retention curve for soils having unimodal and bimodal pore structure. *Hydrol. Earth System Science Discussion*, v.4, p.407-437, 2007.

Silva, A. A. R. D.; Lima, G. S. D.; Azevedo, C. A. V. D.; Gheyi, H. R.; Souza, L. D. P.; Veloso, L. L. D. S. A. Gas exchanges and growth of passion fruit seedlings under salt stress and hydrogen peroxide. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, e55671, 2019.

Silva, A. O. da; Klar, A. E.; Silva, E. F. de F. e; Tanaka, A. A.; Júnior, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1143-1151, 2013a.

Silva, A. O.; Silva, Ê. F. F.; Klar, A. E. Eficiência do uso da água em cultivares de beterraba submetida a diferentes tensões de água no solo. *Water Resources and Irrigation Management*, v.2, p.27-36, 2013b.

Silva, G. F.; Miranda, K. R. de.; Santos, D. C. dos.; Queiroz, M. da C.; NETO, J. F. da C.; Araújo, J. E. M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.9, p.633-641, 2014a.

Silva, L. M. da; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. de A.; Moreira, A. L.; Backes, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, p.2064-2071, 2014b.

Silva, M. L. R. B.; Figueirôa, C. S.; Mergulhão, A. C. E. S.; LYRA, M. C. C. P. Identificação de bactérias diazotróficas isoladas em cultivares de palma (*Opuntia* e *Nopalea*) usando o gene recA. *Bioscience Journal*, v. 31, p. 577-583, 2015d.

Silva, N. F. da; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L.; Sousa, C. V. de. Temporal variation of the matric potential of a latosol monitored by tensiometry. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.1, 2017a.

Silva, P. F.; Matos, R. M.; Borges, V. E.; Melo, J. A. P.; Dantas, N. J. Características morfológicas de três cultivares de palma forrageira sob fertilização mineral em Campina Grande–PB. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v. 11, p.385-397, 2015c.

Silva, R. H. D. Crescimento de palma forrageira irrigada com água salina. Viçosa: UFV, 2017. 66pc.

Silva, T. G. F.; Araújo Primo, J. T.; Morais, J. E. F. de; Diniz, W. J. da S.; Souza, C. A. A. de; Silva, M. da C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v.28, p.10-18, 2015a.

Silva, T. G. F.; Araújo Primo, J. T.; Moura, M. S. B.; Silva, S. M. S.; Morais, J. E. F.; Pereira, P. C.; Souza, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, p.515-525, 2015b.

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. *Revista Bragantia*, v.73, p.184-191, 2014c.

Silva, T. G. F.; Santos, J. E. O.; Primo, J. T. A.; Moura, M. S. B. de; Silva, S. M. S. e; Silva, M. da C.; Souza, L. S. B. de. Dinâmica de água no solo em uma área de cultivo com clones de palma forrageira. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado. Anais... Gramado: SBMET, 2012.

Silva, W. A.; Santana, J. S.; Silva, C. M.; Nunes, A. A. Regionalização de coeficiente de cultivo aplicado no planejamento da agricultura irrigada no Estado do Maranhão–Brasil. *Engenharia Agrícola*, v.37, n.5, 2017b.

Sousa, G. G. de; Marinho, A. B.; Albuquerque, A. H. P.; Viana, T. V. A.; Azevedo, B. M. Crescimento inicial do milho sob diferentes concentrações de biofertilizante bovino irrigado com águas salinas. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.237-245, 2012.



Sousa, J. R. M.; Gheyi, H. R.; Brito, M. E. B.; Lima, G. S de. Dano na membrana celular e pigmentos clorofilianos de citros sob águas salinas e adubação nitrogenada. *Irriga*, v. 22, p. 353-368, 2017.

Souza, A. E.; Nascimento, L. C.; Souza, B. O. de. Principal components of the intensity of squamous rot on prickly pear plantations in the semiarid region of the state of Paraíba, Brazil. *Revista Caatinga*, v.30, n.2, p.370-376, 2017.

Souza, M. V. P.; Sousa, G. G.; Silva Sales, J. R.; Costa Freire, M. H.; Silva, G. L.; Araújo V. T. V. Água salina e biofertilizantes de esterco bovino e caprino na salinidade do solo, crescimento e fisiologia da fava. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.14, n.3, p.5672, 2019.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

Ting, I. P. Environmental biology of agaves and cacti. *Science*, v.242, p.948-950, 1988.

Toledo, J. V.; Alterações na evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar sob distintos níveis de salinidade aplicados na fertirrigação. *Revista Engenharia Agrícola*, v.37, n.5, 2017.

Vasconcelos, A. G. V.; Lira, M. 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, p.827-831, 2009.

Youngs, E. G. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed). *Soil analysis: physical methods*. New York: Marcel Dekker, 1991. Cap.4, p.161-207.