



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

RAIMUNDO JOSÉ COUTO DOS REIS FILHO

**PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE
MEXICANA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE
CORTE**

FORTALEZA

2020

RAIMUNDO JOSÉ COUTO DOS REIS FILHO

PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE
MEXICANA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE
CORTE

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Forragicultura.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Socorro de Souza Carneiro.

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- R312p Reis Filho, Raimundo José Couto dos.
Produtividade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte / Raimundo José Couto dos Reis Filho. – 2020.
113 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Maria Socorro de Souza Carneiro.
Coorientação: Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva .
1. Palma forrageira. 2. Sistema de irrigação. 3. Opuntia stricta. 4. Semiárido. 5. Zootecnia. I. Título.
CDD 636.08
-

RAIMUNDO JOSÉ COUTO DOS REIS FILHO

PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE
MEXICANA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE
CORTE

Tese apresentada ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Zootecnia. Área de concentração: Forragicultura.

Aprovada em: 20/07/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Maria Socorro de Souza Carneiro (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dr.^a Elzania Sales Pereira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. João Avelar Magalhães
Embrapa Meio-Norte

Prof. Dr. Luiz Barreto de Moraes Neto
Integral Agroindustrial

Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

À minha querida mãe, **Ione Reuter Reis** (*in memoriam*), que apesar de já não estar mais entre nós, de onde ela estiver, vai estar orgulhosa do seu filho por mais uma conquista. Obrigado pelo seu esforço e dedicação na criação dos seus filhos, pois valeu a pena.

Um beijo no seu coração.

À minha esposa, **Maria Helena Ferrer de Azevedo Moreira**, e a meus filhos, **Pietra de Sousa Lima Reis**, **Mariana Ferrer Moreira Ciriaco** e **Felipe Ferrer Moreira Ciriaco**, os quais me apoiaram e entenderam os momentos de ausência no convívio familiar durante a condução desse projeto de pesquisa. Família é a base de tudo e a minha significa luz, amor e amizade.

Aos produtores de leite e carne do Semiárido brasileiro, os quais desafiam as condições adversas e continuam na luta diária para produzir alimentos e o sustento de suas famílias. São verdadeiros heróis!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida, pela sabedoria e por estar sempre presente guiando de forma iluminada meus caminhos.

À Universidade Federal do Ceará e ao Programa de Doutorado Integrado em Zootecnia (PDIZ) da UFC/UFPB/UFRPE, que pelo acolhimento e oportunidade concedida, além da sua estrutura física e de pessoal, me possibilitou a formação e a titulação de doutor.

Em especial, à minha orientadora, professora Dr.^a Maria Socorro de Souza Carneiro, pelo acolhimento, atenção, competência, confiança, orientação, pelo exemplo de ser humano e profissional, por incentivar e apoiar as minhas ideias quanto ao presente projeto de pesquisa.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Rodrigo Gregório da Silva, pela colaboração na pesquisa desde o início, ensinamentos, atenção, amizade e incentivo constante no decorrer do doutorado.

À banca examinadora, professora Dr.^a Elzania Sales Pereira, professor Dr. Rafael Nogueira Furtado, Dr. João Avelar Magalhães e Dr. Luiz Barreto de Moraes Neto por aceitarem participar da banca e pelas pertinentes observações e ensinamentos.

Ao professor Dr. Magno José Duarte Cândido e ao pesquisador Dr. Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu por terem participado da minha banca de qualificação, contribuindo com seus ensinamentos.

À Francisca (Secretária da Pós-Graduação), que, sempre que demandada, mostrou presteza no atendimento e nas soluções das questões ligadas ao programa de pós-graduação.

Aos técnicos do laboratório de Análise Animal (LANA), Danilo e Dona Rose, deixo aqui meu agradecimento pelo apoio, paciência e ensinamentos a respeito dos procedimentos laboratoriais envolvidos neste trabalho de pesquisa.

À Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), através do seu presidente, Eduardo Sávio Passos Rodrigues Martins, que gentilmente disponibilizou os dados climatológicos utilizados nesta pesquisa.

Aos colaboradores voluntários Barbara, Tamirys, Samuel, Dapaes, Emy, Pietra, Chico, Glaydson e aos funcionários da Vale Verde Agropecuária, pela relevante contribuição, sem as quais não teria sido possível a realização dos ensaios de campo e os trabalhos laboratoriais; agradeço pelo empenho, mesmo nos dias ensolarados, chuvosos e de árduo trabalho.

Ao zootecnista Dr. Francisco Gleyson da Silveira Alves, pela grande e fundamental contribuição na interpretação dos dados estatísticos, bem como na construção da tese como um todo.

Ao zootecnista M.Sc. Clésio dos Santos Costa e ao engenheiro agrônomo Dr. Marcos Neves Lopes, pois na reta final desta jornada deram valiosas e decisivas contribuições.

Ao amigo Maciano Bezerra, que, com seu conhecimento e apoio operacional constante na condução dos ensaios de campo, foi imprescindível nesta trajetória.

Aos meus irmãos, Heloísa, Mário e Karla, pelo apoio, incentivo, carinho, confiança e amizade.

À minha esposa, Maria Helena Ferrer, e meus filhos Pietra, Mariana e Felipe, pelo apoio e compreensão em todos os momentos nesta longa e dura jornada.

Por fim, agradeço a cada um, mesmo não sendo citado nesta ocasião, que de alguma forma contribuiu para a concretização desta longa e gratificante caminhada.

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da utilização dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte no cultivo da palma forrageira. A pesquisa foi realizada na região Semiárida, no município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro sistemas de irrigação e quatro frequências de corte, com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pela frequência de corte (6, 9, 12 e 18 meses). O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, que proporcionou um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹. O período de execução do experimento foi de dezembro de 2016 a janeiro de 2019. Definiu-se um turno de rega de dois dias, utilizando-se 5,0 mm de lâmina bruta de água (2,5 mm.dia⁻¹), manejo estabelecido igualmente para todos os sistemas de irrigação avaliados. Foram analisadas variáveis morfológicas, produtivas e de relações hídricas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). Os fatores frequência de corte e sistema de irrigação influenciaram a maioria das características morfológicas e produtivas avaliadas. Observou-se que a frequência de corte apresentou efeito linear positivo para as variáveis altura final da planta, número de cladódios de 1ª ordem e produção de massa seca de cladódios de 2ª e 3ª ordem. Apresentou efeito linear positivo no índice de área de cladódio colhível, sendo o maior observado na frequência de corte de 18 meses (2,23 m²/m²), resultado que diferiu estatisticamente (P<0,01) dos valores obtidos nas frequências de corte de 6 meses (1,24 m²/m²), 9 meses (1,30 m²/m²) e 12 meses (1,78 m²/m²). A frequência de corte de 18 meses apresentou os maiores valores para percentual de matéria seca da planta. Já a frequência de corte de 6 meses apresentou os menores valores para comprimento, largura e espessura dos cladódios de 2ª ordem, número de cladódios de 3ª ordem, número de cladódios colhível, peso médio dos cladódios de 2ª ordem e produção de massa seca de cladódios de 2ª ordem. Quanto ao efeito da frequência de corte para eficiência de uso da água (EUA), os maiores valores para produção de massa fresca foram obtidos nas frequências de 6 e 12 meses, 134,19 e 108,62 kg de MFha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente. Para eficiência de uso da água para massa seca, o maior valor foi obtido na frequência de 6 meses, 8,46 kg MSha⁻¹ mm⁻¹. Quanto aos sistemas de irrigação, a aspersão convencional apresentou melhores resultados, para a maioria das variáveis morfológicas e de produtividade avaliadas. Esse sistema obteve o maior índice de área de cladódio colhível, 2,05 m²/m², apresentando diferença significativa (P<0,01) para os valores observados nos sistemas micro spray jet (1,67 m²/m²), microaspersão (1,55 m²/m²) e gotejamento superficial (1,28 m²/m²).

A aspersão convencional também apresentou os maiores valores de número de cladódios de 2ª ordem (4,92 cladódios planta⁻¹), produção de massa fresca dos cladódios de 2ª ordem (121,57 t MFha⁻¹ ano⁻¹) e taxa de produção de massa fresca total (548,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹). O sistema de aspersão convencional e micro spray jet apresentaram os maiores valores para número de cladódios de 1ª ordem, número de cladódios total da planta, número de cladódios total colhível, taxa de produção de massa fresca dos cladódios de 3ª ordem, produção de massa seca dos cladódios de 2ª e 3ª ordem e taxa de produção de massa seca dos cladódios de 2ª e 3ª ordem. A frequência de corte de 12 meses associado ao sistema de aspersão convencional apresentou as maiores produções de massa fresca dos cladódios de terceira ordem (86,48 t MFha⁻¹) e cladódios total (267,79 t MFha⁻¹), e maiores produções de massa seca total (16,37 t MSha⁻¹) e taxa de produção de massa seca total (44,86 kg MSha⁻¹ dia⁻¹). Os maiores valores de eficiência de uso da água para produção de massa fresca ocorreu no sistema de aspersão convencional, 128,56 kg de MFha⁻¹ mm⁻¹, enquanto para eficiência de uso da água para produção de massa seca os maiores valores foram obtidos na aspersão convencional (8,20 kg MSha⁻¹ mm⁻¹) e micro spray jet (6,89 kg MSha⁻¹ mm⁻¹). Não foi observado mortalidade de plantas, evidenciando a rusticidade e adaptabilidade da cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) em regime irrigado, independentemente da frequência de corte e do sistema de irrigação utilizado. O sistema de aspersão convencional e a frequência de corte de 12 meses apresentam, de forma geral, os melhores resultados, podendo ser adotadas como estratégia de cultivo irrigado e adensando da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).

Palavras-chave: *Opuntia stricta*. Sistema adensado. Semiárido. Plantas xerófilas.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the use of different irrigation systems and cutting frequencies in the cultivation of cactus pear. The research was carried out in the Semiarid region, in the city of Russas, in the state of Ceará, Brazil. The experimental design used was of randomized blocks in subdivided plots, with four irrigation methods and four cutting frequencies, with four replications. The plots were represented by irrigation systems (surface drip, micro sprinkler, micro spray jet and conventional sprinkling) and subplots by cutting frequency (6, 9, 12 and 18 months). The spacing used was 1.60 m x 0.40 m x 0.14 m, which provided a density of 70,000 plants ha⁻¹. The execution period of the experiment was from December 2016 to January 2019. Regarding irrigation management, a two-day irrigation shift was defined, using a gross water sheet of 5.0 mm (2.5 mm.day⁻¹), a management established equally for all evaluated irrigation systems. Morphometric and productive variables and water relations of the cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) were evaluated. The cut-off frequency and irrigation system factors influenced most of the evaluated morphological and productive characteristics. It was observed that the increase in the cutting frequency showed a positive linear effect for the variables: final plant height, number of 1st order cladodes and dry mass production of 2nd and 3rd order cladodes. It also showed a positive linear effect in the cladodes area index, with the highest observed at the cut-off frequency of 18 months (2.23 m²/m²), a result that differed statistically (P<0,01) from the values obtained in the cutting frequencies of 6 months (1.24 m²/m²), 9 months (1.30 m²/m²) and 12 months (1.78 m²/m²). The cut-off frequency of 18 months presented the highest values for the percentage of the plant's dry matter. On the other hand, the cut-off frequency of 6 months presented the lowest values for length, width and thickness of 2nd order cladodes, number of 3rd order cladodes, number of harvestable cladodes, average weight of 2nd order cladodes and dry mass production of 2nd order clade. Regarding the effect of the cutting frequency on water use efficiency (WUE), the highest values for fresh mass production were obtained at the frequencies of 6 and 12 months, 134.19 and 108.62 kg of MFha⁻¹ mm⁻¹, respectively. For water use efficiency for dry mass, the highest value was obtained at the frequency of 6 months, 8.46 kg DMha⁻¹ mm⁻¹. Regarding irrigation systems, conventional sprinkling presented better results, for most morphological and productivity variables evaluated. This system obtained the highest cladodes area index, 2.05 m²/m², presenting significant difference (P<0,01) for the values observed in the micro *spray jet* systems (1.67 m²/m²), microsprinkler (1.55 m²/m²) and surface drip (1.28 m²/m²). Conventional sprinkling also showed the highest values of number

of 2nd order clade ($4.92 \text{ plant cladodes}^{-1}$), fresh mass production of 2nd order cladodes ($121.57 \text{ t FMha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and total fresh mass production rate ($548.12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$). The conventional sprinkling system and micro spray jet showed the highest values for number of 1st order cladodes, number of cladodes of the plant, number of harvestable cladodes, rate of production of fresh mass of cladodes of 3rd order, dry mass production of 2nd and 3rd order cladodes and dry mass production rate of 2nd and 3rd order cladodes. The cut-off frequency of 12 months associated with the conventional sprinkler system presented the highest yields of fresh mass of third-order cladodes ($86.48 \text{ t FMha}^{-1}$) and total cladodes ($267.79 \text{ t FMha}^{-1}$), and higher total dry mass production ($16.37 \text{ t DMha}^{-1}$) and total dry mass production rate ($44.86 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ day}^{-1}$). The highest water use efficiency values for fresh mass production occurred in the conventional sprinkler system, $128.56 \text{ kg of FMha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, while for water use efficiency for dry matter production, the highest values were obtained in conventional spray ($8.20 \text{ kg DMha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) and micro *spray jet* ($6.89 \text{ kg DMha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). No plant mortality was observed, evidencing the rusticity and adaptability of the cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) in irrigated regime, regardless of the cutting frequency and irrigation systems used. The conventional sprinkler system and the cut-off frequency of 12 months presented the best results, and these can be adopted as a strategy of irrigated and thickening cultivation of cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).

Keywords: *Opuntia stricta*. System thickened. Semi-arid. Xerophilous plants.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Temperatura média ($T_{m\acute{e}dia}$), umidade relativa do ar média ($UR_{m\acute{e}dia}$) e precipitação mensal da região de estudo do período de realização da pesquisa	33
Figura 2 -	Detalhe dos diferentes sistemas de irrigação instalados na área experimental de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em Russas, Ceará – Gotejamento superficial (A), Microaspersão (B), Micro Spray Jet (C) e Aspersão convencional (D)	37
Figura 3 -	Croqui da área experimental com detalhamento dos diferentes sistemas de irrigação	38
Figura 4 -	Volume de água aplicado na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana através da irrigação e obtido pela precipitação pluvial durante o período experimental	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento	34
Tabela 2 -	Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira	35
Tabela 3 -	Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental, no município de Russas, Ceará	39
Tabela 4 -	Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função de diferentes frequências de corte e sistemas de irrigação	42
Tabela 5 -	Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função das diferentes frequências de corte	43
Tabela 6 -	Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação	43
Tabela 7 -	Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento	59
Tabela 8 -	Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira	59
Tabela 9 -	Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental, no município de Russas, Ceará	62
Tabela 10 -	Valores médios de número de cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte	66
Tabela 11 -	Valores médios de número de cladódios de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação	68
Tabela 12 -	Valores médios do percentual de cladódio total colhível da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte	70

Tabela 13 -	Valores médios de produção massa fresca, taxa de produção de forragem e peso médio dos cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte	72
Tabela 14 -	Valores médios de produção de massa fresca, taxa de produção de massa fresca e peso médio dos cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação	73
Tabela 15 -	Valores médios de variáveis de produção da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função do efeito de interação entre frequência de corte e sistema de irrigação	76
Tabela 16 -	Valores médios de percentual de matéria seca, produção de massa seca e taxa de produção de massa seca por ordem de cladódios e total por planta da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função das diferentes frequências de corte	81
Tabela 17 -	Valores médios de variáveis de produção e taxa de massa seca, e percentual de cladódio colhível da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função do efeito de interação entre frequência de corte e sistema de irrigação	83
Tabela 18 -	Valores médios de percentual de matéria seca, produção de massa seca e taxa de produção de massa seca por ordem de cladódios e total por planta da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função dos diferentes sistemas de irrigação	85
Tabela 19 -	Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento	92
Tabela 20 -	Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira	92
Tabela 21 -	Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental no município de Russas, Ceará	95
Tabela 22 -	Avaliação da variável eficiência de uso da água para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte	99
Tabela 23 -	Avaliação da variável eficiência de uso da água da massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação	101

SUMÁRIO

1	REFERENCIAL TEÓRICO	15
1.1	A palma forrageira	15
1.2	Uso da irrigação no cultivo da palma forrageira	18
1.3	Métodos e sistemas de irrigação.....	20
1.4	Práticas de manejos associadas a colheita da palma forrageira	24
1.4.1	<i>Frequência de colheita</i>	25
1.4.2	<i>Intensidade de corte</i>	26
2	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE	28
2.1	Introdução	32
2.2	Material e métodos	33
2.2.1	<i>Localização do experimento</i>	33
2.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	34
2.2.3	<i>Caracterização física e química do solo da área experimental</i>	34
2.2.4	<i>Implantação e condução do experimento</i>	35
2.2.5	<i>Análise estatística</i>	40
2.3	Resultados e discussão	41
2.4	Conclusão	52
3	COMPONENTE DE BIOMASSA DA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE	53
3.1	Introdução	57
3.2	Material e métodos	58
3.2.1	<i>Localização do experimento</i>	58
3.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	58
3.2.3	<i>Caracterização física e química do solo da área experimental</i>	58
3.2.4	<i>Implantação e condução do experimento</i>	59
3.2.5	<i>Análise estatística</i>	64
3.3	Resultados e discussão	65

3.4	Conclusão	87
4	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PELA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE	88
4.1	Introdução	90
4.2	Material e métodos	91
4.2.1	<i>Localização do experimento</i>	<i>91</i>
4.2.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	<i>91</i>
4.2.3	<i>Caracterização física e química do solo da área experimental</i>	<i>92</i>
4.2.4	<i>Implantação e condução do experimento</i>	<i>92</i>
4.2.5	<i>Análise estatística</i>	<i>98</i>
4.3	Resultados e discussão	98
4.4	Conclusão.....	103
5	CONCLUSÃO FINAL	103
	REFERÊNCIAS	104

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 A palma forrageira

O Semiárido brasileiro é composto por 1.262 municípios, abrange uma área de 1.128.697 Km² (SUDENE, 2017) e é caracterizado pela limitada disponibilidade hídrica, ocasionada pela baixa pluviosidade, com médias anuais inferiores a 800 mm ano⁻¹, e alta evapotranspiração (MOURA et al., 2008). O ciclo curto de precipitação e a má distribuição espaço-temporal das chuvas contribuem decisivamente para que ocorra sazonalidade na produção de forragem (COSTA et al., 2009; FERREIRA et al., 2012; CARVALHO et al., 2017), tornando a produção deste alimento o maior desafio na criação de ruminantes nesta região. Como resultado, predomina nas propriedades rurais o déficit na oferta de volumoso aos animais, situação agravada pela baixa qualidade da forragem produzida (LOPES et al., 2005), o que torna os sistemas produtivos pouco eficientes.

Diante deste cenário, a busca por espécies forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas da região Semiárida é de grande importância para a sustentabilidade das atividades pecuárias (SILVA et al., 2015a; SANTOS et al., 2020). Dentre as alternativas existentes, a palma forrageira é uma das mais interessantes, já que suas características anatômicas e fisiológicas permitiram sua adaptação aos ecossistemas áridos e semiáridos (LOPES et al., 2019), apresentando baixa demanda hídrica, potencial de produção (se bem manejada), alta palatabilidade e bons atributos nutricionais, como alto conteúdo energético e de minerais, bem como o seu teor de umidade, sendo importante fonte de água de qualidade aos animais (BATISTA et al., 2003; COSTA et al., 2012).

As características descritas conferem a palma forrageira grande diferencial quando comparado a outras plantas forrageiras, mesmo àquelas consideradas adaptadas ao Semiárido, como, por exemplo, capim-buffel (*Cenchrus ciliaries* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (CARVALHO; MENEZES, 2014).

O potencial produtivo da palma forrageira está associado à fisiologia da planta, caracterizada pelo seu processo fotossintético, que, ao contrário do que ocorre com as plantas que apresentam metabolismo C₃ e C₄, fixa o CO₂ atmosférico durante a noite e capta energia solar durante o dia (DONATO et al., 2014a), mecanismo este característico de plantas de metabolismo ácido crassuláceas (CAM). Este mecanismo faz com que haja a abertura estomática noturna e o fechamento diurno. O CO₂ fixado à noite é transformado em ácidos

orgânicos e armazenados nos vacúolos, onde se decompõe e liberam no dia seguinte o CO₂, que é assimilado pelo ciclo de Calvin (INGLESE et al., 2017), completando assim todas as etapas da fotossíntese da planta.

A abertura dos estômatos durante a noite, quando a temperatura é mais amena e a umidade relativa do ar é mais elevada, resulta na alta eficiência do uso da água pela palma forrageira (NOBEL, 2001). Em geral, as plantas CAM, durante os processos metabólicos, perdem de 50 a 100 g de água para cada grama de CO₂ obtido, quantidade bem inferior quando comparados com as plantas C₄ (250 a 300 g) e C₃ (400 a 500 g). As plantas CAM possuem, assim, vantagens competitivas em ambientes secos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Quanto ao gasto de água por massa seca produzida, a eficiência no uso da água (kg de água/kg de massa seca) por parte das plantas CAM é muito superior às plantas de metabolismo C₃ e C₄ (DUBEUX et al., 2013). Neste sentido, Pereira et al. (2012) relataram que as plantas CAM apresentam aproximadamente a relação de 50:1, ou seja, 50 Kg de água para cada 1 Kg de matéria seca formada, enquanto as plantas C₃ e C₄ apresentam eficiências de 1000:1 e 500:1, respectivamente.

A alta eficiência no uso da água também está associada a capacidade da palma em absorver e armazenar água em período de baixa disponibilidade hídrica. Mesmo as pequenas precipitações podem ser eficientemente utilizadas pela palma forrageira (SNYMAN, 2006). Isso ocorre devido à superficialidade do sistema radicular da palma, com distribuição horizontal no solo (EDVAN et al., 2013), associada a elevada condutividade hidráulica de suas raízes e a existência do tecido parenquimático de armazenamento de água na palma forrageira (BORLAND et al., 2014). Para NOBEL (1988), caso o potencial hídrico do solo na zona radicular seja maior que -0,5 MPa, a demanda hídrica de *Opuntia ficus-indica* é atendida satisfatoriamente.

As plantas CAM desenvolvem-se melhor e apresentam máxima atividade fotossintética com temperatura diurna entre 20 e 30°C e noturna entre 10 e 20°C (NOBEL; HARTSOCK, 1984). Além da precipitação e temperatura, de acordo com Santos et al. (2006), a umidade do ar também limita o rendimento da palma, onde a faixa ideal de cultivo é de 55 a 60%, sendo o período noturno de maior importância para o bom desempenho da cultura.

Diante dessas condições climáticas ideais para o desenvolvimento da palma forrageira, é possível inferir que o fato do agreste pernambucano e alagoano concentrarem a maior parte da área de palma cultivada nestes estados (Censo Agropecuário - IBGE, 2017), deve-se, além do aspecto cultural, às características climáticas prevaletentes nestas regiões, já

que apresentam temperaturas mais amenas e amplitudes térmicas mais próximas daquela exigida pelo fenômeno do termoperiodismo (MOURA et al., 2011), ou seja, variação entre temperaturas noturnas e diurnas, essenciais ao bom desenvolvimento da palma.

Já em locais que apresentam umidade relativa do ar baixa e temperaturas noturnas elevadas, o desenvolvimento da palma forrageira é comprometido. Isso ocorre pelo fato desses componentes ambientais influenciarem no processo de abertura dos estômatos na perda de água e fixação de CO₂ pela planta, que ocorre no período noturno (NOBEL, 1995). Para Oliveira et al. (2011), nestas condições, poderá haver redução da produtividade ou até a morte da planta. De acordo com o relatado por Santos et al. (2008), em locais com umidades relativas do ar abaixo de 40%, ocorre efeito negativo no processo fotossintético da palma forrageira, especialmente quando combinado com temperaturas noturnas acima de 25 °C, resultando, por conseguinte, em menor produção de biomassa.

Algumas áreas do Semiárido nordestino apresentam condições climáticas fora dos parâmetros ideais para o pleno desenvolvimento da palma forrageira. Essa realidade foi relatada por Lima et al. (2010) e Rego et al. (2014), os quais apontaram algumas regiões e municípios no Rio Grande do Norte que apresentavam baixa umidade relativa do ar e elevadas temperaturas, principalmente noturnas, alta evapotranspiração e déficit hídrico, levando a murchas severas das palmas, ocasionando até a morte das plantas no período seco pela excessiva perda de água.

Esse comportamento da palma forrageira em diferentes ambientes do Semiárido foi relatado por Duque (2004), o qual descreveu que essa cactácea crescia bem na caatinga alta, no agreste e nas serras de pouca chuva. No entanto, no sertão, no Seridó e no litoral, devido à temperatura mais elevada e ao ar mais seco, o seu desenvolvimento era retardado, apresentando menor rendimento. Araújo Filho (2013) teve percepção similar ao justificar a baixa utilização da palma no estado do Ceará. Segundo o autor, a palma neste Estado se adaptava e apresentava desenvolvimento adequado somente em regiões acima 300 m de altitude, como na região do Inhamuns e nas serras secas, enquanto que em regiões com altitudes abaixo de 200 m o crescimento da cactácea era comprometido, sendo que na época seca as raquetes perdiam o turgor na parte mais quente do dia, com provável redução de produtividade.

Diante dessas constatações, quanto maior o distanciamento dos parâmetros climáticos adequados ao seu desenvolvimento, mais comprometida será a produção da palma forrageira. Nestes casos, Merwer et al. (1997) relataram que para se obter produção satisfatória faz-se necessário o uso de irrigação como complemento hídrico, opinião corroborada por Santos

et al. (2020), os quais recomendaram a utilização da irrigação em cultivos tolerantes à seca para aumentar a sua segurança produtiva.

A utilização da irrigação faz com que os fatores climáticos limitantes para o pleno desenvolvimento da palma, como as altas temperaturas noturnas e baixa umidade relativa do ar, percam, de certa forma, importância, já que a disponibilidade hídrica permitirá um adequado processo fotossintético da planta, fazendo com que a mesma, a depender da oferta hídrica, funcione como uma planta CAM facultativa (TAIZ; ZEIGER, 2009), ajustando o seu padrão de captura de CO₂ em plantas C₃ (SILVA et al., 2015b).

1.2 Uso da irrigação no cultivo da palma forrageira

Área de cultivo de palma forrageira sob irrigação tem ganhado espaço na tentativa de reduzir os riscos de perdas na produção, evitando assim prejuízos com uma cultura que apresenta elevado custo de implantação e manutenção (ALVES et al., 2007).

Desta forma, a irrigação tem despontado como uma técnica viável e de grande impacto, possibilitando não só ampliar as áreas de abrangência de cultivo da palma forrageira na região Semiárida, como também maximizar sua produção.

No estudo realizado por Nobel e Garcia de Cortaza (1991), estimou-se prováveis incrementos de produtividade da palma forrageira em vários espaçamentos e valores de índice de área de cladódio (IAC) com o uso da irrigação, onde, considerando o IAC ao redor de 5, constatou-se ganhos de produtividade próximo de 70%, passando de 30 t MSha⁻¹ ano⁻¹ em cultivo de sequeiro para 50 t MSha⁻¹ ano⁻¹ com oferta hídrica adequada ao pleno desenvolvimento da planta.

Com irrigação ou amplo suprimento hídrico, há registros de produtividade da palma de 45 a 50 t MSha⁻¹ ano⁻¹, situando-se na faixa dos maiores valores obtidos por outras espécies forrageiras (NOBEL, 1995). Em termos comparativos, um campo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum), irrigado e com elevadas adubações orgânica e química, pode proporcionar em seis cortes por ano, rendimentos de 30 t MVha⁻¹ por corte, perfazendo um potencial médio de produção de 36 a 45 t MSha⁻¹ ano⁻¹ (SILVA et al., 2007).

Várias pesquisas foram realizadas em condições do Semiárido avaliando a palma forrageira sob irrigação. Um desses estudos foi conduzido por Rego et al. (2014), em que, ao avaliarem as respostas produtivas da palma Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) cultivada com densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, submetida a irrigação com lâmina

correspondente a 10 mm mês^{-1} de água e cortada aos 12 meses após o plantio, obtiveram produtividade de $25,9 \text{ t de MSha}^{-1}$.

Já Pereira et al. (2020), ao avaliarem os efeitos de diferentes intensidades de corte sobre as características produtivas da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, em um ciclo de 12 meses, recebendo irrigação suplementar, obtiveram produção de $37,55$ toneladas de MSha^{-1} com colheita realizada preservando-se os cladódios de segunda ordem. Essa pesquisa foi conduzida no Semiário pernambucano, local que apresenta condições climáticas adversas ao desenvolvimento da cultura (altas temperaturas noturnas e UR do ar elevada) em sequeiro, mostrando que, com o uso da técnica de irrigação, é possível obter altas produções nestas mesmas condições.

Vários estudos também estão sendo realizados para definição quanto a necessidade hídrica da palma forrageira, como a determinação do coeficiente de cultivo da cultura (K_c), bem como o manejo de irrigação a ser adotado, como lâmina de água a ser aplicada e turno de rega (TR). A determinação desses manejos está atrelada às condições edafoclimáticas da região, a necessidade hídrica da cultura e também ao sistema de irrigação a ser utilizado.

Neste sentido, Queiroz et al. (2015), ao estudar o efeito de aplicação de cinco diferentes lâminas de água (976; 1048; 1096; 1152 e 1202 mm), com base em percentagens da evapotranspiração de referência (ET_o) sobre o desempenho produtivo de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, constataram que os melhores resultados ocorreram na faixa de 1048 e 1096 mm no ciclo de 380 dias (lâmina bruta de 2,76 a 2,88 mm.dia^{-1} , respectivamente), ao mesmo tempo que observaram haver tendência na diminuição da magnitude dos valores das variáveis de crescimento sob aporte hídrico superior a esses.

Já Santos et al. (2017), ao avaliarem as características morfológicas da palma forrageira “Gigante” submetida a sete condições de aplicação de água (sem irrigação, 5 L de água/metro a cada 15 dias; 7% da ET_o com TR de 15 dias; 15% da ET_o com TR de 7 dias; 33% da ET_o com TR de três dias; 50% da ET_o com TR de dois dias e 100% da ET_o irrigada diariamente), concluíram que aplicação de uma lâmina de irrigação correspondente a 33% da ET_o , com turno de rega (TR) de três dias, possibilitou maximizar a produtividade da cultura.

As pesquisas já apontam para a capacidade da planta em responder ao uso da irrigação, os efeitos nas diferentes espécies e cultivares de palma, bem como as alterações em sua morfogênese e composição bromatológica. Entretanto, pouco se estudou sobre a utilização de diferentes sistemas de irrigação no cultivo da palma forrageira, sendo predominante nas pesquisas o uso do gotejamento superficial em seus campos experimentais, como nos estudos

conduzidos por Jardim et al. (2019), ou mesmo em vasos ou tambores, como a avaliação realizada por Felix et al. (2018). Em pesquisas mais recentes, de forma ainda muito incipiente, começou-se a utilizar outros sistemas de irrigação no cultivo da palma forrageira, como o de aspersão convencional e microaspersão, porém não sendo objeto de avaliação o comparativo entre sistemas de irrigação.

1.3 Métodos e sistemas de irrigação

Ao pensar em irrigar qualquer cultura é importante conhecer as especificidades técnicas dos diferentes sistemas de irrigação existentes, possibilitando assim optar pelo mais adequado a cultura e às condições locais.

Para melhor discernimento sobre essa questão, é necessário inicialmente compreender que existem dois termos utilizados quando se refere a equipamentos de irrigação e que, de certa forma, é comum haver entendimentos equivocados, são eles: método de irrigação e sistema de irrigação. De acordo com Pereira et al. (2010), o primeiro se refere a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas, enquanto o segundo compreende o conjunto de equipamentos e técnicas que proporcionam a aplicação de água.

Com base nesses conceitos, Testezlaf (2017) descreveu a possibilidade em diferenciar quatro formas de se aplicar água à cultura e, assim, definir quatro métodos principais de irrigação, são eles: aspersão, superfície, localizada e subsuperfície ou subterrânea.

Esses métodos, bem como os seus principais sistemas de irrigação e a forma de aplicação da água, podem ser descritos da seguinte forma: Superfície - sistema de irrigação por sulcos e inundação, onde a aplicação da água é feita na superfície do solo de forma parcial ou total na área por meio da ação da gravidade; Aspersão - sistema de irrigação por aspersão convencional ou mecanizada (pivô e carretel), neste caso, com água aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo, por meio de uso de aspersores ou sprays (na forma de chuva); Localizado - sistema de irrigação por gotejamento e microaspersão, onde a aplicação da água é realizada em uma área limitada da superfície do solo, preferencialmente dentro da área sombreada pela copa da cultura ou perto do caule da planta; Subsuperficial - Sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo, elevação do lençol freático e mesas de subirrigação, onde se aplica a água abaixo da superfície do solo, no volume explorado pelas raízes das plantas.

A escolha do método adequado garantirá o suprimento de água para cada cultura, com atendimento de suas necessidades de forma mais precisa e eficiente, portanto, essa etapa é

de fundamental importância para o sucesso de qualquer projeto irrigado. Para Frizoone et al. (2012), a escolha inicial do método, e em seguida do sistema de irrigação a ser utilizado, depende do conhecimento de algumas variáveis e informações locais, como o solo, o clima, a água, a cultura, fatores humanos e aspectos econômicos. Conforme Marouelli e Silva (2011), a escolha do sistema de irrigação deve estar consubstanciada pela análise de viabilidade técnica e econômica do empreendimento, por meio da avaliação detalhada de fatores físicos, agrônômicos, sociais e econômicos envolvidos.

No caso da palma forrageira, o método de irrigação localizada é o mais adotado em nível de campo, porém o subsuperficial pode apresentar potencial de uso, principalmente pela sua alta eficiência de irrigação (COELHO et al., 2005), mas os altos custos de implantação do mesmo e ausência de pesquisas em cultivo de palma são limitações ao seu uso até o presente momento.

Já o método de irrigação por superfície, o qual se inserem os sistemas de irrigação por sulcos e inundação, apesar de não haver trabalhos avaliando o seu uso em cultivo de palma forrageira, além de apresentar baixa eficiência hídrica, de 50 a 70% (KELLER; BLIESNER, 1990), o que já não justificaria sua utilização em regiões de limitada oferta de água, como o Semiárido, o excesso de umidade no pé da planta poderia levar a ocorrência de problemas fitossanitários na palma forrageira, com disseminação de fungos, como o *Fusarium solani* (Mart) Sacc, e bactérias, especialmente *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum*, os quais são os causadores da Podridão de Fusarium e da Podridão Mole, respectivamente (ARAÚJO et al., 2019).

Os sistemas de irrigação por aspersão caracterizam-se pela distribuição da água por meio de gotas sobre a cultura e superfície do solo na forma de chuva (BISCARO, 2009). Quando comparado aos sistemas superficiais, a aspersão apresenta algumas vantagens, como a possibilidade em distribuir melhor a água sobre a superfície do solo, adaptação a diferentes tipos de solo e topografia e menor uso de mão de obra, inclusive podendo ser utilizado de forma totalmente automatizada, com aplicação de fertilizantes e de defensivos via água de irrigação (MAROUELLI; SILVA, 2011).

Na irrigação localizada, a aplicação de água no solo é feita em uma área restrita, buscando umedecer o entorno das plantas, apenas no local explorado pelas raízes (KUNZ et al., 2014). A irrigação por microaspersão e por gotejamento constituem os principais sistemas de irrigação localizada (BARRETO FILHO et al., 2000). Quando bem manejados, esses sistemas apresentam algumas vantagens quando comparada a aspersão, como a economia de água e

energia (RIBEIRO et al., 2010). Isso acontece devido à irrigação ocorrer em uma área restrita do solo, próximo à planta, diminuindo a perda por evaporação e por escoamento superficial. Pelo fato também de ser um sistema que opera com baixa vazão e alta frequência de irrigação, ocasiona menores perdas de água por percolação profunda (TESTEZLAF, 2017).

De acordo com Marouelli e Silva (2011), os sistemas de irrigação localizada apresentam também como vantagens a redução de problemas fitossanitários, haja vista que a parte aérea da planta não é molhada e, em função de restringir a área irrigada, há menor incidência de ervas espontâneas (daninhas), resultando em menor gasto com mão de obra e/ou defensivos químicos, proporcionando ganho econômico e ambiental.

O conhecimento sobre a eficiência de aplicação dos diferentes sistemas de irrigação é de grande importância, sendo este um dos fatores determinantes para escolha do sistema a ser utilizado. Para Bernardo (1995), esse indicador pode ser descrito como a estimativa da porcentagem do total de água aplicada na irrigação considerada útil às plantas.

Entre os métodos de irrigação, a localizada é a que apresenta maior eficiência de aplicação (KELLER; BLIESNER, 1990), com destaque para o sistema de gotejamento superficial e microaspersão, ambos com eficiência média de 85 a 90% (MANTOVANI et al., 2009). O método por aspersão apresenta eficiência de irrigação entre 50 a 60% para o sistema de aspersão convencional de alta pressão, tipo canhão, enquanto aspersão convencional de baixa e média pressão devem operar com eficiência de aplicação de água (E_a) média de 75 a 85% (BERNARDO et al., 2006). Já o Pivô central, sistema também inserido no método de aspersão, pode apresentar eficiência hídrica entre 80 a 90% (OLIVEIRA et al., 2004a).

Um ponto fundamental para a escolha do método de irrigação se refere a textura e estrutura do solo, já que estas características exercem grande influência na capacidade de armazenamento de água (FRIZOONE et al., 2012). Para Brady e Weil (2008), o teor de matéria orgânica, a textura do solo e a mineralogia da fração argila são fatores que afetam a retenção da água em um solo. De acordo com os autores, estas características determinam a área e a intensidade de contato entre as partículas sólidas e a solução do solo, bem como as proporções de poros de diferentes tamanhos.

De uma maneira geral, o teor de argila é o fator que governa a adsorção de água, sendo argilas do tipo 2:1 as que apresentam maior retenção de água, enquanto solos arenosos, que possuem maior quantidade de macroporos que os solos de textura fina (argilosos), apresentam maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração, limitando a formação do bulbo molhado (KUNZ et al., 2014). Neste sentido, conhecer o solo é um dos condicionantes

primordiais para escolha correta do método de irrigação, além de subsidiar na definição da frequência de irrigação a ser utilizada.

Mesmo sem estudos comparativos entre sistemas de irrigação, é comum constatar a indicação, por parte de técnicos e pesquisadores, do gotejamento superficial como a melhor opção para a irrigação da palma forrageira, tendo como argumento prevaemente o menor gasto de água em comparação com a irrigação por aspersão, conforme defendido por Araújo et al. (2019). Já para Santos et al. (2020), a escolha para utilização do gotejamento superficial baseia-se no arranjo produtivo da palma (em linha) e a distribuição do equipamento na área irrigada, pois esse sistema possibilita a aplicação de água formando uma faixa contínua molhada ao longo da fileira da palma, podendo aumentar a eficiência de aplicação. Santos et al. (2017) sugeriram a aplicação de lâmina de água de forma mais localizada, em uma área mais restrita do solo com o uso do gotejamento, exigindo um volume de água inferior, acarretando num provável aumento na eficiência de irrigação da palma forrageira.

Esses argumentos ancoram-se essencialmente na estrutura física do equipamento (“*lay out*” do sistema de irrigação) e nos comparativos entre métodos de irrigação puro e simplesmente, onde sabe-se, por exemplo, que a localizada é mais eficiente do que aspersão, apresentando menor perda por deriva e evaporação da água, porém, no caso da palma forrageira, essas premissas desconsideram a resposta de cultivo em função da inter-relação entre solo, planta e o próprio sistema de irrigação, onde os resultados podem se diferenciar conforme a textura do solo, a arquitetura e, principalmente, pelo tipo de estrutura radicular da planta.

A extração de água pelas raízes difere consideravelmente entre os sistemas de irrigação, portanto, a distribuição da água no perfil do solo é um dos principais fatores a serem estudados, sendo estes dependentes de informações como a porcentagem da zona radicular que deve ser molhada, espaçamento, locação e vazão dos emissores, frequência de aplicação e volume da irrigação (SANTOS et al., 2005).

Neste sentido, além da classificação textural do solo, conhecer o sistema radicular da palma forrageira é de fundamental importância para poder, de fato, escolher com mais propriedade o sistema de irrigação a ser utilizado dentre as alternativas existentes. Edvan et al. (2013) destacaram a importância de estudos sobre a distribuição do sistema radicular no solo, não só para obter informações sobre a tolerância das plantas em relação aos fatores de estresse abiótico, como também para obtenção de subsídios para técnicas de adubação, tratos culturais e manejo da irrigação. Vale salientar que, conforme descrito por Zúñiga-Tarango et al. (2009),

as raízes desempenham a função de absorver água e nutrientes, elementos vitais para o desenvolvimento da planta.

A palma forrageira caracteriza-se por ter sistema radicular composto de raízes carnosas e superficiais, com distribuição horizontal no solo, com grande concentração na camada de 0 a 20 cm (EDVAN et al., 2013), predominando a maior parte da massa radicular na camada de 0 a 10 cm e próximo a planta (OLIVEIRA et al., 2018), porém apresentando ramificações horizontais que podem chegar até 1,8 metros de distância da planta, conforme resultados obtidos por Snyman (2004). Esse comportamento evidencia que as raízes da palma se encontram na área superficial do solo em sua volta, e não apenas próximo ao seu caule.

Em plantas que apresentem sistema radicular pivotante ou axial, o método de irrigação localizada possibilita excelentes resultados, tanto no aspecto técnico de cultivo, quanto na eficiência hídrica (BISCARO, 2014). No caso da palma forrageira, que apresenta sistema radicular distribuído nos horizontes superficiais do solo, a irrigação localizada, especialmente quando utilizada em solos com baixa capacidade de retenção de água, como os de textura arenosa, pode limitar a absorção de água e também de nutrientes, especialmente àqueles absorvidos por meio do processo de fluxo de massa (nitrogênio) e interceptação radicular (cálcio), os quais dependem, respectivamente, da água e do contato com a raiz para que ocorram (OLIVEIRA et al., 2004b).

Por outro lado, a maior abrangência das raízes da palma forrageira significa ampliação da área de exploração do solo pela planta, podendo resultar na maior capacidade de absorção de água e nutrientes. Sendo assim, umedecer toda área superficial do solo, ao invés de limitar próximo a planta, pode significar ganhos de produtividade, especialmente em solos arenosos, os quais apresentam limitação na formação do bulbo molhado em função da baixa capacidade de retenção de água.

1.4 Práticas de manejos associadas a colheita da palma forrageira

Além da adoção de práticas de cultivos adequadas, como suprimento hídrico satisfatório, adubação, controle de pragas, doenças e de plantas daninhas (espontâneas), dentre outros, o potencial produtivo da palma forrageira pode ser afetado em função do manejo de colheita adotado, como frequência e intensidade de corte.

A frequência de corte refere-se ao intervalo entre uma colheita e outra, enquanto intensidade de corte representa o local da planta que é efetuado o corte, ou seja, se ocorre na

primeira ou segunda ordem de cladódio/artículos, ou mesmo se a colheita se dá pelo arranquiamento completo de toda planta (cladódio mãe/base). Quanto mais baixo se efetua o corte na planta (ordens dos cladódios), maior será sua intensidade de corte.

1.4.1 Frequência de colheita

Uma das características da palma forrageira é não apresentar grandes alterações na composição bromatológica em função da idade da planta (FARIAS et al., 2000). Este comportamento representa um diferencial da palma quando comparada a outras forrageiras, já que proporciona maior elasticidade no tempo entre colheitas, podendo ocorrer conforme necessidade do produtor ou mesmo em função das condições climáticas do local, o que a torna como uma reserva de forragem bastante peculiar.

Portanto, quanto ao aspecto nutricional, é possível estabelecer intervalos de corte mais longos, sem que haja impactos negativos no desempenho animal, porém, quanto aos aspectos agrônômicos, estudos mostram diferenças significativas em variáveis de crescimento e produção de biomassa ligados a frequências de corte da palma forrageira, tanto em cultivo de sequeiro, quanto irrigado.

Em levantamento realizado por Ramos et al. (2014), 52,9% dos produtores realizavam a colheita com frequência entre 2 e 3 anos, enquanto 35,3% faziam com menos de um ano e 11,8% colhiam com mais de três anos. Esse quadro evidencia sistemas de cultivo menos intensivos e/ou pela sua adequação da época de colheita em função da demanda para alimentar os rebanhos.

Em área de cultivo de palma com manejos adequados e condições edafoclimáticas favoráveis, é possível que a colheita seja feita em intervalos mais curtos, por exemplo, com corte anual (GALVÃO JR. et al., 2014). O intervalo entre colheitas poderá ser reduzido também por meio do uso da irrigação (SILVA et al., 2019).

O intervalo de corte é um aspecto de manejo extremamente importante, já que o mesmo influencia nas características morfológicas dos cladódios e na estrutura da planta (ROCHA et al., 2017), com impactos diretos na produtividade da palma forrageira.

Se por um lado o maior tempo entre colheitas permite maior acúmulo de biomassa no momento do corte (FARIAS et al., 2000), colheitas mais frequentes, apesar de menor produção por corte, pode representar maior produtividade, se somadas suas respectivas

produções e comparadas àquelas obtidas em colheitas mais espaçadas, neste caso, considerando o mesmo período ao final dos respectivos ciclos.

Estudando os efeitos das características produtivas e estruturais de três genótipos de palma forrageira em diferentes intervalos de corte (4, 8, 12 e 16 meses após o plantio), Rocha et al. (2017) constataram que na medida em que se aumentou o tempo entre colheitas, ou seja, menor frequência de corte, houve incremento na produção de massa verde e seca, independente da cultivar.

1.4.2 Intensidade de corte

A intensidade do corte é um manejo importante e deve ser estabelecido previamente pelo produtor, podendo apresentar ganhos em produção caso opte pela preservação de cladódios primários ou secundários na planta por ocasião da colheita.

Apesar de ainda prevalecer manejo de colheita com arranquio total da planta ou mesmo preservando-se apenas o cladódio mãe, dados de pesquisas de mais de três décadas já mostravam vantagens na conservação de maior área de cladódio remanescente após o corte, conforme estudo realizado por Carneiro et al. (1989), em que, ao trabalharem com duas intensidades de corte (corte na junta da raquete secundária e no terço inferior da raquete secundária) em duas cultivares (Gigante e Miúda) e espaçamento de 1x1, verificaram que o corte no terço inferior da raquete secundária permitiu maior produção de forragem.

Ao avaliar três diferentes intensidades de corte, realizando-se duas colheitas, com frequência de corte de 12 meses, Lima et al. (2016) relataram que a preservação dos cladódios secundários na planta proporcionou maior número de cladódios por planta e maior produtividade. Ao considerar as duas colheitas realizadas (com 12 e 24 meses), esse tratamento resultou em uma produção média de 27,17 t MSha⁻¹ ano⁻¹, bem superior a produção alcançada quando se preservou os cladódios primários (18,58 t MSha⁻¹ ano⁻¹) ou apenas o cladódio “mãe” (11,78 t MSha⁻¹ ano⁻¹). Os autores concluíram que a preservação do cladódio secundário na planta, portanto, com menor intensidade de corte, pode ser uma prática de manejo a ser adotada para garantir maior sustentabilidade da palma forrageira cv. Gigante sob irrigação. Esse resultado se assemelha aos obtidos por Farias et al. (2000), o qual se verificou que, ao se conservar os cladódios secundários no cultivo da palma forrageira, obteve-se maior produção de biomassa em três diferentes espaçamentos de plantio.

Outro estudo avaliando os efeitos da intensidade de corte foi realizado por Alves et al. (2007), o qual em uma área de palma forrageira cv. “Gigante” (*Opuntia ficus indica* (L.) Mill) estabeleceu-se como manejo duas diferentes intensidade de corte, preservando-se todos os cladódios primários ou preservando todos os cladódios secundários, com frequência de corte a cada dois anos. Os resultados obtidos mostraram que, de maneira geral, a produção de massa seca foi sempre maior quando na colheita conservaram-se os cladódios secundários.

Ao avaliarem os efeitos de três diferentes intensidades de corte sobre as respostas morfológicas e produtivas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em um ciclo de 12 meses, recebendo irrigação suplementar, Pereira et al. (2020) constataram que os melhores resultados para altura e largura de planta, número total de cladódios, índice de área de cladódio, produção de massa seca, taxa de acúmulo de forragem e a eficiência no uso da água foram obtidos quando se preservou os cladódios primários e secundários no momento da colheita em detrimento do corte no cladódio-mãe.

A maior produção de massa fresca e seca preservando-se cladódios primários ou secundários em detrimento a preservação dos cladódios “mãe” ocorre em função do maior índice de área de cladódio residual após a colheita, possibilitando maior capacidade fotossintética da planta, maior acúmulo de reserva e vigor de rebrotação (LIMA et al., 2016). Sendo assim, a utilização de intensidades de corte menos severas deve ser uma alternativa a ser utilizada em condições de colheitas mais frequentes (FARIAS et al., 2000).

2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da utilização dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte no cultivo da palma forrageira. A pesquisa foi realizada na região Semiárida, no município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro sistemas de irrigação e quatro frequências de corte, com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pelas frequências de corte (6, 9, 12 e 18 meses). O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, que proporcionou um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹. O período de execução do experimento foi de dezembro de 2016 a janeiro de 2019. Definiu-se um turno de rega de dois dias, utilizando-se 5,0 mm de lâmina brura de água (2,5 mm.dia⁻¹), manejo estabelecido igualmente para todos os sistemas de irrigação avaliados. Foram analisadas variáveis morfométricas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), os quais os dados dos cladódios da planta e índice de área do cladódio foram obtidos na ocasião da colheita. A frequência de corte e o sistema de irrigação influenciaram as variáveis altura final da planta, comprimento de cladódios de segunda ordem, largura de cladódios de segunda ordem, espessura de cladódio de segunda ordem e o índice de área do cladódio colhível. A altura final da planta apresentou crescimento linear positivo na medida que se aumentou o intervalo entre colheitas, atingindo as alturas de 75,05 cm, 79,43 cm, 84,66 cm e 88,63 cm, respectivamente nas frequências de corte de 6, 9, 12 e 18 meses. Quanto ao efeito do sistema de irrigação, as maiores alturas das plantas foram observadas na aspersão convencional (90,36 cm), microaspersão (83,13 cm) e micro spray jet (82,92 cm), as quais apresentaram diferenças significativas do valor obtido no sistema de gotejamento superficial (71,45 cm). A largura final da planta apresentou interação entre frequência de corte e sistema de irrigação, sendo que os maiores valores ocorreram na frequência de corte de 18 meses, 194,75 cm, 186,50 cm, 185,0 cm e 170,00 cm, obtidas, respectivamente, nos sistemas de aspersão convencional, microaspersão, gotejamento superficial e micro spray jet. Nas características de comprimento, largura e espessura dos cladódios de segunda ordem, os valores

observados na frequência de corte de 6 meses foram sempre menores quando comparados aos obtidos nos demais intervalos entre colheitas. As plantas submetidas ao sistema de irrigação por gotejamento superficial apresentaram maior comprimento (25,30 cm) de cladódios de segunda ordem, resultado que diferiu dos valores obtidos nos demais sistemas de irrigação. O aumento da frequência de corte apresentou efeito linear positivo no índice de área de cladódio colhível, com superioridade na frequência de corte de 18 meses (2,23 m²/m²). Para o efeito dos sistemas de irrigação para esta variável, o maior índice de área de cladódio foi obtido na aspersão convencional com 2,05 m²/m². Ao considerar as características morfológicas avaliadas, o sistema de aspersão convencional e a frequência de corte de 18 meses apresentou os melhores resultados, com destaque para o índice de área de cladódio colhível (IAC), os quais obtiveram, de forma isolada, os maiores valores desta variável.

Palavras-chave: *Opuntia stricta*. Semiárido. Plantas xerófilas. Índice de Área de Cladódios.

2 MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CACTUS PEAR CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBJECTED TO DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS AND CUTTING FREQUENCIES

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the use of different irrigation systems and cutting frequencies in the cultivation of cactus pear. The research was carried out in the Semiarid region, in the city of Russas, in the state of Ceará, Brazil. The experimental design used was of randomized blocks in subdivided plots, with four irrigation methods and four cutting frequencies, with four replications. The plots were represented by irrigation systems (surface drip, micro sprinkler, micro spray jet and conventional sprinkling) and subplots by cutting frequency (6, 9, 12 and 18 months). The spacing used was 1.60 m x 0.40 m x 0.14 m, which provided a density of 70,000 plants ha⁻¹. The execution period of the experiment was from December 2016 to January 2019. Regarding irrigation management, a two-day irrigation shift was defined, using a gross water sheet of 5.0 mm (2.5 mm.day⁻¹), a management established equally for all evaluated irrigation systems. Morphometric variables of the cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), were evaluated, which were obtained at the time of harvest. The cut-off frequency and irrigation system factors influenced the variables final plant height, length of second order cladodes, width of second order cladodes, thickness of second order cladodes and the cladode area index. The final height of the plant showed positive linear growth as the interval between harvests increased, reaching heights of 75.05 cm, 79.43 cm, 84.66 cm and 88.63 cm, respectively in the frequencies of cut-off at 6, 9, 12 and 18 months. Regarding the effect of the irrigation system for this variable, the highest heights of the plant were observed in conventional sprinkler (90.36 cm), microsprinkler (83.13 cm) and micro spray jet (82.92 cm), which showed differences significant of the value obtained in the surface drip system (71.45 cm). The final width of the plant showed an interaction between cutting frequency and irrigation system, with the highest width of the plant occurring at the cutting frequency of 18 months, 194.75 cm, 186.50 cm, 185.0 cm and 170.0 cm, obtained, respectively, in the conventional sprinkling, microsprinkler, surface drip and micro spray jet systems, however there were no significant differences between them. In the characteristics of length, width and thickness of the second order cladodes, the values observed at the cut-off frequency of 6 months were always lower when compared to those obtained in the other intervals between harvests. The surface

drip irrigation system had the longest (25.30 cm) of second order cladodes, a result that differed from the values obtained in the other irrigation systems. The increase in the cut-off frequency had a positive linear effect in the cladodes area index (CAI), with the highest CAI observed at the cutoff frequency of 18 months (2.23 m²/m²). For the purpose of irrigation systems for this variable, the highest CAI was obtained in conventional sprinkling, 2.05 m²/m². When considering the morphological characteristics evaluated, the conventional sprinkler system and the cut-off frequency of 18 months presented the best results, especially the area index of cladodes (CAI), which obtained, in isolation, the highest values of this variable.

Keywords: *Opuntia stricta*. Semi-arid. Xerophilous plants. Cladodes area index.

2.1 Introdução

O estudo de variáveis morfológicas da palma forrageira exerce importância, já que essas podem influenciar a fisiologia da planta e, por conseguinte, a produtividade da cultura (ROCHA et al., 2017). Características morfológicas e estruturais, como número e área de cladódios, bem como altura e largura da planta, apresentam correlação positiva, de forma direta ou indireta, para produção de biomassa (SILVA et al., 2010), portanto, conhecer essas características permite entender as respostas no incremento da produtividade da palma forrageira.

Realizar pesquisas sobre aspectos de manejo no cultivo da palma forrageira e entender as relações entre as características morfológicas e a produção permite que haja uma maior compreensão sobre a resposta da planta às condições de ambiente a qual está sendo cultivada (PINHEIRO et al., 2014).

Estudos sobre manejo de colheita, como frequência de corte, bem como a utilização da tecnologia de irrigação, pode contribuir para a consolidação de sistemas mais intensivos de cultivo da palma forrageira, resultando assim em incremento de produção e ganhos de eficiência técnica, econômica e ambiental.

No Semiárido brasileiro, o cultivo irrigado da palma forrageira vem se expandido nos últimos anos, porém, por ser uma prática ainda recente, carece de informações, especialmente, quanto ao método e/ou sistema de irrigação mais adequado a cultura.

O sistema por gotejamento superficial predomina nas áreas irrigadas de palma forrageira, sendo este normalmente indicado de forma empírica por técnicos ou mesmo por outro produtor, os quais, de certa forma, são influenciados pela predominância do uso desse tipo de sistema de irrigação nos campos experimentais das pesquisas realizadas até então sobre o tema.

Diante desta realidade, faz-se necessário realizar estudos para avaliação da resposta da palma forrageira, tanto no aspecto de produção quanto estrutural, no uso dos diferentes sistemas de irrigação, possibilitando subsidiar a escolha por parte dos produtores pela melhor opção perante sua realidade e da cultura em si.

Neste contexto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a morfogênese da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw cv. Orelha de Elefante Mexicana (IPA 200016), por meio das características relacionadas a estrutura da planta, sob diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte.

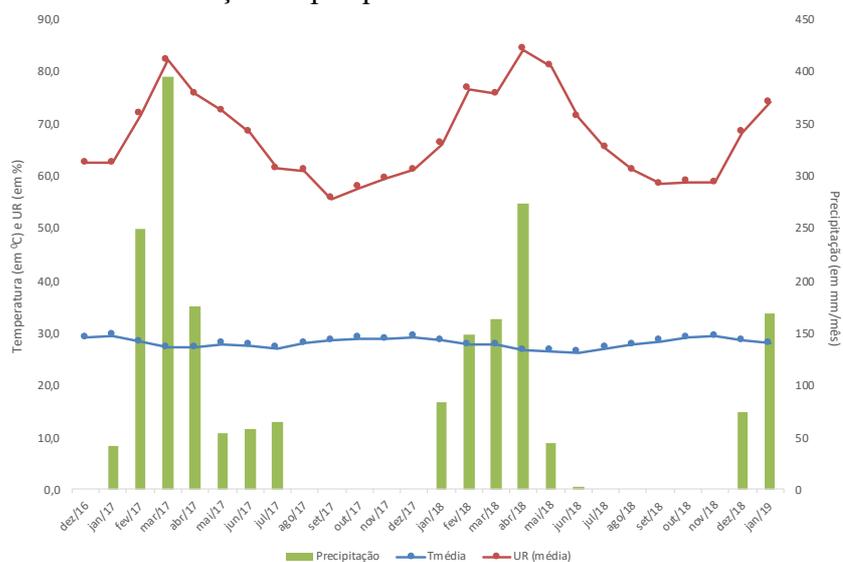
2.2 Material e métodos

2.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no lote agrícola situado no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O período experimental foi entre vinte e sete de dezembro de 2016 e vinte e cinco de janeiro de 2019, perfazendo um total de 25 meses. A área experimental localiza-se a 80 metros de altitude, apresenta estação chuvosa de janeiro a abril e estação seca que vai de maio a dezembro. A precipitação média anual é de 857,7 mm e temperaturas entre 22,0 e 35,0 °C, com média anual de 28,5 °C (IPECE, 2009), nas coordenadas geográficas: 4°56'00.5"S 38°01'25.3"W, com clima do tipo BSw'h', tropical quente semiárido, segundo classificação de Koppen (1948). O solo na área experimental é do tipo Neossolo Quartzarênico, sendo classificado como textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

Ao longo do período experimental, foram acompanhadas as médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação (diária, mensal e total) (Figura 1). As precipitações diária, mensal e total foram obtidas no próprio local do experimento, enquanto a temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos do Posto Agroclimatológico da FUNCEME, localizado a 27,2 km da área experimental, no município de Morada Nova.

Figura 1 - Temperatura média (T_{media}), umidade relativa do ar média (UR_{média}) e precipitação mensal da região de estudo do período de realização da pesquisa



Fonte: Temperatura e Umidade Relativa do Ar - FUNCEME - Posto Agroclimatológico localizado no município de Morada Nova-CE / Pluviosidade: Coletado no local do experimento.

Durante a execução do experimento (27/12/2016 a 25/01/2019), a precipitação pluvial totalizou 1.996 mm. As médias das temperaturas máxima e mínima foram 28,7 °C e 27,3 °C, respectivamente, apresentando média geral no período de 28,0 °C. As médias das umidades relativas do ar (UR) máxima e mínima foram 70,5% e 64,2%, respectivamente, enquanto que a média geral da UR durante o período experimental foi de 67,4%.

2.2.2 *Tratamentos e delineamento experimental*

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, cujas parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pela frequência de corte (6, 9, 12 e 18 meses), totalizando 64 unidades experimentais.

2.2.3 *Caracterização física e química do solo da área experimental*

No início da instalação do experimento realizou-se a caracterização físico-química do solo na profundidade de 0,0 a 20,0 cm (Tabela 1), sendo feita uma nova análise de solo um ano após o início do experimento (Tabela 2). O solo foi classificado como textura arenosa, apresentando 90,8% de areia em sua composição (areia grossa + areia fina).

Com base nos resultados obtidos na análise, calculou-se a necessidade de calagem e de adubação da área experimental.

Tabela 1 - Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento

Localidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Dp		Classificação textural				
	-----g kg ⁻¹ -----				g cm ⁻³						
Russas/CE	648	260	16	76	2,73		Areia				
Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----								H ₂ O	g kg ⁻¹
Russas/CE	1,0	0,15	0,18	0,6	0,4	0,2	1,29	1,3	2,82	4,3	10,45

Densidade das partículas (Dp). Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

Tabela 2 - Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira

Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----							H ₂ O	g kg ⁻¹	
Russas, CE	9,0	0,08	0,21	0,7	0,5	0,3	0,86	1,5	2,65	5,5	6,41

Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

2.2.4 Implantação e condução do experimento

A área experimental foi preparada no final de novembro de 2016, onde foram realizadas a aração e a gradagem do solo, além da calagem e da incorporação do calcário.

O cálculo da necessidade de calagem foi realizado por meio do método de saturação de bases, conforme metodologia descrita por Lopes et al. (1990). Na área experimental estabeleceu-se como meta a elevação para 80% de saturação de base do solo, o que resultou na necessidade em se aplicar 1,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ por ocasião da implantação do experimento. Em função do magnésio se encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Após o preparo da área, procedeu-se a instalação do experimento, iniciando com a demarcação das parcelas e subparcelas

O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, o que significou o plantio de 14 mudas por metro linear na fileira dupla (7 mudas em cada fileira simples), proporcionando um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹, a qual foi definida com base nos resultados obtidos por Cavalcante et al. (2014) ao avaliarem resposta produtiva da palma forrageira em diferentes densidades de plantio. Os sulcos para o plantio da palma foram realizados de forma manual, utilizando-se de enxada, obedecendo à profundidade média de 30 cm.

O plantio foi realizado no final de dezembro de 2016, no período seco do ano, utilizando-se cladódios inteiros da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw cv. Orelha de Elefante Mexicana (IPA 200016), com idade entre 110 a 120 dias, com dimensões entre 15 a 20 cm de largura e 20 a 25 cm de comprimento, e plantadas após repouso de 10 dias de colhida (período para cicatrização do local do corte efetuado na operação de colheita), em sistema tipo "Dominó", disposto um após o outro no sentido leste-oeste e enterrio no solo de 2/3 da raquete. O material vegetal utilizado no plantio foi fornecido por empresa credenciada junto ao Ministério da Agricultura (MAPA), o que conferiu garantia na qualidade e sanidade das mudas plantadas, portanto, livres de pragas e doenças.

Cada parcela foi formada por uma área de 8,4 m x 19 m, resultando em 159,6 m² de área, com 1.120 plantas por parcela. Cada subparcela foi formada por 4,0 m x 8,4 m, distanciada um metro uma da outra, resultando em uma área de 33,6 m², contendo 280 plantas, distribuídas em cinco fileiras duplas de 4,0 metros de comprimento, cada uma com 56 plantas (28 em cada fileira simples), sendo as 20 plantas no meio da linha central destinada às mensurações e as demais como bordaduras. A área útil total do experimento foi de 2.553,6 m². Somando-se a área equivalente às bordaduras (entre parcelas e entre as subparcelas), a área experimental total foi de 6.150 m².

Tanto a correção do solo quanto adubação foram realizadas para garantir as quantidades dos macros (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn e Zn) necessários para o pleno desenvolvimento da cultura (DUBEUX JUNIOR et al., 2010; DONATO et al., 2017). As quantidades dos adubos químicos foram calculados com base nos resultados das análises de solo realizadas antes da implantação da área experimental e após o primeiro ano de cultivo, tendo como expectativa a produção de 40 toneladas de massa seca por ha⁻¹ ano⁻¹.

A adubação foi constituída pela aplicação equivalente a 50 kg de FTE BR 12 por ha⁻¹ ano⁻¹ (micronutrientes), 185 kg de fósforo (P₂O₅) ha⁻¹ ano⁻¹, utilizando como fonte o super simples (720 kg) e fosfato monoamônio-MAP (111 kg), 192,2 Kg de nitrogênio ha⁻¹ ano⁻¹, utilizando como fonte a ureia (200 kg) e o sulfaço de amônio (429 kg), e 742,9 kg de potássio (K₂O) ha⁻¹ ano⁻¹, tendo como fonte o cloreto de potássio (1.238 kg). A área também recebeu adubação orgânica, com aplicação proporcional de 20 toneladas ha⁻¹ ano⁻¹ de cama de galinha, material que, por meio de análise realizada, apresentou em sua composição 1,43% de N, 2,27% de P₂O₅ e 0,9% de K₂O.

A adubação inicial de fósforo e micronutrientes foi feita a lanço no centro da fileira dupla, 15 dias após o plantio, em uma única aplicação. Já a adubação orgânica foi realizada com 30 após o plantio, no centro das fileiras duplas da palma.

Após trinta dias do plantio, deu-se início a adubação de produção (LEMOS et al., 2018), por meio do uso de fertilizantes nitrogenados e potássicos, a qual foi realizada semanalmente por meio da fertirrigação, durante todo o ano. Após um ano de experimento, nova análise de solo foi feita, porém, diante dos resultados obtidos, não foi necessário realizar alterações nas adubações com fonte fósforo (P₂O₅) e micronutrientes, bem como os adubos nitrogenados e potássicos, mantendo-se quantidades similares aos aplicados no primeiro ano de cultivo.

No início do segundo ano de cultivo, tanto as adubações fosfatada e de micronutrientes, bem como a adubação orgânica, desta vez aplicada apenas nas laterais das fileiras de palma forrageira, foram realizadas em dose única, no mês de janeiro de 2017.

Após um ano de condução do experimento, realizou-se uma nova aplicação de calcário, desta vez a lanço, na proporção de 0,78 tonelada ha⁻¹ ano⁻¹, quantidade esta definida com base nos resultados da análise de solo realizada doze meses após a implantação da área experimental, utilizando-se mais uma vez do método de saturação de bases, objetivando elevar a 80%. Da mesma forma que a primeira aplicação, em função do magnésio se encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Os equipamentos de irrigação foram instalados na área experimental logo após o plantio da palma forrageira, com implantação dos quatro diferentes sistemas de irrigação: Gotejamento superficial (Figura 2A), Microaspersão (Figura 2B), Micro Spray Jet (Figura 2C) e Aspersão convencional (Figura 2D). Dentre os sistemas de irrigação avaliados, três se caracterizam pelo método de irrigação localizada (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet) e um por aspersão (aspersão convencional). Na figura 3, segue croqui da área experimental, com detalhamento do “lay-out” dos respectivos sistemas de irrigação.

Figura 2 - Detalhe dos diferentes sistemas de irrigação instalados na área experimental de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em Russas, Ceará – Gotejamento superficial (A), Microaspersão (B), Micro *Spray jet* (C) e Aspersão convencional (D)

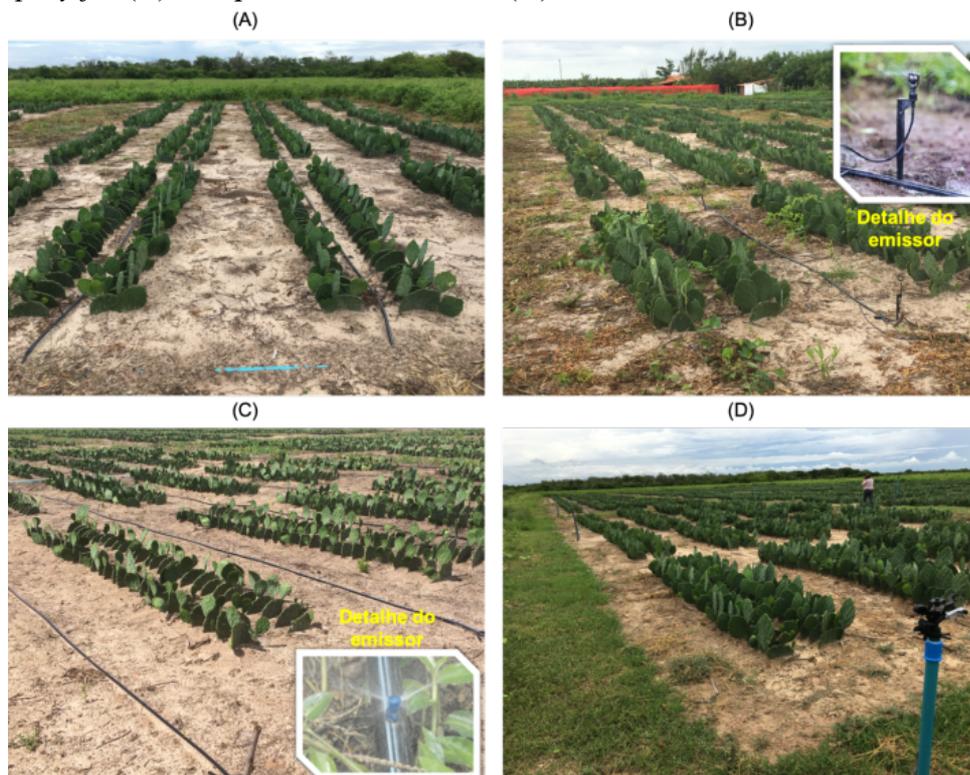
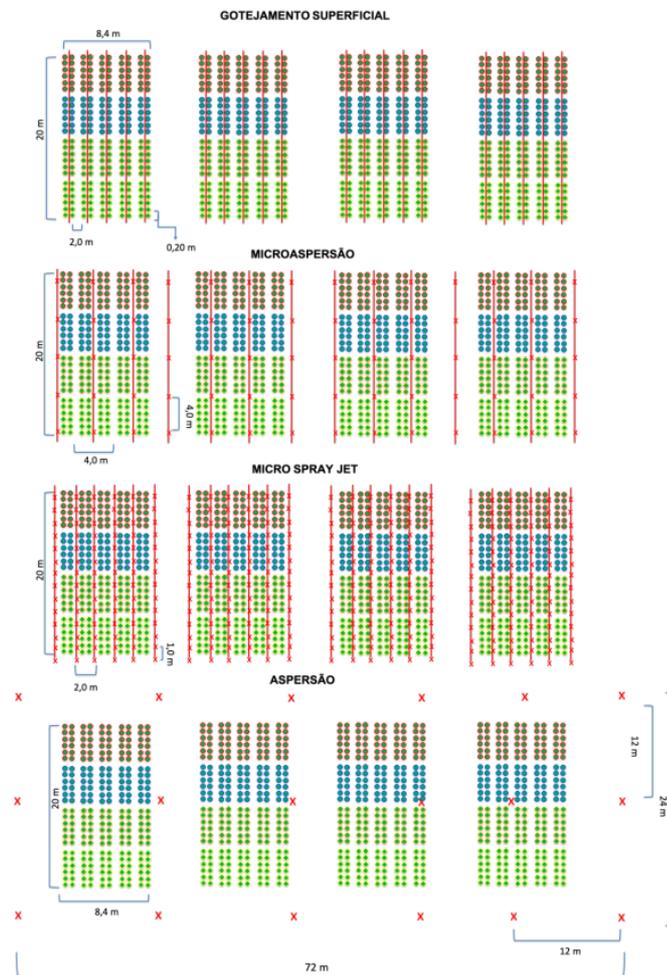


Figura 3 - Croqui da área experimental com detalhamento dos diferentes sistemas de irrigação



Quanto ao manejo da irrigação, em função do solo na área experimental ser classificado como de textura arenosa, com baixa capacidade de retenção de água, e a palma forrageira apresentar sistema radicular pouco profundo (SANTOS et al, 2017), definiu-se por uma maior frequência de irrigação, com turno de rega (TR) de dois dias. A lâmina de irrigação estabelecida foi de $2,5 \text{ mm.dia}^{-1}$, definida considerando a aplicação de 33% da evapotranspiração de referência (ET_o) média dos meses de setembro a dezembro ($7,48 \text{ mm.dia}^{-1}$), correspondentes aos de maiores índices para a região (CABRAL, 2000). Desta forma, aplicou-se 5 mm de lâmina bruta de água a cada dois dias.

Em função da vazão ser diferente para cada sistema de irrigação utilizado, o volume de água aplicado foi determinado pelo tempo de funcionamento do sistema em cada parcela (Tabela 3), garantindo assim a mesma lâmina bruta d'água utilizada em todos eles.

Tabela 3 - Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental, no município de Russas, Ceará

Sistema de irrigação	Espaçamento (linhas/emissor)	Vazão (lh ⁻¹)	Número de emissores ha ⁻¹	Vazão (lha ⁻¹ h ⁻¹)	Tempo de funcionamento (em minutos/rega)
Gotejamento superficial	2,0 m / 0,2 m	2	25.000	50.000	60
Microaspersão	4,0 m / 4,0 m	60	625	37.500	80
Micro Spray Jet	2,0 m / 1,0 m	20	5.000	100.000	30
Aspersão convencional	12,0 m/12,0 m	510	69	35.190	55*

*O tempo de irrigação da aspersão convencional foi ajustada em função de ter sido utilizado emissores/aspersores setorizados (90° e 180°), o que fez diminuir o tempo necessário de irrigação. Legenda: m = metros | l h⁻¹ = litros por hora | lha⁻¹h⁻¹ = litros hectare⁻¹ hora⁻¹

Para se obter o manejo adequado da irrigação, todo o equipamento foi automatizado, seguindo programação estabelecida previamente para ligar e desligar cada um dos sistemas de irrigação, respeitando o tempo de funcionamento pré-estabelecido em cada um deles. No intuito de minimizar a interferência do vento na lâmina de água aplicada, definiu-se como horário de irrigação o período entre 05h00 e 07h00, sendo este o de menor incidência de vento no local do experimento.

Como a irrigação foi realizada durante todo o ano, portanto, compreendendo também o período chuvoso, estabeleceu-se como manejo que a cada 10 mm ou mais de chuva ocorrida em um dia a irrigação era interrompida, retornando no quarto dia após a ocorrência da mesma.

Estabeleceu-se como procedimento padrão a suspensão da irrigação três dias antes do início do levantamento morfológico das plantas, voltando a irrigar somente após a realização da operação de colheita da palma forrageira para pesagem. Esse manejo foi definido no intuito de evitar a interferência da água via irrigação na composição da palma no momento do seu corte.

Após a implantação do palmar e durante todo período experimental, foram realizados de forma rotineira os tratos culturais necessários para propiciar o pleno desenvolvimento da cultura, como controle de plantas indesejáveis, por meio do arranquio, roço com roçadeira costal (nas ruas) ou com uso da ferramenta “estrovenga” e capina química (uso de herbicida). Também efetuou-se os controles de pragas sempre que necessário, especialmente de lagartas, fungos e cochonilha de escamas, os quais foram controlados utilizando-se fitossanitários.

As avaliações morfométricas foram feitas por ocasião da colheita do material, conforme as frequências de cortes definidas (6, 9, 12 e 18 meses). Antes de proceder o corte da palma na fileira amostral, foram realizadas a medição da altura final da planta (AFP, cm), medida desde o solo até o ápice do cladódio mais alto na planta; largura final da planta (LFP, cm), medida considerando-se as maiores extremidades longitudinais da planta, feita com o auxílio de fita métrica (200 cm), com escala de 1 mm; contagem do número de cladódios por ordem (NCO, unidade) e número de cladódios total (NCT, unidade), com medição do comprimento (cm), largura (cm) e espessura (mm) de todos os cladódios, com exceção das raquetes primárias. Para registrar a espessura dos cladódios, usou-se o paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, enquanto o comprimento e largura foram registrados por meio de fita milimetrada (200 cm), considerando-se a região de maior largura (parte central) e comprimento do artículo (distância entre inserções ou extremidades). Por fim, foi calculado o Índice de Área do Cladódio (IAC), neste caso considerando apenas os cladódios colhíveis, ou seja, da segunda ordem em diante. Para se chegar ao IAC, calculou-se primeiramente a área média dos cladódios por ordem (AC), a qual foi estimada conforme metodologia descrita por Pinto et al. (2002), usando-se a seguinte fórmula: comprimento x largura x 0,632 ($C \times L \times 0,632$) de cada cladódio. Em seguida, multiplicou-se a AC pelo número de cladódios, resultando assim, no IAC, representado pela área do solo ocupada pela planta (em m^2/m^2).

De posse das mensurações descritas, determinaram-se as seguintes variáveis estruturais da palma forrageira: altura final da planta (AFP, cm), largura final da planta (LFP, cm), comprimento de cladódios, (segunda ordem – CCSO; terceira ordem – CCTO; quarta ordem – CCQO; quinta ordem – CCQnO, em centímetros), espessura de cladódios (segunda ordem – ECSO; terceira ordem – ECTO; quarta ordem – ECQO; quinta ordem – ECQnO, em milímetros) e Índice de área do cladódio colhível (IAC, m^2/m^2).

2.2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados conforme a sua natureza, submetendo-os à análise de variância, teste de comparação de médias e análise descritiva. Para comparação entre as diferentes frequências de corte e sistemas de irrigação da palma procedeu-se análise de variância, comparados pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS, 2002.

$$\text{Modelo 2: } Y_{ijk} = \mu + B_k + SI_i + \alpha_{ik} + FC_j + (SI \times FC)_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

Onde Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a constante geral; B_k é o efeito aleatório do bloco; SI_i é o efeito do sistema de irrigação; α_{ik} é o efeito do erro da parcela; FC_j é o efeito da frequência de corte; $(SI \times FC)_{ij}$ é o efeito fixo da interação entre sistema de irrigação e frequência de corte; α_{ijk} efeito do erro aleatório.

Para as variáveis que não ocorreram interação significativa ($P > 0,05$) entre frequências de corte e sistema de irrigação, procedeu-se à análise de regressão para os fatores individualmente, com discussão dos efeitos lineares e quadráticos que marcaram as relações entre as variáveis.

Durante o ensaio experimental (24 meses), realizou-se quatro colheitas na frequência de corte de 6 meses, duas colheitas nas frequências de corte de 9 e 12 meses e uma colheita na frequência de corte de 18 meses. As análises foram realizadas utilizando-se as médias das mensurações obtidas nas respectivas frequências de corte.

2.3 Resultados e discussão

Constatou-se efeito da interação ($P < 0,05$) entre frequências de corte e sistema de irrigação para as variáveis largura final da planta (LFP), comprimento, largura e espessura de cladódios de terceira ordem (CCTO, LCTO e ECTO, respectivamente) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (Tabela 4).

Verificou-se efeito ($P < 0,05$) para altura final da planta (AFP), comprimento de cladódios de segunda ordem (CCSO), largura de cladódios de segunda ordem (LCSO), espessura de cladódio de segunda ordem (ECSO) e no índice de área do cladódio (IAC), tanto em relação à frequência de corte quanto para sistema de irrigação (Tabelas 5 e 6).

Tabela 4 - Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função de diferentes frequências de corte e sistemas de irrigação

LFP									
Sistema de Irrigação (SI)	Frequência de Corte (FC; meses)				EPM	SI	P-valor		Equação
	6	9	12	18			FC	SI*FC	
1	141,25b	145,00b	132,50Bb	185,00a	5,48	<0,0001	<0,0001	0,0077	Y=199,77-13,33x+0,69x ² R ² =80
2	145,48b	144,63b	153,88ABb	186,50a					Y=162,79-5,10x+0,36x ² R ² =66
3	144,46	158,58	146,51B	170,00					Y=152,37-1,58x+0,14x ² R ² =36
4	148,26c	163,50bc	178,15Aab	194,75a					Y=128,03+3,83x R ² =79
CCTO									
1	21,68ab	23,68Aab	19,14Bb	24,98a	0,48	<0,0001	<0,0001	0,0037	Y=29,43-1,57x+0,07x ² R ² =31
2	20,38ab	19,63Bab	18,41Bb	24,21a					Y=29,24-2,01x+0,10x ² R ² =53
3	21,15	23,08B	24,96A	25,31					Y=19,83+0,34x R ² =57
4	20,00b	24,54Aab	24,00Aab	25,79a					19,03+0,40x R ² =37
LCTO									
1	16,03b	18,93ab	11,85Cc	19,87a	0,71	0,0066	<0,0001	<0,0001	Y=27,68-2,33x-0,10x ² R ² =31
2	15,65b	15,74b	14,17BCb	19,45a					Y=22,74-1,59x+0,08x ² R ² =59
3	15,03b	18,13ab	18,06Aab	19,41a					Y=14,11+0,32x R ² =60
4	15,07b	18,57ab	17,62Aab	20,04a					Y=13,89+0,35x R ² =47
ECTO									
1	9,44	10,31	10,61A	9,11	0,52	0,1279	0,1202	0,0002	Y=5,63+0,85x-0,04x ² R ² =47
2	9,73ab	9,97a	7,25Bb	9,50ab					Y=15,43-1,14x+0,04x ² R ² =26
3	8,23	9,05	10,59A	9,03					Y=2,57+1,19x-0,05x ² R ² =29
4	9,4	10,55	8,30AB	10,28					Y=12,33-0,56x+0,03x ² R ² =17

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P>0,05). EPM = Erro padrão da média. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. LFP = Largura final da planta (cm); CCTO = Comprimento de cladódios de terceira ordem (cm); CCQO = Comprimento de cladódios de quarta ordem (cm); LCTO = Largura de cladódios de terceira ordem (cm); ECTO = Espessura de cladódios de terceira ordem (mm).

Tabela 5 - Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função das diferentes frequências de corte

Variável	Frequência de Corte (meses)				EPM	P-valor	Equação
	6	9	12	18			
AFP	75,05b	79,53ab	84,66a	88,63a	2,46	0,018	$Y=69,29+1,13x$ $R^2=15$
CCSO	23,61b	24,45a	24,62a	25,03a	0,20	<0,0001	$Y=23,22+0,11x$ $R^2=19$
LCSO	17,56b	18,73a	18,27ab	18,72a	0,19	0,0002	$Y=16,03+0,35x-0,01x^2$ $R^2=13$
ECSO	9,52b	10,88a	11,73a	11,44a	0,27	<0,0001	$Y=4,87+0,98x-0,03x^2$ $R^2=35$
CCQO	-	22,85	-	-	-	-	-
LCQO	-	17,11	-	-	-	-	-
ECQO	-	8,87	-	-	-	-	-
IAC	1,24c	1,30c	1,78b	2,23a	0,10	-	$Y=0,64-0,09x$ $R^2=38$

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P>0,05$). EMP – Desvio médio padrão. r^2 – coeficiente de determinação. AFP = Altura final da planta (cm); CCSO = Comprimento do cladódio de segunda ordem (cm); LCSO = Largura dos cladódios de segunda ordem (cm); ECSO = Espessura de cladódio de segunda ordem (mm); CCQO = Comprimento do cladódio de quarta ordem (cm); LCQO = Largura dos cladódios de quarta ordem (cm); ECQO = Espessura de cladódio de quarta ordem (mm); IAC = Índice de área do cladódio colhível (m^2/m^2).

Para as variáveis de comprimento, largura e espessura de cladódios de quarta e quinta ordem, por apresentarem número reduzido de “n”, ou mesmo a não ocorrências em todas as plantas, não foi possível realizar as análises estatísticas para efeito de frequência de corte.

Tabela 6 - Valores médios para as características morfológicas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação

Variável	Sistema de irrigação				EPM	P-valor
	1	2	3	4		
AFP	71,45b	83,13a	82,92a	90,36a	2,46	<0,0001
CCSO	25,30a	24,22b	23,83b	24,36b	0,20	<0,0001
LCSO	19,16a	18,46ab	17,60c	18,06bc	0,19	<0,0001
ECSO	10,57b	11,01ab	10,27b	11,72a	0,27	0,0036
CCQO	-	20,82	19,12	22,99	1,21	0,1743
LCQO	-	16,14	13,67	17,09	0,92	0,0870
ECQO	-	7,42	7,43	8,40	0,42	0,2671
IAC	1,28c	1,55bc	1,67b	2,05a	0,10	<0,0001

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade ($P>0,05$). EMP – Desvio médio padrão. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. AFP = Altura final da planta (cm); CCSO = Comprimento do cladódio de segunda ordem (cm); LCSO = Largura do cladódios de segunda ordem (cm); Espessura de cladódio de segunda ordem (mm); CCQO = Comprimento do cladódio de quarta ordem (cm); LCQO = Largura do cladódios de quarta ordem (cm); ECQO = Espessura de cladódio de quarta ordem (mm); IAC = Índice de área do cladódio colhível (m^2/m^2).

A altura final da planta (AFP) apresentou crescimento linear positivo na medida que se diminuiu a frequência de corte (Tabela 5). Observou-se que o maior espaço de tempo entre colheitas favoreceu o desenvolvimento vertical da planta, comportamento similar ao encontrado por Rocha et al. (2017), que, ao avaliarem as características estruturais da palma

forrageira em diferentes cultivares, relataram efeito linear crescente para altura final da planta quando se aumentou o intervalo entre colheitas.

Já para os sistemas de irrigação, as maiores alturas da planta foram observadas na aspersão convencional (90,36 cm), microaspersão (83,13 cm) e micro spray jet (82,92 cm), resultados que foram semelhantes entre si ($P > 0,05$), mas que apresentaram diferenças estatísticas para o valor obtido no sistema de gotejamento superficial (71,45 cm), o menor observado entre todos os sistemas (Tabela 6).

Os resultados obtidos neste estudo para altura de planta, ficaram próximos aos encontrados por Fonseca et al. (2019), os quais, ao avaliarem as características estruturais da palma Gigante em sistema irrigado com diferentes lâminas e frequências de irrigação, obtiveram no segundo ciclo de cultivo, aos 330 dias, média de 81,98 cm de altura final da planta, com valores variando entre 68,75 cm a 98,92. Já os resultados obtidos por Pereira et al. (2015), desta mesma cultivar e em sistema irrigado, a altura média da planta, aos 12 meses, foi de 46,9 cm, portanto, inferior aos observados no presente estudo, mesmo considerado as menores alturas finais da planta (AFP) obtidas entre os sistemas de irrigação, 71,45 cm (Tabela 6), e frequências de corte, 75,05 cm (Tabela 5).

A menor altura final da planta obtida pelo gotejamento superficial pode estar relacionado ao tipo de emissor deste sistema, o qual caracteriza-se por pequenos gotejadores, com irrigação sendo feita em uma faixa restrita do solo, mais próximo a planta, o que pode ter limitado o crescimento das raízes, reduzindo assim a capacidade de absorção de água e nutrientes pela palma, por conseguinte, afetando o desenvolvimento da mesma. Os demais sistemas de irrigação, em função do tipo de emissor (aspersor ou spray), apresentam maior abrangência de área de solo que é molhada, com destaque para aspersão convencional, que irriga 100% da área cultivada.

A altura e a largura da planta são características morfológicas importantes, pois apresentam alta correlação com a produção de massa seca, portanto, quanto maior os valores dessas variáveis, maiores serão as produtividades da palma forrageira (MIRANDA; SILVA et al., 2010). Essas características são muito influenciadas pelos genótipos, especialmente quanto ao seu hábito de crescimento (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2009), em que plantas que apresentem crescimento ereto tendem a serem mais altas quando comparadas àquelas com hábitos de crescimento semiaberto ou aberto. Porém, essas variáveis também podem sofrer interferência de manejo, como o tempo entre colheitas, ou pelas condições de fertilidade do solo e disponibilidade hídrica, por exemplo.

Em relação a largura final da planta (LFP), que foi uma das variáveis que apresentou interação entre os fatores avaliados, observou-se efeito ($P < 0,05$) das frequências de corte sobre a LFP em todas os sistemas de irrigação avaliados, exceto no micro spray jet (Tabela 4).

Verificou-se que houve efeito quadrático da frequência de corte para LFP quando associado aos sistemas de irrigação por gotejamento superficial, microaspersão e micro spray jet (Tabela 4), atingindo valores mínimos estimados de 135,37 cm, 144,57 cm e 147,89 cm, respectivamente aos 9,66 meses, 7,05 meses e 5,52 meses. Já para o sistema de irrigação por aspersão convencional, houve efeito linear crescente na medida em que reduziu a frequência de corte (Tabela 4).

As maiores LFP obtidas com o avanço no intervalo entre as colheitas se justifica pelo maior tempo para o desenvolvimento da palma forrageira, especialmente da cultivar Orelha de Elefante Mexicana, que tem seu crescimento caracterizado como semiaberto (PINHEIRO et al., 2014), além de apresentar diferenciação em sua forma estrutural, composta por grandes cladódios, o que propicia o desenvolvimento lateral da planta (EDVAN et al., 2020). Registre-se ainda que o crescimento foi estimulado pelo contínuo aporte de água (via irrigação e precipitação pluvial) e de nutrientes às plantas ao longo dos respectivos ciclos de cultivo.

O comportamento observado para esta variável assemelha-se aos resultados obtidos por Rocha et al. (2017), cuja maior largura da planta encontrada na cv. Orelha de Elefante Mexicana também ocorreu no maior intervalo de corte avaliado, aos 16 meses, com largura de 105,45 cm. Este valor foi inferior ao obtido neste estudo, mesmo quando comparado a largura da planta observada na menor frequência de corte (6 meses), que foi de 141,25 cm (Tabela 4). Essa diferença talvez seja justificada pelas distintas condições experimentais, inclusive pelo menor volume de água utilizado na irrigação no referido estudo.

A largura final da planta observada no presente estudo também foi superior ao valor encontrado por Pereira et al. (2015), que, ao avaliarem a morfogênese em diferentes clones de palma forrageira em sistema irrigado, com colheita realizada aos 12 meses, obtiveram a LFP de 58,6 cm na cultivar Orelha de Elefante Mexicana.

Nota-se também que apenas na frequência de 12 meses houve efeito significativo ($P < 0,05$) entre os sistemas de irrigação avaliados. Neste caso, observou-se resultados semelhantes na largura final da planta (LFP) entre os sistemas de aspersão convencional e microaspersão, os quais apresentaram os maiores valores estimados pelo modelo ajustado,

178,15 cm e 153,88 cm, respectivamente, porém os sistemas de microaspersão, gotejamento superficial e micro spray jet não diferiram ($P>0,05$) entre si (Tabela 4).

Observou-se comportamento linear positivo para o comprimento dos cladódios de segunda ordem (CCSO) na medida que se aumentou o intervalo entre colheitas (Tabela 5). Esses resultados confirmam a percepção de Ramos et al. (2015), que ao estudarem o crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica constataram haver crescimento linear do comprimento dos cladódios na medida que se avançou no tempo, porém com desenvolvimento maximizado ao redor dos 300 dias, quando, para esta variável, ocorreu a estabilização em sua dimensão.

Os valores encontrados neste estudo para comprimento de cladódios de segunda ordem (CCSO) em todas as frequências de corte foram superiores ao obtido por Pereira et al. (2015), que, aos 12 meses, a média do CCSO da cv. Orelha de Elefante Mexicana foi de 10,4 cm.

Quanto ao efeito do sistema de irrigação, o maior valor para CCSO foi obtido no gotejamento superficial, 25,3 cm, apresentando diferença ($P<0,01$) dos valores observados nos demais sistemas de irrigação avaliados (Tabela 6).

Ao avaliar as características morfológicas da palma Gigante no sertão baiano, com diferentes lâminas e frequências de irrigação, Fonseca et al. (2019) relataram valores médios de comprimento de cladódios de 23,94 cm no primeiro ciclo de cultivo (365 dias após plantio) e de 27,47 cm no segundo ciclo de cultivo (365 dias após primeira colheita). O resultado observado pelos autores no primeiro ciclo de cultivo foi semelhante aos obtidos no presente estudo, independente do sistema de irrigação adotado. No entanto, o valor obtido no segundo ciclo de cultivo foi maior do que o da presente pesquisa. A explicação pode estar no formato do cladódio das diferentes variedades estudadas, onde a palma forrageira cv. Gigante apresenta cladódios mais alongados quando comparados aos da cv. Orelha de Elefante Mexicana. Além disso, na pesquisa conduzida no sertão baiano a medição foi realizada em todos os cladódios existentes na planta, inclusive os de primeira ordem, obtendo-se a média de comprimento desses cladódios, diferentemente da presente pesquisa, na qual se mediu o comprimento dos artículos por ordem, neste caso, os de segunda ordem (CCSO), desconsiderando os cladódios primários, os quais foram preservados na planta.

O comprimento e a largura do cladódio são características importantes e que apresentam correlação positiva com a produção de massa seca (MIRANDA; SILVA et al., 2010). Já a espessura do cladódio exerce influência na capacidade fotossintética e de

armazenamento de água, desse modo, essa característica apresenta importância fisiológica para a planta (ROCHA et al., 2017). Em função da capacidade em acumular mais água, a maior espessura do cladódio pode significar maior resiliência da palma forrageira em condições de stress hídrico mais severo.

De acordo com Sales et al. (2003), as variáveis comprimento, largura e espessura sofrem influência das oscilações climáticas, porém, segundo Donato et al. (2014b), são pouco influenciadas pelas práticas de manejo adotadas, sendo mais dependentes do material genético utilizado.

Verificou-se que a largura e a espessura dos cladódios de segunda ordem (LCSO e ECSO) responderam de forma quadrática positiva ao aumento no intervalo de corte da palma forrageira (Tabela 5). Para a LCSO, o valor máximo estimado foi de 18,74 cm aos 14,4 meses, enquanto a ECSO máxima (11,9 mm) foi atingida aos 13,9 meses.

Na variável largura dos cladódios de segunda ordem (LCSO), os maiores valores foram observados no gotejamento superficial (19,16 cm) e no microaspersão (18,46 cm) (Tabela 6). Os valores obtidos no presente trabalho se aproximou dos descritos por Silva et al. (2014a), que em sistema de cultivo de sequeiro e utilizando palma “Gigante” obtiveram aos 12 meses após o plantio, largura média dos cladódios da planta de 18,21 cm com uso de adubação mineral e orgânica (esterco ovino).

Quanto ao efeito do sistema de irrigação na ECSO, os maiores valores foram observados no sistemas de irrigação de aspersão convencional (11,72 mm) e microaspersão (11,01 mm), porém não houve diferença significativa ($P>0,05$) dos valores obtidos desta variável entre os sistema de microaspersão, gotejamento superficial e micro spray jet (Tabela 6).

Esses resultados foram inferiores aos obtidos por Donato et al. (2014b), o qual avaliando características morfométricas e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos de plantio e doses de adubação orgânica observaram valores médios de espessura de cladódios entre 14,0 mm (com 60 toneladas de esterco ha^{-1}) e 17,0 mm (90 toneladas de esterco ha^{-1}). Além das variedades utilizadas nas pesquisas serem diferentes, é provável que a frequência de corte tenha influenciado a diferença entre os resultados, pois as avaliações biométricas feitas pelos autores ocorreram 600 dias após o plantio, superior ao presente trabalho, que variou de 180, 270, 360 e 540 dias.

Já os resultados obtidos por Xavier et al. (2020) foram inferiores aos observados no presente estudo. Esse autores avaliaram as características biométricas de cladódios da palma

forageira variedade Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes lâminas de irrigação e fontes de adubação orgânica, e obtiveram média de espessuras de cladódios entre 2,6 mm, para os tratamentos com ausência de irrigação, e 9,3 mm, para os tratamentos com lâmina de 5,5 L semana⁻¹. Apesar das pesquisas terem sido feitas em cultivos irrigados e utilizarem a mesma variedade de palma (Orelha de Elefante Mexicana), a explicação para obtenção da menor espessura de cladódios deve estar relacionado a frequência de colheita, onde, no estudo supracitado a medição biométrica foi feita 90 dias após a última colheita, bem menor dos que o tempo entre colheitas estabelecidos no presente estudo.

Nas frequências de corte de 9 e 12 meses o comprimento de cladódios de terceira ordem (CCTO) da palma forrageira diferiram entre os sistemas de irrigação (Tabela 4). Na frequência de corte de 9 meses, o CCTO foram maiores quando se utilizou sistema de aspersão convencional e gotejamento superficial, resultado que diferiu ($P < 0,05$) dos demais sistemas avaliados. Já na frequência de corte de 12 meses, os maiores valores para esta variável foram observadas no micro spray jet e na aspersão convencional (Tabela 4).

Verificou-se efeito quadrático ($P < 0,05$) da frequência de corte para CCTO, associado ao sistema de gotejamento superficial e de microaspersão (Tabela 4). Para o sistema de gotejamento superficial, o valor mínimo estimado de CCTO foi de 20,93 cm aos 10,51 meses, enquanto no sistema de microaspersão o valor mínimo do comprimento de cladódios de terceira ordem foi de 18,74 cm, alcançado aos 9,92 meses. Já para os sistemas de irrigação micro spray jet e de aspersão convencional houve efeito linear crescente na medida em que diminui a frequência de corte.

Esse resultados obtidos no presente estudo foram próximos aos observados por Rocha et al. (2017), em que o comprimento médio dos cladódios totais da planta da cv. Orelha de Elefante Mexicana, colhidos em intervalos de corte de 4, 8, 12 e 16 meses após o plantio, foi de 25,66 cm, em sistema de cultivo adensado e irrigado.

Na frequência de corte de 12 meses, a largura dos cladódios de terceira ordem (LCTO) diferiu entre os sistemas de irrigação (Tabela 4), sendo as maiores LCTO observadas nos sistemas micro spray jet e aspersão convencional, apresentando diferença significativa ($P < 0,05$) para os valores obtidos nos demais sistemas de irrigação avaliados.

Verificou-se comportamento quadrático positivo ($P < 0,01$) da frequência de corte para LCTO associado aos sistemas de gotejamento superficial e microaspersão (Tabela 4), apresentando valores mínimos de 14,63 cm e 14,68 cm, respectivamente, aos 10,92 e 9,6 meses.

Os valores observados nos sistema de aspersão convencional e micro spray jet apresentou efeito linear crescente na medida em que aumentou o intervalo de corte.

De forma geral, a largura dos cladódios obtidos neste estudo foi inferior a média observada por Rocha et al. (2017), que, ao avaliar características estruturais da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em sistema de cultivo irrigado com 50 mil plantas ha⁻¹, obtiveram largura média dos cladódios de 21,36 cm, porém esse resultado refere-se à média de todos os cladódios da planta e não apenas dos cladódios de terceira ordem.

Houve efeito quadrático crescente ($P < 0,05$) da frequência de corte para ECTO nos diferentes sistemas de irrigação (Tabela 4). Nos sistemas de gotejamento superficial e micro spray jet as espessuras máximas estimadas dos cladódios de terceira ordem foram de 10,54 cm e 10,25 cm, respectivamente, alcançadas aos 12,78 e 12,52 meses. Já para os sistemas de aspersão convencional e microaspersão, a ECTO mínima estimada foi de 9,22 cm e 8,13 cm, respectivamente, aos 10,46 meses e 12,52 meses.

Na frequência de corte de 12 meses, a espessura dos cladódios de terceira ordem (ECTO) diferiu entre os sistemas de irrigação (Tabela 4). Nesta frequência de colheita, a LCTO foi maior quando se utilizou o sistema micro spray jet e a aspersão convencional, apresentando diferença significativa ($P < 0,05$) para os valores obtidos nos demais sistemas de irrigação avaliados.

Os índices de área do cladódio colhível (IAC) apresentaram valores de 1,24 m², 1,30 m², 1,78 m², 2,23 m²/ m², respectivamente para as frequências de corte de 6, 9, 12 e 18 meses (Tabela 5). Percebe-se que houve crescimento linear do IAC na medida que se aumentou o intervalo de colheita da palma forrageira, ou seja, com menor frequência de corte. Com o maior valor de IAC observado, a frequência de corte de 18 meses apresentou diferença estatística ($P < 0,01$) das demais.

Os resultados observados mostram que o maior tempo entre colheitas possibilita o contínuo crescimento da planta, no entanto, os valores foram aquém da faixa ótima de cultivo considerada por Nobel (1991), que deve ser entre 4 e 5, o que possibilita maior aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa e captação mais eficiente de CO₂. É importante ressaltar que o IAC neste estudo foi calculado utilizando-se apenas os cladódios colhíveis, ou seja, de segunda ordem em diante, portanto, sem considerar os cladódios primários, os quais foram preservados na planta.

Com base no estudo realizado por Queiroz et al. (2015), em que se avaliou as contribuições das ordens de cladódios para o IAC, os cladódios primários participaram com

48,65%. Considerando que os percentuais dos cladódios colhíveis na planta no presente estudo variaram em função da frequência de corte e do sistema de irrigação entre 43,93% e 66,11% (Tabelas 17), isso significa que, por diferença, o percentual de cladódios de primeira ordem representou 56,07 e 33,89% dos cladódios presentes na planta. Sendo assim, levando em conta essas proporções, é possível que o IAC no estudo em questão se aproximasse um pouco mais aos valores ideais preconizados por Nobel (1991).

Ao avaliar o desenvolvimento de três variedades de palma forrageira, com diferentes fontes de adubação orgânica (esterco bovino, ácido fúlvico e ácido húmico), Lima et al. (2018) obtiveram na variedade Orelha de Elefante Mexicana, aos 240 dias após plantio, IAC de $1,65 \text{ m}^2/\text{m}^2$ quando se utilizou esterco bovino, sendo esse o maior valor observado entre os tratamentos. Esse resultado se aproximou do encontrado no presente estudo para as frequências de corte de 9 meses ($1,30 \text{ m}^2/\text{m}^2$) e 12 meses ($1,78 \text{ m}^2/\text{m}^2$), porém, é importante registrar que houve diferenças nas condições experimentais e metodológicas entre as pesquisas. Enquanto este experimento foi conduzido em cultivo irrigado, o estudo realizado pelos autores foi em sequeiro, ao mesmo tempo em que o cálculo do índices de área do cladódio realizado por esses considerou-se também os cladódios de primeira ordem, enquanto no presente trabalho computou-se apenas os de segunda ordem em diante.

Já Rocha et al. (2017), ao avaliarem as características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira em diferentes intervalos de corte, obtiveram resultados de IAC superiores ao encontrado neste estudo. Os autores observaram IAC na variedade Orelha de Elefante Mexicana de $1,26 \text{ m}^2/\text{m}^2$, $3,02 \text{ m}^2/\text{m}^2$, $2,90 \text{ m}^2/\text{m}^2$ e $4,13 \text{ m}^2/\text{m}^2$ nos intervalos entre colheitas de 4, 8, 12 e 16 meses, respectivamente. Apesar dos dois estudos terem sido realizados em cultivos irrigados, apresentando proximidade nos tempos entre colheitas avaliados, o menor IAC encontrado na presente pesquisa deve-se, provavelmente, ao fato de terem sido considerados para o cálculo do IAC os cladódios de segunda ordem em diante, enquanto o IAC calculado pelos autores considerou os cladódios da planta a partir da primeira ordem.

De acordo com os resultados obtidos por Pinheiro et al. (2014), o índice de área do cladódio da palma forrageira apresenta correlação com as características estruturais como a altura e largura da planta. As alturas das plantas obtidas neste estudo confirmam essa correlação, nas quais constatou-se que na medida em que houve aumento na altura final da planta ocorreu incremento no IAC com a diminuição nas frequências de corte (Tabela 5).

Ao considerar os efeitos dos sistemas de irrigação, o maior IAC foi obtido no aspersão convencional, $2,05 \text{ m}^2/\text{m}^2$, apresentando diferença ($P < 0,01$) para os valores

observados nos demais sistemas avaliados (Tabela 6). Os valores de IAC do micro spray jet ($1,67 \text{ m}^2/\text{m}^2$) e microaspersão ($1,55 \text{ m}^2/\text{m}^2$) não diferiram ($P>0,05$) entre si, o mesmo ocorrendo entre microaspersão e gotejamento superficial ($1,28 \text{ m}^2/\text{m}^2$).

Esses resultados foram inferiores aos obtidos por Fonseca et al. (2019), que ao avaliarem as características morfométricas da palma Gigante em sistema de cultivo irrigado, utilizando-se água salina, diferentes lâminas e frequências de irrigação, obtiveram IAC no segundo ciclo de cultivo entre 1,93 e $4,48 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Vale salientar que no trabalho citado considerou-se os cladódios de primeira ordem para o cálculo do IAC, enquanto, no presente trabalho, o cálculo de IAC foi realizado considerando os cladódios de segunda ordem em diante, ou seja, a parte colhível da planta, a qual foi realizada a medição de biometria. Existiu diferença também na variedade da palma, sendo utilizado a cv. Gigante na pesquisa supracitada e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) no presente estudo, o que pode ter contribuído para que ocorressem resultados distintos.

Os melhores resultados obtidos na aspersão convencional pode estar relacionado à forma de aplicação da água no solo, a qual, ao umedecer a área total em volta da planta, propiciou condições mais favoráveis para ramificação e abrangência do sistema radicular no perfil do solo, resultando em maior capacidade de absorção de água e nutrientes, impactando positivamente no desenvolvimento da palma e, conseqüentemente, no IAC.

Essa hipótese pode ser reforçada em função do resultado obtido no sistema de gotejamento superficial, o qual apresentou o menor índice de área do cladódio colhível entre os sistemas de irrigação avaliados. Neste sistema, a irrigação é localizada, mais próximo a base da planta, sendo assim, diferente da aspersão convencional, a menor área de solo umedecida, pode ter restringido o desenvolvimento radicular da palma, ou seja, menor ramificação, limitando absorção de água e nutrientes, resultando no menor IAC.

O comparativo dos resultados obtidos entre os dois sistemas (aspersão convencional vs gotejamento superficial) indica que, mesmo considerando a maior eficiência teórica de irrigação do sistema por gotejamento superficial, inclusive com menor perda provável da água do solo pelo processo de evaporação, diminuindo a evapotranspiração da cultura (ETc) (SANTOS et al., 2017), a inter-relação entre solo-planta-sistema de irrigação auferiu melhor resultado para IAC quando se utilizou a aspersão convencional.

Vale ainda salientar que o solo da área experimental foi classificado como textura arenosa, apresentando baixo teor de argila na composição granulométrica, apenas 7,6%. Neste caso, a alta condutividade hidráulica e taxa de infiltração do solo pode ter limitando a formação

do bulbo molhado no sistema de irrigação localizada por gotejamento superficial, resultando em uma possível perda de água por percolação e por consequente, menor disponibilidade para a planta, com reflexo negativo na absorção de água e nutrientes.

2.4 Conclusão

Nas condições em que foi desenvolvido o presente trabalho, a frequência de corte de 18 meses e sistema de irrigação por aspersão convencional da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana apresentam melhores resultados, com destaque para o índice de área de cladódio colhível.

3 COMPONENTES DE BIOMASSA DA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito da utilização dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte no cultivo da palma forrageira. A pesquisa foi realizada na região Semiárida, no município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro sistemas de irrigação e quatro frequências de corte, com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pelas frequências de corte (6, 9, 12 e 18 meses). O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, que proporcionou um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹. O período de execução do experimento foi de dezembro de 2016 a janeiro de 2019. Definiu-se um turno de rega de dois dias, utilizando-se 5,0 mm de lâmina bruta de água (2,5 mm.dia⁻¹), manejo estabelecido igualmente para todos os sistemas de irrigação avaliados. Foram avaliadas as características produtivas e de biomassa da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), as quais foram realizadas por ocasião da colheita do material. A maioria das características produtivas avaliadas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana foi influenciada pela frequência de corte e sistema de irrigação. A frequência de corte de 12 meses associado ao sistema de aspersão convencional apresentou as maiores produções de massa fresca dos cladódios de terceira ordem (86,48 t MFha⁻¹) e total (267,79 t MFha⁻¹), e maior produção de massa seca total (16,37 t MSha⁻¹). O sistema de aspersão convencional apresentou os maiores valores de número de cladódios de segunda ordem (4,92 cladódios planta⁻¹), produção de massa fresca dos cladódios de segunda ordem (121,57 t MFha⁻¹ ano⁻¹) e taxa de produção de massa fresca total por planta (548,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹). Os sistemas por aspersão convencional e por micro spray jet apresentaram os maiores valores para número de cladódios de primeira ordem, número de cladódios total da planta, número de cladódios total colhível, taxa de produção de massa fresca dos cladódios de terceira ordem, produção de massa seca dos cladódios de segunda e terceira ordem e taxa de produção de massa seca dos cladódios de segunda e terceira ordem. Observou-se que o aumento da frequência de corte apresentou efeito linear positivo para as características de número de cladódios de primeira ordem e

produção de massa seca de cladódio de segunda, terceira e quinta ordem. A frequência de corte de 18 meses apresentou os maiores valores para percentuais de matéria seca da planta, produção de massa seca de cladódio de segunda e terceira ordem. Já a frequência de corte de 6 meses apresentou os menores valores para número de cladódios de terceira ordem, número de cladódios colhível, peso médio dos cladódios de segunda ordem e produção de massa seca de cladódios de segunda ordem. O percentual de matéria seca da palma forrageira encontrado, tanto para frequência de corte quanto para sistema de irrigação, apresentou valores abaixo de 8,0%, variando entre 6,34% e 7,94%. Não foi observado mortalidade de plantas, evidenciando a rusticidade e adaptabilidade da cv. Orelha de Elefante Mexicana em regime irrigado, independentemente da frequência de corte e do sistema de irrigação utilizado. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a frequência de corte de 12 meses associado ao sistema de aspersão convencional apresenta melhores resultados nas características produtivas avaliadas, com destaque para produções de massa fresca e seca por área.

Palavras-chave: *Opuntia stricta*. Plantas xerófilas. Semiárido. Cultivo adensado.

3 BIOMASS COMPONENTS OF CACTUS PEAR CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBJECTED TO DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS AND CUTTING FREQUENCIES

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the use of different irrigation systems and cutting frequencies in the cultivation of cactus pear. The research was carried out in the Semiarid region, in the city of Russas, in the state of Ceará, Brazil. The experimental design used was of randomized blocks in subdivided plots, with four irrigation methods and four cutting frequencies, with four replications. The plots were represented by irrigation systems (surface drip, micro sprinkler, micro spray jet and conventional sprinkling) and subplots by cutting frequency (6, 9, 12 and 18 months). The spacing used was 1.60 m x 0.40 m x 0.14 m, which provided a density of 70,000 plants ha⁻¹. The execution period of the experiment was from December 2016 to January 2019. Regarding irrigation management, a two-day irrigation shift was defined, using a gross water sheet of 5.0 mm (2.5 mm.day⁻¹), a management established equally for all evaluated irrigation systems. The productive and biomass characteristics of cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), were evaluated, which were obtained at the time of harvest. Most of the evaluated productive characteristics of cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana was influenced by the cutting frequency and irrigation system. The cutoff frequency of 12 months associated with the conventional sprinkler system showed the highest yields of fresh mass of third-order cladodes (86.48 t FMha⁻¹) and cladodes total (267.79 t FMha⁻¹), and higher total dry mass production (16.37 t DMha⁻¹). The conventional sprinkler system presented the highest values of number of second-order cladodes (4.92 cladodes plant⁻¹), fresh mass production of second-order cladodes (121.57 t FMha⁻¹ year⁻¹) and total fresh mass production rate (548.12 kg ha⁻¹ day⁻¹). The conventional sprinkler systems and micro spray jet presented the highest values for number of first-order cladodes, number of total cladodes of the plant, number of harvestable cladodes, production rate of fresh mass of third-order cladodes, dry mass production of second and third order cladodes and dry mass production rate of second and third-order cladodes. It was observed that the increase in the cutting frequency showed positive linear effect for the characteristics of number of first-order cladodes and dry mass production of second, third and fifth order cladodes. The cutoff frequency of 18 months presented the highest values for percentages of plant dry matter, dry mass production of second and third order

cladodes. The cut-off frequency of 6 months presented the lowest values for number of third-order cladodes, number of harvestable cladodes, average weight of second-order cladodes and dry mass production of second-order cladodes. The percentage of dry matter of the cactus pear found, both for cutting frequency and irrigation system, presented values below 8.0%, ranging from 6.34% to 7.94%. No plant mortality was observed, evidencing the rusticity and adaptability of the cv. Orelha de Elefante Mexicana in irrigated regime, regardless of the cutting frequency and irrigation systems used. According to the results obtained, it was concluded that the cut-off frequency of 12 months associated with the conventional sprinkler system presented better results in the productive characteristics evaluated, with emphasis on fresh and dry mass production per area.

Keywords: *Opuntia stricta*. Xerophilous plants. Semi-arid. Dense cultivation.

3.1 Introdução

A palma é um dos recursos forrageiros mais estratégicos para a produção de ruminantes no Semiárido brasileiro. Sua adaptabilidade às condições edafoclimáticas dessa região, apresentando baixa demanda hídrica, bom valor nutricional e alto potencial produtivo, são atributos que possibilitam não só alimentar os rebanhos bovinos, ovinos e caprinos, mas também proporcionar estabilidade e segurança aos empreendimentos rurais.

Mesmo apresentando adaptabilidade a regiões áridas e semiáridas, o crescimento da palma forrageira varia conforme as oscilações das condições climáticas locais (PEREIRA et al., 2015), principalmente em função da disponibilidade hídrica, temperatura noturna e umidade relativa do ar.

Neste contexto, o uso da irrigação tem reduzido os efeitos das condições climáticas adversas sobre a cultura e promovido ganhos de produtividade (NETO et al., 2017), melhorando a eficiência de utilização dos recursos envolvidos, dentre esses, a terra e a mão de obra.

Apesar de predominar em grande parte das propriedades no Semiárido nordestino o cultivo de palma forrageira com baixa tecnologia, muitos produtores estão aderindo aos sistemas mais intensivos, com maior adensamento de plantas e adoção de práticas de manejo adequadas, como reposição de nutrientes por meio da adubação e controle de plantas espontâneas, pragas e doenças.

Com ampliação de cultivos mais intensivos e de áreas de palma forrageira sob irrigação, é importante realizar estudos que permitam avaliar a resposta da planta quanto às características produtivas com o uso desta tecnologia.

Para isso, é necessário entender melhor sobre o manejo da irrigação e conhecer sobre os métodos e sistemas de irrigação existentes, possibilitando assim fazer o seu uso de forma mais eficiente, maximizando sua resposta no incremento de produção de biomassa da palma forrageira, com menor gasto possível de recursos hídricos, proporcionando benefícios ambientais, maior segurança alimentar aos rebanhos bovinos, ovinos e caprinos, resultando por fim, em maior sustentabilidade na produção de leite e de carne na região Semiárida do Brasil.

Diante desta demanda, objetivou-se avaliar a produtividade da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw cv. Orelha de Elefante Mexicana (IPA 200016), por meio das características relacionadas ao fluxo de biomassa, sob diferentes frequências de corte e sistemas de irrigação.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no lote agrícola situado no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O período experimental foi entre vinte e sete de dezembro de 2016 e vinte e cinco de janeiro de 2019, perfazendo um total de 25 meses. A área experimental localiza-se a 80 metros de altitude, apresenta estação chuvosa de janeiro a abril e estação seca que vai de maio a dezembro. A precipitação média anual é de 857,7 mm e temperaturas entre 22,0 e 35,0 °C, com média anual de 28,5 °C (IPECE, 2009), nas coordenadas geográficas: 4°56'00.5"S 38°01'25.3"W, com clima do tipo BSw'h', tropical quente semiárido, segundo classificação de Koppen (1948). O solo na área experimental é do tipo Neossolo Quartzarênico, sendo classificado como textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

Ao longo do período experimental, foram acompanhadas as médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação (diária, mensal e total). As precipitações diárias, mensais e totais foram obtidas no próprio local do experimento, enquanto a temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidas do Posto Agroclimatológico da FUNCEME, localizado a 27,2 km da área experimental, no município de Morada Nova.

Durante a execução do experimento (27/12/2016 a 25/01/2019), a precipitação pluvial totalizou 1.996 mm. As médias das temperaturas máxima e mínima foram 28,7 °C e 27,3 °C, respectivamente, apresentando média geral no período de 28,0°C. As médias das umidades relativas do ar (UR) máxima e mínima foram 70,5 % e 64,2 %, respectivamente, enquanto que a média geral da UR durante o período experimental foi de 67,4%.

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, cujas parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pela frequência de corte (6, 9, 12 e 18 meses), totalizando 64 unidades experimentais.

3.2.3 Caracterização física e química do solo da área experimental

No início da instalação do experimento realizou-se a caracterização físico-química do solo na profundidade de 0,0 a 20,0 cm (Tabela 7), sendo feita uma nova análise de solo um ano após o início do experimento (Tabela 8). O solo foi classificado como textura arenosa, apresentando 90,8% de areia em sua composição (areia grossa e areia fina).

Com base nos resultados obtidos na análise, calculou-se a necessidade de calagem e de adubação da área experimental.

Tabela 7 - Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento

Localidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Dp		Classificação textural				
	-----g kg ⁻¹ -----				g cm ⁻³						
Russas/CE	648	260	16	76	2,73		Areia				
Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----							H ₂ O	g kg ⁻¹
Russas/CE	1,0	0,15	0,18	0,6	0,4	0,2	1,29	1,3	2,82	4,3	10,45

Densidade das partículas (Dp). Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

Tabela 8 - Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira

Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³		-----cmol _c dm ⁻³ -----							H ₂ O	g kg ⁻¹
Russas, CE	9,0	0,08	0,21	0,7	0,5	0,3	0,86	1,5	2,65	5,5	6,41

Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

3.2.4 Implantação e condução do experimento

A área experimental foi preparada no final de novembro de 2016, onde foram realizadas a aração e a gradagem do solo, além da calagem e da incorporação do calcário. O cálculo da necessidade de calagem foi realizado por meio do método de saturação de bases, conforme metodologia descrita por Lopes et al. (1990). Na área experimental estabeleceu-se como meta a elevação para 80% de saturação de base do solo, o que resultou na necessidade em se aplicar 1,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ por ocasião da implantação do experimento. Em função do magnésio se encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Após o preparo da área, procedeu-se a instalação do experimento, iniciando com a demarcação das parcelas e subparcelas. O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, o que significou o plantio de 14 mudas por metro linear na fileira dupla (7 mudas em cada fileira simples), proporcionando um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹, a qual foi definida com base nos resultados obtidos por Cavalcante et al. (2014) ao avaliarem resposta produtiva da palma forrageira em diferentes densidades de plantio. Os sulcos para o plantio da palma foram realizados de forma manual, utilizando-se de enxada, obedecendo à profundidade média de 30 cm.

O plantio foi realizado no final de dezembro de 2016, no período seco do ano, utilizando-se cladódios inteiros da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw cv. Orelha de Elefante Mexicana (IPA 200016), com idade entre 110 a 120 dias, com dimensões entre 15 a 20 cm de largura e 20 a 25 cm de comprimento, e plantadas após repouso de 10 dias de colhida (período para cicatrização do local do corte efetuado na operação de colheita), em sistema tipo "Dominó", disposto um após o outro no sentido leste-oeste e enterrio no solo de 2/3 da raquete. O material vegetal utilizado no plantio foi fornecido por empresa credenciada junto ao Ministério da Agricultura (MAPA), o que conferiu garantia na qualidade e sanidade das mudas plantadas, portanto livres de pragas e doenças.

Cada parcela foi formada por uma área de 8,4 m x 19 m, resultando em 159,6 m² de área, com 1.120 plantas por parcela. Cada subparcela foi formada por 4,0 m x 8,4 m, distanciada um metro uma da outra, resultando em uma área de 33,6 m², contendo 280 plantas, distribuídas em cinco fileiras duplas de 4,0 metros de comprimento, cada uma com 56 plantas (28 em cada fileira simples), sendo as 20 plantas no meio da linha central destinada às mensurações e às demais, como bordaduras. A área útil total do experimento foi de 2.553,6 m². Somando-se a área equivalente às bordaduras (entre parcelas e subparcelas), a área experimental total foi de 6.150 m².

Tanto a correção do solo quanto adubação foram realizadas para garantir as quantidades dos macros (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn e Zn) necessários para o pleno desenvolvimento da cultura (DUBEUX JUNIOR et al., 2010; DONATO et al., 2017). As quantidades dos adubos químicos foram calculados com base nos resultados das análises de solo realizadas antes da implantação da área experimental e após o primeiro ano de cultivo, tendo como expectativa a produção de 40 toneladas de massa seca por ha⁻¹ ano⁻¹.

A adubação foi constituída pela aplicação equivalente a 50 kg de FTE BR 12 por ha⁻¹ ano⁻¹ (micronutrientes), 185 kg de fósforo (P₂O₅) ha⁻¹ ano⁻¹, utilizando como fonte o super

simples (720 kg) e o fosfato monoamônio-MAP (111 kg), 192,2 Kg de nitrogênio ha⁻¹ ano⁻¹, utilizando como fonte a ureia (200 kg) e o sultafó de amônio (429 kg), e 742,9 kg de potássio (K₂O) ha⁻¹ ano⁻¹, tendo como fonte o cloreto de potássio (1.238 kg). A área também recebeu adubação orgânica, com aplicação proporcional de 20 toneladas ha⁻¹ ano⁻¹ de cama de galinha, material que, por meio de análise realizada, apresentou em sua composição 1,43% de N, 2,27% de P₂O₅ e 0,9% de K₂O.

A adubação inicial de fósforo e de micronutrientes foi feita a lanço no centro da fileira dupla, 15 dias após o plantio, em uma única aplicação. Já a adubação orgânica foi realizada com 30 após o plantio, no centro das fileiras duplas da palma.

Após trinta dias do plantio, deu-se início a adubação de produção (LEMOS et al., 2018) por meio do uso de fertilizantes nitrogenados e potássicos, a qual foi realizada semanalmente por meio da fertirrigação, durante todo o ano. Após um ano de experimento, nova análise de solo foi feita, porém diante dos resultados obtidos, não foi necessário realizar alterações nas adubações com fonte fósforo (P₂O₅) e micronutrientes, bem como os adubos nitrogenados e potássicos, mantendo-se quantidades similares aos aplicados no primeiro ano de cultivo.

No início do segundo ano de cultivo, tanto as adubações fosfatada e de micronutrientes, bem como a adubação orgânica, desta vez aplicada apenas nas laterais das fileiras de palma forrageira, foram realizadas em dose única, no mês de janeiro de 2017.

Após um ano de condução do experimento, realizou-se uma nova aplicação de calcário, desta vez a lanço, na proporção de 0,78 tonelada ha⁻¹ ano⁻¹, quantidade esta definida com base nos resultados da análise de solo realizada doze meses após a implantação da área experimental, utilizando-se mais uma vez do método de saturação de bases, objetivando elevar a 80%. Da mesma forma que a primeira aplicação, em função do magnésio se encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Os equipamentos de irrigação foram instalados na área experimental logo após o plantio da palma forrageira, com implantação dos quatro diferentes sistemas de irrigação: Gotejamento superficial, Microaspersão, Micro Spray Jet e Aspersão convencional. Dentre os sistemas de irrigação avaliados, três se caracterizam pelo método de irrigação localizada (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet) e um por aspersão (aspersão convencional).

Quanto ao manejo da irrigação, em função do solo na área experimental ser classificado como de textura arenosa, com baixa capacidade de retenção de água, e a palma

forrageira apresentar sistema radicular pouco profundo (SANTOS et al., 2017), definiu-se por uma maior frequência de irrigação, com turno de rega (TR) de dois dias. A lâmina de irrigação estabelecida foi de 2,5 mm.dia⁻¹, definida considerando a aplicação de 33% da evapotranspiração de referência (ET_o) média dos meses de setembro a dezembro (7,48 mm.dia⁻¹), correspondentes aos de maiores índices para a região (CABRAL, 2000). Desta forma, aplicou-se 5 mm de lâmina bruta de água a cada dois dias.

Em função da vazão ser diferente para cada sistema de irrigação utilizado, o volume de água aplicado foi determinado pelo tempo de funcionamento do sistema em cada parcela (Tabela 9), garantindo assim a mesma lâmina bruta d'água utilizada em todos eles.

Tabela 9 - Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental, no município de Russas, Ceará

Sistema de irrigação	Espaçamento (linhas/emissor)	Vazão (lh ⁻¹)	Número de emissores ha ⁻¹	Vazão (lha ⁻¹ h ⁻¹)	Tempo de funcionamento (em minutos/regas)
Gotejamento superficial	2,0 m / 0,2 m	2	25.000	50.000	60
Microaspersão	4,0 m / 4,0 m	60	625	37.500	80
Micro Spray Jet	2,0 m / 1,0 m	20	5.000	100.000	30
Aspersão convencional	12,0 m/12,0 m	510	69	35.190	55*

*O tempo de irrigação da aspersão convencional foi ajustada em função de ter sido utilizado emissores/aspersores setorizados (90° e 180°), o que fez diminuir o tempo necessário de irrigação. Legenda: m = metros | l h⁻¹ = litros por hora | lha⁻¹h⁻¹ = litros hectare⁻¹ hora⁻¹

Para se obter o manejo adequado da irrigação, todo o equipamento foi automatizado, seguindo programação estabelecida previamente para ligar e desligar cada um dos sistemas de irrigação, respeitando o tempo de funcionamento pré-estabelecido em cada um deles. No intuito de minimizar a interferência do vento na lâmina de água aplicada, definiu-se como horário de irrigação o período entre 05h00 e 07h00, sendo este o de menor incidência de vento no local do experimento.

Portanto, como a irrigação foi realizada durante todo o ano, compreendendo também o período chuvoso, estabeleceu-se como manejo que a cada 10 mm ou mais de chuva ocorrida em um dia, a irrigação era interrompida, retornando no quarto dia após a ocorrência da mesma.

Estabeleceu-se como procedimento padrão a suspensão da irrigação três dias antes do início do levantamento morfológico das plantas, voltando a irrigar somente após a realização da operação de colheita da palma forrageira para pesagem. Esse manejo foi definido no intuito de evitar a interferência da água via irrigação na composição da palma no momento do seu corte.

Após a implantação do palmar e durante todo período experimental, foram realizados de forma rotineira os tratos culturais necessários para propiciar o pleno desenvolvimento da cultura, como controle de plantas indesejáveis, por meio do arranquio, roço com roçadeira costal (nas ruas) ou com uso da ferramenta “estrovenga” e capina química (uso de herbicida). Também efetuou-se os controles de pragas sempre que necessário, especialmente de lagartas, fungos e cochonilha de escamas, os quais foram controlados utilizando-se fitossanitários.

As avaliações foram feitas por ocasião da colheita do material, conforme as frequências de cortes definidas (6, 9, 12 e 18 meses). O corte da palma foi realizado na raquete secundária, 5 cm acima da intercessão entre o cladódio primário e secundário, conforme metodologia utilizada por Carneiro et al. (1989). Essa estratégia de colheita teve como objetivo manter a perenidade da cultura e melhor capacidade de rebrotação da planta por meio de maior índice de área de cladódio remanescente (IAC Remanescente).

Ao término de cada ciclo de crescimento, para as frequências de colheita de 6, 9, 12 e 18 meses, as plantas da área útil de cada tratamento (fileira amostral), composta por 20 plantas, foram colhidas e pesadas, com auxílio de balança digital com precisão de 0,05 g, por ordem de cladódios (segunda, terceira, quarta e quinta), permitindo a estimativa de produção de massa fresca de forragem por ordem de cladódio e total por planta.

Uma amostra do material colhido de forma aleatória de cada tratamento foi levada ao laboratório e pesada. Em seguida os cladódios foram fracionados em pedaços de 1 a 2 cm e mantidos em estufa de ventilação forçada de ar a 55 °C, até atingir peso constante, fazendo-se a pré-secagem. Em seguida esse material foi moído em moinho do tipo Wiley em peneira de 1,0 mm e colocado em estufa a 105 °C por 16 horas, sendo posteriormente pesado, determinando-se o teor de matéria seca da amostra para posterior estimativa das produções de biomassa seca, segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006). Todas essas etapas foram realizadas no laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará. Com esses dados, realizou-se a determinação da produção de

biomassa seca para cada tratamento e em cada colheita efetuada, possibilitando a estimativa de produção por ha⁻¹.

De posse das mensurações descritas, determinaram-se as seguintes variáveis de produção na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana: número de cladódios em cada ordem; número de cladódios total por planta, determinada a partir da soma de todos os cladódios das respectivas ordens por planta; número de cladódios total colhível por planta, determinada a partir da soma de todos os cladódios por planta, de segunda ordem em diante; percentual de cladódios totais colhíveis, determinado a partir da divisão do número de cladódios colhíveis pelo número total de cladódios por planta; percentagem de matéria seca por ordem de cladódios, definida a partir das análises laboratoriais para determinação da matéria seca da amostra de cada ordem de cladódios; percentual de matéria seca da planta, determinada a partir das médias ponderadas de matéria seca de todas as ordens de cladódios da planta; produção total de massa fresca e seca dos cladódios por ordem, determinada a partir da divisão da massa fresca e seca total de cada ordem de cladódio colhido por hectare; produção total de massa fresca e seca de todos os cladódios da planta, determinada a partir da divisão da massa fresca e seca de todas as ordens de cladódios colhidos por hectare; peso médio dos cladódios por ordem, determinada a partir da divisão da massa fresca de cada ordem de cladódio pelo número de cladódios; peso médio total dos cladódios por planta, determinada a partir da divisão da média ponderada de massa fresca de todas as ordens de cladódios pelo número de cladódios totais da planta; taxas de produções de massa fresca e seca por ordem de cladódios, determinada a partir da divisão da massa fresca e seca de cada ordem de cladódios, por hectare, pelo período de avaliação; taxa de produção de forragem fresca e seca total da planta, determinada a partir da divisão da massa fresca e seca de todas as ordens de cladódios, por hectare, pelo período de avaliação; taxa de mortalidade da planta, determinada a partir da divisão de número de plantas mortas pelo total de plantas presentes na área útil de cada tratamento.

3.2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados conforme a sua natureza, submetendo-os à análise de variância, teste de comparação de médias e análise descritiva. Para comparação entre as diferentes frequências de corte e métodos de irrigação procedeu-se análise de variância, comparados pelo teste de Tukey, a nível de 1 e 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS, 2002.

$$\text{Modelo 2: } Y_{ijk} = \mu + B_k + S_i + \alpha_{ik} + FC_j + (SI \times FC_{ij}) + \varepsilon_{ijk},$$

Onde Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a constante geral; B_k é o efeito aleatório do bloco; S_i é o efeito do sistema de irrigação; α_{ik} é o efeito do erro da parcela; FC_j é o efeito da frequência de corte; $(SI \times FC_{ij})$ é o efeito fixo da interação entre sistema de irrigação e frequência de corte; ε_{ijk} efeito do erro aleatório.

Para as variáveis que não ocorreu interação significativa ($P > 0,05$) entre frequências de corte e sistema de irrigação, procedeu-se a análise de regressão para os fatores individualmente, com discussão dos efeitos lineares e quadráticos que marcaram as relações entre as variáveis.

Durante o ensaio experimental (24 meses), realizou-se quatro colheitas na frequência de corte de 6 meses, duas colheitas nas frequências de corte de 9 e 12 meses e uma colheita na frequência de corte de 18 meses. As análises foram realizadas utilizando-se as médias das mensurações obtidas nas respectivas frequências de corte.

3.3 Resultados e discussão

Verificou-se que ocorreram diferenças ($P < 0,05$) para número de cladódios de segunda e terceira ordem, número de cladódios total por planta e número de cladódios total colhível por planta, tanto em relação a frequência de corte quanto para sistema de irrigação (Tabelas 10 e 11). Já o número de cladódios de primeira ordem apresentou efeito ($P < 0,05$) apenas em relação ao sistema de irrigação (Tabela 11). Não foram detectadas diferenças ($P > 0,05$) para número de cladódios de quarta e quinta ordem nos dois fatores avaliados.

Houve efeito de interação ($P < 0,05$) dos fatores de frequência de corte e sistema de irrigação apenas para o percentual de cladódios colhível (PercCTColh) (Tabela 12).

O número de cladódios de primeira ordem (NCPO) apresentou efeito linear positivo na medida que o intervalo de corte aumentou, com valores observados entre 3,58 e 3,81 cladódios planta⁻¹ (Tabela 10), porém não houve diferença ($P > 0,05$) entre eles.

Seja analisando os efeitos da frequência de corte (Tabela 10) ou sistema de irrigação (Tabela 11), o número de cladódios de primeira ordem foi sempre inferior aos de segunda ordem (NCSO), com exceção do obtido na frequência de corte de 9 meses, em que o NCPO foi superior ao NCSO. Esses números refletem a provável estabilização da planta quanto à emissão de artículos de primeira ordem, a qual a partir deste momento a planta prioriza a emissão dos cladódios superiores (RAMOS et al., 2011), além disso, essa ordem de cladódio passa a

concorrer por luz, que é afetada pela expansão dos artículos superiores, reduzindo a penetração da radiação solar na ordem de cladódio inferior, inibindo a emissão de novos brotos nesta parte da planta. Para Silva et al. (2010), isso também ocorre pelo fato dos artículos primários serem originados de um único cladódio (cladódio base ou mãe), diferente dos artículos secundários, os quais surgem por meio de novas brotações de vários cladódios, neste caso, da primeira ordem.

Tabela 10 - Valores médios de número de cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte

Variável	Frequência de Corte (meses)				EPM	P-valor	Equação
	6	9	12	18			
NCPO	3,58	3,65	3,71	3,81	0,09	0,3577	$Y=3,67$
NCSO	3,64b	3,51b	4,53a	5,08a	0,18	<0,0001	$Y=2,66643+0,1356x$ $R^2=33$
NCTO	1,38ab	1,13b	1,86ab	2,26a	0,25	0,0106	$Y=1,1836-0,0091x+0,0039x^2$ $R^2=10$
NCQO	0,11	0,09	0,17	0,09	0,58	0,6706	$Y=0,12$
NCQuO	0,002	0,002	0,02	-	0,007	0,3214	$Y=0,005$
NCTotal	8,72bc	8,37c	10,28ab	11,24a	0,45	<0,0001	$Y=6,9429+0,2409x$ $R^2=18$
NCTcolh	5,14bc	4,72c	6,58ab	7,43a	0,41	<0,0001	$Y=3,47+0,222x$ $R^2=71$

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. r^2 – coeficiente de determinação. NCPO = Número de cladódios de primeira ordem (cladódios planta⁻¹); NCSO = Número de cladódios de segunda ordem (cladódios planta⁻¹); NCTO = Número de cladódios de terceira ordem (cladódios planta⁻¹); NCQO = Número de cladódios de quarta ordem (cladódios planta⁻¹); NCQuO = Número de cladódios de quinta ordem (cladódios planta⁻¹); NCTotal = Número de cladódios total (cladódios planta⁻¹); NCTcolh = Número de cladódios total colhível (cladódios planta⁻¹).

Vale salientar que o maior número de cladódios primários é importante já que ele apresenta relação com o índice de área de cladódio da planta (IAC), principalmente o IAC remanescente após o corte, que possibilita ampliar a área fotossinteticamente ativa (RFA) e por conseguinte maior produção de biomassa total colhível. Além disso, os cladódios de primeira ordem conferem melhor estrutura a planta, o que é desejável, já que é essa parte que irá sustentar toda biomassa produzida por meio das ordens de cladódios superiores (PINHEIRO et al., 2014), apresentando também importante função na distribuição de nutrientes e água para os demais órgãos da planta (PEREIRA et al., 2015).

Em relação aos efeitos do sistema de irrigação no NCPO, observa-se que não houve diferença ($P>0,05$) entre os resultados obtidos no sistema de aspersão convencional e micro spray jet (Tabela 11), os quais apresentaram os maiores valores, 3,95 e 3,73 cladódios planta⁻¹, respectivamente, mas no micro spray jet os valores foram semelhantes aos observados nos sistemas de microaspersão (3,54 cladódios planta⁻¹) e gotejamento superficial (3,51 cladódios planta⁻¹).

Verificou-se que o número de cladódios de segunda ordem (NCSO), o número de cladódios total (NCTotal) e o número de cladódios colhíveis (NCTColh) ajustaram-se de forma linear positiva ao aumento no intervalo de corte da palma forrageira (Tabela 10). Esses resultados mostram o efeito positivo do maior tempo entre colheitas para produção de número total de cladódios na planta, o que já é esperado, pois o maior período entre os cortes possibilita a emissão de novas brotações pela planta, especialmente em cultivos intensivos, com aporte contínuo de água e de nutrientes, o que ocorreu na área experimental da presente pesquisa.

Já o número de cladódios de terceira ordem (NCTO) respondeu de forma quadrática a diminuição da frequência de corte (Tabela 10), o qual estimou-se por meio do modelo ajustado que o valor mínimo para esta variável alcançou 1,18 cladódio planta⁻¹ aos 2,47 meses.

Os resultados obtidos neste estudo foram inferiores aos encontrados por Rocha et al. (2017), onde, aos 4, 8, 12 e 16 meses de intervalo de corte obtiveram um total de cladódios por planta de 8,2, 14,0, 14,9 e 19,7, respectivamente. Ambas pesquisas adotaram o sistema de cultivo irrigado, porém diferiram na quantidade de plantas por hectare, sendo 70.000 no presente estudo e 50.000 na pesquisa realizada pelos autores. Neste caso, é provável que o menor adensamento utilizado pode ter influenciado positivamente no número de cladódios por planta, comportamento este que foi confirmado por Silva et al. (2014a), que, ao avaliarem os efeitos nas características produtivas da palma forrageira em diferentes adensamentos (10.000, 20.000, 40.000 e 80.000), constataram que houve decréscimo linear no número de cladódios por planta nas variedades Redonda e Gigante em função do aumento do adensamento.

Com relação ao efeito do sistema de irrigação para o número de cladódios de segunda ordem (NCSO), o maior valor ocorreu na aspersão convencional, 4,92 cladódios por planta⁻¹, enquanto os outros sistemas apresentaram resultados semelhantes ($P < 0,01$) entre si (Tabela 11).

Com relação ao efeito do sistema de irrigação na variável NCTotal, observou-se que os maiores valores foram obtidos no sistema de aspersão convencional, 11,46 cladódios planta⁻¹, e no micro spray jet (10,02 cladódios planta⁻¹), não havendo diferença ($P > 0,05$) entre esses (Tabela 11). O sistema de microaspersão apresentou 9,39 cladódios planta⁻¹, enquanto o gotejamento superficial obteve 7,37 cladódios planta⁻¹, resultados que foram semelhantes.

Ao avaliar as características morfométricas da palma Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob diferentes lâminas e intervalos de irrigação com água salina, Fonseca et al. (2019) obtiveram, no primeiro ciclo de cultivo (365 dias), média de 9,94 cladódios totais por planta, com valores variando, conforme os tratamentos, entre 8,63 e 11,29 cladódios planta⁻¹. Esses

resultados foram próximos aos encontrados na presente pesquisa, porém considerando os valores obtidos no segundo ciclo de cultivo o estudo realizado pelos autores apresentou maior número de cladódios por planta, variando de 9,58 a 15,88. A diferença dos resultados entre os estudos pode ser explicada pelo fato da presente pesquisa ter utilizado os dados referente a média de número de cladódios obtidas de todos os ciclos de cultivos (nas respectivas frequências de corte), não havendo avaliação por ciclo de cultivo, que, notadamente, ocorre evolução não só no número de cladódios na planta nos ciclos subsequentes a primeira colheita, mas também em outras características morfológicas, como IAC, resultado este constatado na própria pesquisa realizada pelos referidos autores.

Tabela 11 - Valores médios de número de cladódios de palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação

Variável	Sistema de irrigação				EPM	P-valor
	1	2	3	4		
NCPO	3,51b	3,54b	3,73ab	3,95a	0,09	0,0041
NCSO	3,61b	4,01b	4,22b	4,92a	0,18	<0,0001
NCTO	0,59b	1,76a	1,91a	2,38a	0,25	<0,0001
NCQO	0,02	0,09	0,16	0,20	0,58	0,1468
NCQuO	-	-	0,01	0,02	0,007	0,3786
NCTotal	7,37c	9,39bc	10,02ab	11,46a	0,45	<0,0001
NCTcolh	4,22c	5,85b	6,28ab	7,51a	0,41	<0,0001

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. NCPO = Número de cladódios de primeira ordem (cladódios planta⁻¹); NCSO = Número de cladódios de segunda ordem (cladódios planta⁻¹); NCTO = Número de cladódios de terceira ordem (cladódios planta⁻¹); NCQO = Número de cladódios de quarta ordem (cladódios planta⁻¹); NCQuO = Número de cladódios de quinta ordem (cladódios planta⁻¹); NCTotal = Número de cladódios total (cladódios planta⁻¹); NCTcolh = Número de cladódios total colhível (cladódios planta⁻¹).

O número de cladódios total colhível (NCTColh) talvez seja a variável mais importante em relação a quantificação dos cladódios produzidos, já que refere-se à parcela da planta que realmente é colhida, ou seja, que representa a biomassa final produzida, a qual será fornecida aos animais, ou mesmo, como material genético a ser utilizado em novos plantios.

Com relação aos diferentes sistemas de irrigação, constatou-se que o maior NCTcolh ocorreu com o uso da aspersão convencional, 7,51 cladódios planta⁻¹, seguido do sistema micro spray jet (6,28 cladódios planta⁻¹), valores que não apresentaram diferenças ($P>0,05$) entre si. Por outro lado, o NCTcolh observado no micro spray jet não diferiu do valor obtido no sistema de microaspersão (5,85 cladódios planta⁻¹). O gotejamento superficial apresentou o menor número total de cladódios colhível, 7,37 cladódios planta⁻¹, resultado que diferiu ($P<0,01$) dos observados nos demais sistemas de irrigação avaliados (Tabela 11).

De acordo com os resultados observados para NCPO, NCSO, NCTO, NCTotal e NCTcolh, para efeito de sistema de irrigação, é possível perceber que existe uma correlação positiva entre essas variáveis. A sequência do maior para o menor valor obtido para NCPO nos respectivos sistema de irrigação, se repetiu nas demais ordens de cladódios, no NCTotal e NCTcolh da planta (Tabela 11). Os valores para essas cinco variáveis foram obtidas, de forma decrescente, pela aspersão convencional, micro spray jet, microaspersão e gotejamento superficial.

Essa constatação é relevante pois indica a importância em proporcionar condições adequadas de cultivo da palma forrageira logo após o seu plantio, no estágio inicial de desenvolvimento, possibilitando assim maior vigor de brotação e, por conseguinte, maior número de cladódios de primeira ordem, e na sequência, maiores NCSO, NCTO e NCTot e NCTcolh por planta. Como existe correlação positiva entre número de cladódios e o índices de área de cladódio (IAC), e esta característica morfológica apresenta influência positiva sobre variáveis de produtividade de massa fresca e seca (SILVA et al., 2020), é de se esperar, ao final do ciclo produtivo, maiores produtividades.

Ao avaliar o percentual de cladódios total colhível (PercCTColh) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, observou-se efeito de interação dos fatores frequência de corte e sistema de irrigação.

Verificou-se que houve efeito quadrático ($P < 0,05$) da frequência de corte para PercCTColh quando se utilizou os sistemas de irrigação por gotejamento superficial e micro spray jet, os quais, por meio do modelo ajustado, apresentaram valores mínimos estimados de 42,99% e 55,33%, respectivamente, aos 8,59 e 7,86 meses (Tabela 12). Já para os sistema de irrigação por microaspersão e aspersão convencional houve efeito linear positivo na medida em que diminuiu a frequência de corte, ou seja, quando se aumentou o intervalo entre colheitas (Tabela 12).

Quanto ao efeito do sistema de irrigação no PercCTColh, houve significância apenas na combinação com a frequência de corte de 12 meses, onde os maiores valores obtidos ocorreram no sistema de aspersão convencional (69,18%), microaspersão (57,33%) e micro spray jet (55,40%), os quais não diferiram ($P > 0,05$) entre si. O PercCTColh obtido no gotejamento superficial (43,39%) nesta mesma frequência de corte, não diferiu dos observados nos sistema de irrigação microaspersão e micro spray jet (Tabela 12).

A produção de massa fresca nos cladódios de segunda ordem (PMFCSO) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana foi influenciada quando se avançou no tempo entre

colheitas, apresentando comportamento linear ($P < 0,01$) crescente (Tabela 13), em que os valores médio obtidos nas frequências de corte de 12 meses (132,6 toneladas ha^{-1}) e 18 meses (130,8 toneladas ha^{-1}) apresentaram diferenças ($P < 0,01$) para 6 e 9 meses.

Tabela 12 - Valores médios do percentual de cladódio total colhível da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte

Sistema de Irrigação (SI)	PercCTColh (% por planta)				EPM	P-valor			Equação
	Frequência de Corte (FC; meses)					SI	FC	SI*FC	
	6	9	12	18					
1	43,93b	45,35b	43,39Bb	61,94a	3,20	<0,0001	<0,0001	0,0480	Y=60,61-3,98x+0,22x ² R ² =71
2	52,74	53,02	57,33AB	66,40					Y=43,80+1,21x R ² =45
3	55,29	57,52	55,40AB	68,18					Y=65,14-2,33x+0,14x ² R ² =40
4	59,32ab	50,38b	69,18Aa	66,11ab					Y=50,77+0,9313x R ² =21

Médias seguidas da mesma letra na coluna (maiúscula) e linha (minúscula) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). EPM = Erro padrão da média. r^2 – coeficiente de determinação. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. PercCTColh = Percentual de cladódios total colhível (em %).

Para os diferentes sistemas de irrigação para a variável produção de massa fresca nos cladódios de segunda ordem (PMFCSO), o maior valor foi obtido no sistema de aspersão convencional, perfazendo uma média total de 121,57 toneladas ha^{-1} (Tabela 14), o que significou diferenças percentuais a maior de 16,5%, 26,1% e 28,4% das produções médias alcançadas nos sistemas de microaspersão (104,2 toneladas ha^{-1}), gotejamento superficial (96,35 toneladas ha^{-1}) e micro spray jet (94,62 toneladas ha^{-1}), respectivamente.

A maior PMFCSO obtida na aspersão convencional pode estar relacionada a sua forma de aplicação da água no solo. O emissor deste sistema de irrigação aplica gotas de água sobre a planta e na superfície do solo na forma de chuva (BISCARO, 2009), com umedecimento da área total a qual está sendo irrigada. Como a palma forrageira apresenta sistema radicular superficial, com predominância na camada entre 0 a 20 cm do solo, e caracteriza-se pelo desenvolvimento horizontal das raízes, em forma de rede e com ramificações que podem chegar até 1,5 a 1,8 metros de distância da planta (SNYMAN, 2004) ou mesmo entre 4 a 8 metros, segundo Hills (1995), é provável que a maior abrangência da área irrigada por este sistema tenha possibilitado o incremento de biomassa de raiz da palma.

Conforme relatado por Shao et al. (2008), a atividade do sistema radicular, tanto em expansão quanto em profundidade, sofre oscilações a depender da quantidade de umidade no solo. Essa hipótese é reforçada pelos resultados obtidos por Edvan et al. (2013), que ao avaliarem o acúmulo de biomassa e o crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita, constataram que a presença de umidade no solo apresenta relação direta com o desenvolvimento radicular. De acordo com os resultados obtidos, os autores concluíram que a biomassa seca da raiz

teve acréscimo no peso em virtude da presença de chuva e ao seu desenvolvimento ao longo do tempo, e efeito contrário com ausência de precipitação.

Sendo assim, diferentemente do gotejamento superficial, que limita a área umedecida próximo à planta, a irrigação feita por meio da aspersão convencional pode ter impactado positivamente na formação e manutenção, ao longo de todo período experimental, de um sistema radicular da palma forrageira mais estruturado, de maior densidade de raiz e de distribuição no perfil do solo, tudo isso de forma permanente, refletindo na maior capacidade de absorção de água e nutrientes, resultando assim em maior produção de massa fresca no cladódios de segunda ordem (PMFCSO), a qual representou neste estudo 67,5% da biomassa da planta, portanto, a maior proporção entre as ordens de cladódios colhidos.

Houve efeito linear ($P < 0,05$) decrescente da frequência de corte para as variáveis taxa de produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem e total (TPMFCSO e TPMFTotal) (Tabela 13).

Neste estudo, a taxa de produção de massa fresca e seca da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana tem grande relevância, haja vista que essas variáveis representam a produção média diária de forragem alcançada nos respectivos ciclos de cultivo, os quais foram definidos nesta pesquisa pelo intervalo entre colheitas. Desta forma, mesmo apresentando ciclos distintos (6, 9, 12 e 18 meses), essa variável permite realizar comparativos entre esses, tendo como base a produção média diária da massa produzida.

Com relação ao efeito dos sistemas de irrigação na TPMFCSO, observou-se que os sistemas de aspersão convencional e microaspersão apresentaram os maiores valores, 377,19 e 324,60 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, não havendo diferenças significativas ($P > 0,05$) entre esses. Os valores obtidos na taxa de produção de massa fresca dos cladódios secundários no gotejamento superficial e micro spray jet não diferiram ($P > 0,05$) do obtido no sistema de microaspersão (Tabela 14).

Para as taxas de produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (TPMFCTO), os maiores valores encontrados foram observados nos sistemas de aspersão convencional (159,90 kg ha⁻¹ dia⁻¹) e no micro spray jet (108,57 kg ha⁻¹ dia⁻¹), não apresentando diferenças estatísticas entre eles ($P > 0,05$). Também não houve diferença significativa entre os valores obtidos no micro spray jet e microaspersão, sendo que neste último observou-se uma TPMFCTO de 98,75 kg ha⁻¹ dia⁻¹, mas que o dobro do valor obtido no sistema de gotejamento superficial (Tabela 14), que foi de 40,18 kg ha⁻¹ dia⁻¹, resultados que diferiram entre si ($P < 0,01$).

Tabela 13 - Valores médios de produção massa fresca, taxa de produção de forragem e peso médio dos cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte

Variável	Frequência de Corte (meses)				EPM	P-valor	Equação
	6	9	12	18			
PMFCSO	71146,00b	82131,00b	132633,00a	130873,00a	4184,67	<0,0001	$Y=43544,71+539,19x$ $R^2=49$
PMFCQO	1050,88	1305,44	2855,06	1771,44	105,15	0,5995	$Y=1745,70$
PMFCQuO	29,75	56,06	238,44	-	7,13	0,4055	$Y=81,06$
TPMFCSO	389,84a	300,08b	363,38a	239,04c	14,53	<0,0001	$Y=382,97+0,69x-0,46x^2$ $R^2=30$
TPMFCTO	124,49	78,19	96,78	107,93	14,83	0,1752	$Y=101,85$
TPMFCQO	5,76	4,77	7,82	3,24	2,71	0,7032	$Y=5,40$
TPMFCQuO	0,16	0,15	0,65	-	0,3	0,4624	$Y=0,24$
TPMFTotal	520,24a	383,18bc	468,63ab	350,21c	27,22	0,0002	$Y=592,03-17,99x+0,28x^2$ $R^2=11$
PesoMCSO	280,12d	336,70c	424,93a	369,54b	7,79	<0,0001	$Y=-35,19+65,27x-2,37x^2$ $R^2=59$
PesoMCQO	-	235,79	-	-	-	-	-

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. r^2 – coeficiente de determinação. PMFCSO = Produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem (kg ha-1); PMFCQO = Produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg ha-1); PMFCQuO = Produção de massa fresca de cladódios de quinta ordem (kg ha-1); TPMFCSO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem (kg ha-1 dia-1); TPMFCTO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (kg ha-1 dia-1); TPMFCQO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg ha-1 dia-1); TPMFCQuO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de quinta ordem (kg ha-1 dia-1); TPMFTotal = Taxa de produção de massa fresca de cladódios total (kg ha-1 dia-1); PesoMCSO = Peso médio de cladódios de segunda ordem (g por cladódio-1); PesoMCSO = Peso médio de cladódios de segunda ordem (g por cladódio-1); e PesoMCQO = Peso médio de cladódios de quarta ordem (g por cladódio-1).

Na avaliação do efeito dos sistemas de irrigação sobre a variável TPMFTotal, a aspersão convencional obteve o maior valor, 548,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Tabela 14), apresentando diferença (P<0,01) para os valores observados nos demais sistemas de irrigação avaliados.

Para as variáveis morfológicas e produtivas avaliadas, o sistema de irrigação por aspersão convencional apresentou maiores valores para número de cladódios de segunda ordem (NCSO), produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem (PMFCSO) e taxa de produção de massa fresca total na planta (TPMFTotal). Conforme descrito no capítulo anterior, esse sistema de irrigação também obteve o maior valor para índice de área de cladódios (IAC), o que indica haver correlação entre estas características.

Esses resultados se assemelham aos encontrados por Dubeux Junior et al. (2006) e Oliveira Junior et al. (2009), os quais relataram associação entre o índice de área do cladódio de clones de palma forrageira com características estruturais, como o número de cladódios presentes na planta, sendo essa a maior magnitude de correlação entre as variáveis analisadas pelos referidos autores.

Tabela 14 - Valores médios de produção de massa fresca, taxa de produção de massa fresca e peso médio dos cladódios da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação

Variável	Sistema de irrigação				EPM	P-valor
	1	2	3	4		
PMFCSO	96352,00b	104236,00b	94624,00b	121571,00a	4184,67	<0,0001
PMFCQO	312,00	1268,69	1881,38	3520,69	105,15	0,1600
PMFCQuO	-	-	64,87	259,38	7,13	0,2875
TPMFCSO	295,17b	324,60ab	295,37b	377,19a	14,53	0,0005
TPMFCTO	40,18c	98,75b	108,57ab	159,90a	14,83	<0,0001
TPMFCQO	1,14	4,16	5,96	10,32	2,79	0,1446
TPMFCQuO	-	-	0,26	0,71	0,30	0,3141
TPMFTotal	336,49b	427,50b	410,15b	548,12a	27,22	<0,0001
PesoMCSO	380,11a	366,79ab	316,10c	348,28b	7,79	<0,0001
PesoMCQO	-	202,22ab	156,53b	271,007a	22,68	0,0083

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P>0,05). EPM = Erro padrão da média. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. PMFCSO = Produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem (kg por ha⁻¹); PMFCQO = Produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg por ha⁻¹); PMFCQuO = Produção de massa fresca de cladódios de quinta ordem (kg por ha⁻¹); TPMFCSO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de segunda ordem (kg por ha⁻¹ dia⁻¹); TPMFCTO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (kg por ha⁻¹ dia⁻¹); TPMFCQO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg ha⁻¹ dia⁻¹); TPMFCQuO = Taxa de produção de massa fresca de cladódios de quinta ordem (kg ha⁻¹ dia⁻¹); TPMFTotal = Taxa de produção de massa fresca de cladódios total (kg ha⁻¹ dia⁻¹); PesoMCSO = Peso médio de cladódios de segunda ordem (g por cladódio⁻¹); e PesoMCQO = Peso médio de cladódios de quarta ordem (g por cladódio⁻¹).

As variáveis produção de massa fresca de cladódio de terceira ordem e total por planta (PMFCTO e PMFTotal) e peso médio dos cladódios de terceira ordem e total por planta

(PMCTO e PesoMCTotal) apresentaram efeito de interação ($P < 0,05$) entre frequência de corte e sistema de irrigação (Tabela 15).

Verificou-se que a produção de massa fresca de cladódio de terceira ordem (PMFCTO) respondeu de forma quadrática a diminuição da frequência de corte em todos os sistemas de irrigação avaliados (Tabela 15). Por meio do modelo ajustado, estimou-se que a produção mínima de massa fresca de cladódio de terceira ordem (PMFCTO) foi de $4,7 \text{ t ha}^{-1}$ (gotejamento superficial), $21,8 \text{ t ha}^{-1}$ (micro spray jet) e $22,6 \text{ t ha}^{-1}$ (microaspersão), resultados alcançados aos 10,0 meses, 8,64 meses e 8,98 meses, respectivamente. Já para o sistema de aspersão convencional, o valor máximo estimado para esta variável foi de $79,44 \text{ t ha}^{-1}$, ocorrendo aos 16,31 meses.

Em relação a PMFCTO, observou-se efeito ($P < 0,05$) das frequências de corte sobre esta variável apenas no sistema de aspersão convencional, cujo maior valor foi obtido na frequência de corte de 12 meses (Tabela 15).

Para produção de massa fresca de cladódio total por planta (PMFTotal), houve efeito ($P < 0,05$) linear crescente associado aos sistemas de gotejamento superficial, microaspersão e micro spray jet. Já o sistema de aspersão convencional apresentou comportamento quadrático, atingindo valor máximo de $242,39 \text{ toneladas de MFha}^{-1}$ aos 15,21 meses.

O valor obtido para PMFTotal neste estudo foi inferior ao observado por Rocha et al. (2017), o qual, aos 12 meses, em sistema irrigado, a variedade Orelha de Elefante Mexicana produziu 566 t ha^{-1} . A diferença nos resultados pode ser explicada pela intensidade de corte adotada, que na pesquisa realizada pelos autores, a colheita foi efetuada a partir dos cladódios de primeira ordem, enquanto que no presente estudo os cladódios desta ordem foram preservados na planta após o corte. Considerando que na presente pesquisa esses representaram 30,82% a 56,61% dos cladódios existentes na planta, conforme os resultados observados nas diferentes frequências de corte e sistema de irrigação (Tabela 12), é provável que, caso os cladódios primários fossem colhidos, a produção de massa fresca total alcançasse valores próximos aos observados pelos referidos autores.

Vale ainda ressaltar que os resultados obtidos na presente pesquisa se referem à média das mensurações realizadas para as variáveis estudadas nos respectivos ciclos de cultivo, ou seja, representam a média dos dados obtidos no primeiro, segundo, terceiro e quarto ciclos de cultivo para a frequência de corte de 6 meses (4 cortes em 24 meses de período experimental), primeiro e segundo ciclos nas frequências de corte de 9 e 12 meses, enquanto

que a frequência de corte de 18 meses, os dados foram representados por um única mensuração, obtidos em apenas um ciclo de cultivo.

Apesar de não fazer parte das análises realizadas no presente estudo, observou-se incremento de produção nos ciclos subsequentes em cada frequência de corte avaliada, com exceção da FC de 18 meses, a qual realizou-se apenas uma colheita durante o período experimental. Como exemplo, a produção de massa fresca total (PMFTotal) na frequência de corte de 12 meses passou no primeiro ciclo de cultivo de 22,92 t ha⁻¹, 61,4 t ha⁻¹, 57,51 t ha⁻¹ e 128,6 t ha⁻¹, para 208,10 t ha⁻¹, 255,47 t ha⁻¹, 227,05 t ha⁻¹ e 407,33 t ha⁻¹ no segundo ciclo de cultivo, respectivamente, nos sistemas de gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional.

Ao avaliar as características morfométricas e fisiológicas da palma Gigante sob diferentes configurações de lâmina e frequência de irrigação com água salina, Fonseca et al. (2019) obtiveram no segundo ciclo de cultivo (365 dias após colheita) produtividades entre 103,75 e 218,20 t MFha⁻¹. Esses valores foram próximos aos obtidos na presente pesquisa, porém com diferença expressiva encontrada apenas nos resultados da interação entre o sistema de aspersão convencional e frequência de corte de 12 meses, sendo este maior do que os encontrados na pesquisa realizada no Semiárido baiano.

Houve efeito quadrático ($P < 0,05$) da frequência de corte para as variáveis peso médio dos cladódios de segunda ordem (PesoMCSO), onde o valor máximo obtido no modelo ajustado desta variável foi de 414,63 g por cladódio⁻¹, alcançado aos 13,74 meses de cultivo (Tabela 13).

Os menores PesoMCSO observados nas frequências de corte de 6 e 9 meses podem ser explicados pelo menor tempo disponível para o desenvolvimento da planta nesses ciclos de cultivo. Fisiologicamente, ao atingir sua maturidade, as aréolas (ou gemas) presentes no cladódio emitem novas brotações, entretanto, o crescimento vegetativo desses artículos, que continua a ocorrer, desacelera, já que é necessário dispendir água e nutrientes para uma maior quantidade de biomassa existente na planta. Portanto, é provável que os cladódios não tenham atingido seu peso máximo esperado nos ciclos de cultivo mais curtos.

Tabela 15 - Valores médios de variáveis de produção da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função do efeito de interação entre frequência de corte e sistema de irrigação

PMFCTO									
Sistema de Irrigação (SI)	Frequência de Corte (FC; meses)				EPM	P-valor			Equação
	6	9	12	18		SI	FC	SI*FC	
1	9390	11950	1475,50B	33705	10331	<0,0001	<0,0001	0,0361	Y=49059,64-8838,13x+441,03x ² R ² =53
2	27239	19247	28588,00B	53154					Y=53298,93-6837,00x+380,68x ² R ² =41
3	24100	26915	24757,00B	74492					Y=66248,95-10278,64x+594,54x ² R ² =45
4	30150,0b	27491,00b	86484,00Aa	75016,00ab					Y=-65402,64+17764,61x-544,71x ² R ² =41
PMFTotal									
1	73393,00b	89161,00ab	115516,00Bab	165106,00a	17433	<0,0001	<0,0001	0,026	Y=22911,50+7811,77x R ² =82
2	103120	100498	158440,00B	188190					Y=48760,79+7893,47x R ² =58
3	88498,00b	113542,00ab	142279,00Bab	192232,00a					Y=36387,07+8688,75x R ² =51
4	114782,00b	116372,00b	267795,00Aa	221417,00a					Y=-165452,41+53657,15x-1764,47x ² R ² =53
PesoMCTO									
1	252,39ab	339,27ABa	171,03Bb	378,29a	29,41	0,007	<0,0001	0,0293	Y=503,35-50,01x+2,36x ² R ² =25
2	264,61ab	217,48Bb	190,97Abb	358,84a					Y=565,28-68,31x+3,15x ² R ² =54
3	216,55a	278,29ABa	213,76Abb	361,74a					Y=310,48-20,27x+1,27 ² R ² =54
4	225,37b	368,28Aab	323,39Aab	397,71a					Y=37,35+42,10x-1,25x ² R ² =50
PesoMCTTotal									
1	297,64Ac	356,56Abc	471,57Aa	375,45Ab	14,17	<0,0001	<0,0001	0,0027	Y=-101,39+83,02x-3,13x ² R ² =77
2	283,65Ac	297,32Abc	359,53Bab	392,82Aa					Y=224,32+9,69x R ² =72
3	229,66Ab	302,45Aa	341,97Ba	333,83Aa					Y=-4,24+49,17x-1,69 ² R ² =84
4	261,95Ab	333,46Aab	375,0Ba	378,79Aa					Y=253,51+9,05x R ² =50

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P>0,05). EPM = Erro padrão da média. r² = coeficiente de determinação. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. PMFCTO = Produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (kg por ha⁻¹); PMFTotal = Produção de massa fresca de cladódios Total (kg por ha⁻¹); PesoMCTO = Peso médio de cladódios de terceira ordem (g por cladódio⁻¹); e PesoMCTTotal = Peso médio de cladódios Total (g por cladódio⁻¹).

O peso médio dos cladódios encontrados no presente estudo foram inferiores aos relatados por Rocha et al. (2017), onde em um palmar com 50 mil plantas por ha⁻¹, utilizando lâmina de irrigação de 16,4 mm a cada 15 dias, com colheita realizada com intervalos de corte de 4, 8, 12 e 16 meses, obtiveram média de pesos dos cladódios de palma cv. Orelha de Elefante Mexicana de 0,510 kg, 0,465 kg, 0,761 kg e 0,777 kg, respectivamente. Apesar das frequências de corte se aproximarem e terem sido conduzidas em cultivos irrigados, a diferença provável dos resultados deve-se ao fato que no presente estudo o peso médio foi definido por ordem de cladódios, neste caso, cladódios secundários, desconsiderando os artículos primários, diferente do estudo conduzido pelos autores, em que calculou-se a média de peso de todos os cladódios da planta, inclusive de primeira ordem, os quais são normalmente mais desenvolvidos e mais pesados que os demais.

Quanto ao efeito do sistema de irrigação no PesoMCSO, os maiores valores obtidos ocorreram no gotejamento superficial, 380,11 gramas por cladódio⁻¹ e no sistema de microaspersão (366,79 gramas por cladódio⁻¹), resultados que foram semelhantes ($P>0,05$) entre si (Tabela 14). O PesoMCSO obtido no sistema de aspersão convencional foi de 348,28 gramas por cladódio⁻¹, valor que não diferiu ($P>0,05$) do obtido no sistema microaspersão, porém apresentou diferença significativa para o resultado obtido no sistema de micro spray jet (316,10 gramas por cladódio⁻¹).

Os maiores pesos dos cladódios de segunda ordem observados nos sistemas de gotejamento superficial e de microaspersão apontam para uma provável relação com o número de cladódios de segunda ordem na planta, já que nesses sistemas de irrigação foram observados os menores números de cladódios secundários entre os demais avaliados, sendo 3,61 no gotejamento superficial e 4,01 no microaspersão (Tabela 11). Neste caso, é provável que a planta tenha priorizado utilizar reservas orgânicas, água e nutrientes para o desenvolvimento dos cladódios, em detrimento a emissão de novas brotações, refletindo no peso médio dos cladódios.

Observou-se efeito quadrático ($P<0,05$) da frequência de corte para peso médio dos cladódios de terceira ordem (PesoMCTO) nos diferentes sistemas de irrigação (Tabela 15). Nos sistemas de gotejamento superficial, micro e microaspersão, o PesoMCTO mínimo dos cladódios de terceira ordem foram de 237,92 g cladódio⁻¹, 229,34 g cladódio⁻¹ e 195,33 g cladódio⁻¹, respectivamente, alcançados aos 10,57 meses, 7,95 meses e 10,80 meses. Já no sistema de aspersão convencional, o valor máximo do PesoMCTO foi de 392,70 g cladódio⁻¹, aos 16,81 meses.

Nas frequências de corte de 9 e 12 meses o peso médio dos cladódios de terceira ordem (PesoMCTO) da palma forrageira diferiram entre os sistemas de irrigação (Tabela 15). Na frequência de corte de 9 meses, o PesoMCTO foi maior quando se utilizou o sistema de aspersão convencional e micro spray jet. Já na frequência de corte de 12 meses, os maiores valores para esta variável foram observadas na aspersão convencional, micro spray jet e microaspersão, resultados que diferiram do obtido no gotejamento superficial (Tabela 15).

Para peso médio do cladódio total (PesoMCTotal), houve efeito ($P < 0,05$) linear crescente na medida que se reduziu a frequência de corte quando associado aos sistemas de microaspersão e aspersão convencional (Tabela 15). Já os sistemas de gotejamento superficial e micros spray jet apresentaram comportamento quadrático, atingindo valores máximos de 449,71 g por cladódio⁻¹ e 353,70 g por cladódio⁻¹, respectivamente, aos 13,25 meses e 14,49 meses.

Para interação entre sistema de irrigação e frequência de corte, houve significância ($P < 0,05$) apenas na frequência de corte de 12 meses, em que o maior PesoMCTotal foi observado quando associado ao sistema de gotejamento superficial (471,57 g por cladódio⁻¹), apresentando diferença ($P < 0,05$) para os valores obtidos nos demais sistemas de irrigação (Tabela 15).

Os valores médios de PesoMCTotal variaram majoritariamente entre 229,66 e 392,82 g por cladódio⁻¹ (Tabela 15), valores que foram inferiores aos obtidos por Lima et al. (2018) ao avaliarem o desenvolvimento de três variedades de palma forrageira com diferentes fontes de adubação orgânica. Os autores obtiveram peso médio dos cladódios da cv. Orelha de Elefante Mexicana de 951,86, 510,02 e 414,87 g por cladódio⁻¹, respectivamente, para os tratamentos com aplicação de esterco, ácido húmico e ácido fúvico. Essa superioridade de peso dos cladódios na planta encontrada no referido estudo pode ser explicada por dois diferentes manejos utilizados nos respectivos experimentos. Um se refere à densidade de plantio, sendo 20.000 plantas ha⁻¹ na pesquisa realizada pelos autores, enquanto no presente estudo utilizou-se 70.000 plantas ha⁻¹. De acordo com o relatado por Dubeux Junior et al. (2006), em função da maior superfície de solo explorada, área de cultivo com menor densidade tende a apresentar maior peso médio dos cladódios, comportamento este confirmado no estudo realizado Silva et al. (2014a). A outra diferença se refere à intensidade de corte adotada. Na pesquisa supracitada, os cladódios primários foram colhidos e considerados no cálculo desta variável, os quais tendem a apresentar maiores pesos quando comparados aos cladódios de ordens superiores. No presente estudo, o peso médio dos cladódios foi calculado considerando os cladódios segunda ordem em diante, já que os cladódios primários foram preservados na planta.

Apesar do teor de umidade na palma forrageira apresentar relevância, tanto no aspecto fisiológico da planta (reserva hídrica) quanto como fonte de água de qualidade aos animais, a quantidade de massa seca, e de nutrientes presentes nela, é que definem sua inserção em dietas de ruminantes, inclusive o seu percentual de participação nas mesmas.

A produção de massa seca por área é uma variável importante para se comparar agronomicamente as espécies forrageiras, principalmente, em condições semelhantes de ambiente e de cultivo. Some-se ainda que o conhecimento da produção de biomassa seca da forragem é a forma mais precisa para se calcular a capacidade de suporte forrageiro na propriedade rural, já que as formulações das dietas são realizadas com base na matéria seca dos alimentos, na forma de concentrado ou volumoso. Desta forma, é possível definir o tamanho das áreas de cultivos das forrageiras na fazenda, conforme necessidade do rebanho bovino, caprino ou ovino.

A produção de biomassa seca na palma forrageira pode variar em função de vários fatores, dentre eles estão: condições edafoclimáticas, genótipo, manejo de cultura, tratamentos culturais, sanidade da planta, dentre outros. Já o teor de matéria seca, apesar de apresentar diferenças entre genótipos, sofre maior influência em função da oferta hídrica, acumulando mais água conforme sua disponibilidade no solo (EDVAN et al., 2013).

Ao analisar o efeito dos sistemas de irrigação e frequências de cortes para a variável percentual de matéria seca, observou-se que em todas as ordens de cladódios e no total de cladódios na planta, o teor de MS ficou abaixo de 8,0% (Tabela 16 e Tabela 17).

Ao avaliar a produção da palma Gigante cultivada sob irrigação no sudoeste da Bahia, Fonseca et al. (2019) obtiveram percentual médio de matéria seca da biomassa colhida no primeiro ciclo de cultivo próximo aos encontrados neste estudo, 6,84% de MS, porém, no segundo ciclo, aos 365 dias após a última colheita, o teor médio de MS observado foi de 5,09%, bem abaixo do menor percentual encontrado na presente pesquisa, que ocorreu nos cladódios de segunda ordem, na frequência de corte de 6 meses, que foi 6,34% de MS (Tabela 18). Essa diferença encontrada nos resultados entre os estudos pode estar relacionada ao fato de que, na pesquisa conduzida pelos referidos autores, a irrigação foi realizada utilizando-se água salina ($3,6 \text{ dS m}^{-1}$), ou seja, com alta concentração de sais, o que pode ter acarretado na perda de água nos cladódios.

Houve comportamento quadrático ($P < 0,05$) da frequência de corte para a variável percentual de matéria seca dos cladódios de segunda ordem (PercMSCSO), sendo que o valor mínimo estimado pelo modelo ajustado foi de 6,56%, ocorrendo aos 6,72 meses. Já o

PercMSCTO apresentou comportamento linear crescente em função da diminuição da frequências de corte (Tabela 16).

Para os sistemas de irrigação, os maiores valores de PercMSCSO foram observados na micro spray jet (7,54%) e no gotejamento superficial (7,27%), resultados que não diferiram ($P>0,05$) entre si. Já os menores valores foram obtidos nos sistemas de aspersão convencional (6,55%) e microaspersão (6,65%), não havendo diferença ($P>0,05$) entre si (Tabela 18).

Para os PercMSCTO, os resultados foram muito parecidos aos obtidos para PercMSCSO, em que a aspersão convencional apresentou o menor percentual (6,75%), seguido do observado no sistema de microaspersão (6,95%), os quais não apresentaram diferença ($P>0,05$) entre si. Os PercMSCTO obtidos nos sistemas micro spray jet e gotejamento superficial foram de 7,47% e 7,42%, respectivamente, valores que não diferiram ($P>0,05$) ao observado no microaspersão (Tabela 18).

Quanto ao percentual de matéria seca da planta (PercMSPlanta), verificou-se resposta linear ($<0,01$) crescente ao aumento do intervalo entre colheitas (Tabela 16). O maior PercMSPlanta observado na frequência de corte de 18 meses já era esperado, já que o intervalo de colheita mais longo significa uma planta mais velha, a qual tende a elevar o seu teor de fibra, por meio do processo de lignificação, acarretando no aumento da matéria seca da planta. No entanto, diante da não significância entre os PercMSPlanta obtidos nas frequências de corte de 6, 9 e 12 meses, pode-se inferir que, até 12 meses de idade, não ocorre o aumento de carboidratos estruturais (carboidrato fibroso) na planta (Tabela 16).

Observou-se que para o efeito da irrigação no PercMSPlanta, os maiores valores foram obtidos no sistema micro spray jet (7,49%) e no gotejamento superficial (7,32%), resultados semelhantes ($P>0,05$) entre si. Os menores valores foram obtidos nos sistemas de aspersão convencional, 6,62%, e microaspersão, 6,73% (Tabela 18).

Os sistemas de aspersão convencional e microaspersão apresentaram os menores percentuais de matéria seca em todas as ordens de cladódios e na planta. Esses sistemas apresentam certa similaridade quanto ao tipo de emissor utilizado e forma de aplicação da água. Mesmo um pertencente ao método de irrigação localizada (microaspersão) e outro de aspersão (aspersão convencional), os emissores de ambos são considerados do tipo “aspensor”, mas com especificações técnicas diferentes, como vazão e raio de irrigação. Porém, os dois sistemas irrigam uma área mais abrangente do solo, diferentemente do gotejamento superficial, que limita o umedecimento mais próximo a planta. Com a área molhada mais ampla, é provável que, diante das melhores condições do ambiente do solo, tenha havido maior desenvolvimento

Tabela 16 - Valores médios de percentual de matéria seca, produção de massa seca e taxa de produção de massa seca por ordem de cladódios e total por planta da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função das diferentes frequências de corte

Variável	Frequência de Corte (meses)				EPM	P-valor	Equação
	6	9	12	18			
PercMSCSO	6,65b	6,97a	6,74b	7,66a	0,17	0,0004	$Y=7,12-0,11x+0,0078x^2$ $R^2=19$
PercMSCTO	6,34b	7,60a	6,70b	7,94a	0,15	<0,0001	$Y=5,97+0,10x$ $R^2=24$
PercMSCQO	-	8,01	-	-	-	-	-
PercMSplanta	6,57b	7,11b	6,71b	7,75a	0,16	<0,0001	$Y=6,90-0,07x+0,0065x^2$ $R^2=25$
PMSCSO	4640,31d	5673,81c	8776,50b	9916,81a	228,14	<0,0001	$Y=2052,84+462,13x$ $R^2=74$
PMSCTO	1392,36b	1599,56b	2142,31b	4626,63a	350,17	<0,0001	$Y=-692,15+278,44x$ $R^2=33$
PMSCQO	67,81	103,88	167,63	144,69	4,88	0,7088	$Y=120,97$
PMSCQuO	1,81	4,19	16,06	-	7,34	0,4135	$Y=5,52$
TPMSCSO	25,43a	20,73b	24,04a	18,11b	0,74	<0,001	$Y=27,77-0,51x$ $R^2=28$
TPMSCTO	7,63	5,85	5,87	8,45	0,93	0,1332	$Y=6,95$
TPMSCQO	0,37	0,38	0,45	0,27	0,18	0,8902	$Y=0,37$
TPMSCQuO	0,01	0,02	0,05	-	0,02	0,4633	$Y=0,02$

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. r^2 = coeficiente de determinação. PercMSCSO = Percentual de matéria seca nos cladódios de segunda ordem (%); PercMSCTO = Percentual de matéria seca nos cladódios de terceira ordem (%); PercMSCQO = Percentual de matéria seca nos cladódios de quarta ordem (%); PercMSCQuO = Percentual de matéria seca nos cladódios de quinta ordem (%); PercMSplanta = Percentual de matéria seca na planta (%); PMSCSO = Produção de massa seca de cladódios de segunda ordem (kg por ha^{-1}); PMSCTO = Produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (kg por ha^{-1}); PMSCQO = Produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg por ha^{-1}); PMFCQuO = Produção de massa fresca de cladódios de quinta ordem (kg por ha^{-1}); TPMSCSO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de segunda ordem (kg por planta $^{-1}$); TPMSCTO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de terceira ordem (kg ha^{-1} dia $^{-1}$); TPMFCQO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de quarta ordem (kg ha^{-1} dia $^{-1}$); TPMSCQuO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de quinta ordem (kg ha^{-1} dia $^{-1}$).

radicular da palma forrageira, com suprimento de água mais eficiente nestes sistemas, resultando em uma planta mais hidratada.

Essa hipótese é refoçada pelo fato desses mesmos sistemas de irrigação terem apresentado os maiores valores de espessura de cladódios de segunda ordem (Tabela 06), variável essa correlacionada com a capacidade de armazenamento de água pela planta (TAIZ;ZEIGER, 2013), ou seja, de reserva hídrica, que só ocorre caso haja oferta suficiente para que isso realmente aconteça.

Para as variáveis produção de massa seca de cladódio de segunda e terceira ordem (PMSCSO e PMSCTO), observou-se comportamento ($P < 0,01$) linear crescente na medida em que se reduziu a frequência de corte (Tabela 16). Com relação ao efeito dos sistemas de irrigação para estas mesmas variáveis, observa-se que os maiores valores obtidos ocorreram no sistema de irrigação por aspersão convencional, 7.909,69 e 3.631,81 kg, seguido do sistema micro spray jet, 7.085,00 e 2.736,19 kg, respectivamente para PMSCSO e PMSCTO (Tabela 18), não apresentando diferenças ($P > 0,05$) entre si.

A produção de massa seca total da planta (PMSTPlanta) apresentou efeito de interação entre os fatores de frequência de corte e sistema de irrigação, em que observa-se que houve efeito linear positivo para a PMSTPlanta na medida em que se aumentou o intervalo de colheita associado aos sistemas de irrigação por gotejamento superficial, microaspersão e micro spray jet (Tabela 17). Já o sistema aspersão convencional apresentou comportamento quadrático, atingindo valores máximos de 16,35 toneladas MSh^{-1} aos 16,98 meses.

Para interação entre sistema de irrigação e frequência de corte, houve significância ($P < 0,05$) apenas na frequência de corte de 12 meses, cujo maior PMSTPlanta foi observado quando associado ao sistema de aspersão convencional, apresentando diferença ($P < 0,05$) para os valores obtidos nos demais sistemas de irrigação (Tabela 17).

Os resultados observados nesta pesquisa ficaram próximos aos obtidos por Fonseca et al. (2019), os quais, ao avaliarem a produtividade da palma Gigante, utilizando-se diferentes lâminas e frequências de irrigação no Semiárido baiano, obtiveram produções entre 5.340 kg MSh^{-1} (5 litros de água/metro linear a cada 15 dias) e 10.570 kg MSh^{-1} (100% ETo, com irrigação diária). Houve diferença encontrada apenas no resultado obtido do sistema de aspersão convencional e frequência de corte de 12 meses (16.373 kg MSh^{-1}), e os valores observados na frequência de 18 meses nos quatro sistemas de irrigação avaliados, os quais variaram entre 12.963 e 15.901 kg MSh^{-1} (Tabela 17).

Tabela 17 - Valores médios de variáveis de produção e taxa de massa seca, e percentual de cladódio colhível da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função do efeito de interação entre frequência de corte e sistema de irrigação

PMSTotal									
Sistema de Irrigação (SI)	Frequência de Corte (FC; meses)				EPM	P-valor			Equação
	6	9	12	18		SI	FC	SI*FC	
1	4987,50b	6381,00b	8389,25Bab	12963,00a	961,65	<0,0001	<0,0001	0,0179	Y=572,79+676,22x R ² =85
2	6321,75b	6739,00b	9760,75Bab	14568,00a					Y=1161,11+727,67x R ² =76
3	6157,75b	8507,50b	9886,25Bb	15320,00a					Y=1488,46+753,74x R ² =76
4	6945,00b	7898,00b	16373,00Aa	15901,00a					Y=-8757,32+2957,19x-87,06x ² R ² =69
TPMSTotal									
Sistema de Irrigação (SI)	Frequência de Corte (FC)				EPM	P-valor			Equação
	6	9	12	18		SI	FC	SI*FC	
1	27,33a	23,32a	22,99Ba	23,68a	2,92	<0,0001	0,006	0,0506	Y=37,608-2,25x+0,08x ² R ² =23
2	34,64a	24,62a	26,74Ba	26,61a					Y=54,01-4,37x+0,16x R ² =30
3	33,74a	31,09a	27,10Ba	27,98a					Y=46,75-2,63x+0,09x ² R ² =15
4	38,04ab	28,86b	44,86Aa	29,05b					Y=19,80+3,43-0,15x ² R ² =13

Médias seguidas da mesma letra na coluna e linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade (P>0,05). EPM = Erro padrão da média. r² = coeficiente de determinação. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. PMSTotal: produção de massa seca total por planta (kg por ha⁻¹ dia⁻¹). TPMSTotal: taxa de produção de massa seca total (kg por ha⁻¹ dia⁻¹).

Verificou-se que a taxa de produção de massa seca do cladódio secundário (TPMSCSO) respondeu de forma linear decrescente na medida que se aumentou o intervalo entre colheitas (Tabela 16). Quanto ao efeito do sistema de irrigação na TPMSCSO, os maiores valores encontrados ocorreram nos sistema de irrigação por aspersão convencional ($24,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e no micro spray jet ($21,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), não havendo diferenças ($P>0,05$) entre eles (Tabela 18). Os valores observados nos sistemas de irrigação de gotejamento superficial ($21,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) e microaspersão ($21,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foram semelhantes ao obtido no micro spray jet.

A taxa de produção de massa seca dos cladódios de terceira ordem (TPMSCTO) apresentou semelhança aos resultados obtidos para TPMSCSO, em que os maiores valores observados ocorreram no sistema de aspersão convencional e micro spray jet, $10,37$ e $7,74 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente, os quais não diferiram ($P>0,05$) entre si. Não houve diferenças ($P>0,05$) entre os valores observados no sistema de micro spray jet e microaspersão, mas esse diferiram ($P<0,01$) do valor observado no sistema de gotejamento superficial, que apresentou o menor valor, $3,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 18).

Verificou-se efeito quadrático ($p<0,05$) da frequência de corte para a variável taxa de produção de massa seca total (TPMSTotal) para todos os sistemas de irrigação avaliados (Tabela 17). De acordo com o modelo ajustado, os valores mínimos estimados foram de $27,04 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (micro spray jet), $25,9 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (aspersão convencional), $24,00 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (microaspersão) e $22,23 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, com expectativa em alcançar esses resultados aos 14,78 meses, 11,40 meses, 13,74 meses e 13,8 meses.

Os valores observados para TPMSCSO, TPMSCTO e TPMSTotal foram muito superiores aos obtidos por Lopes et al. (2018) nas respectivas ordens de cladódios e total por planta, os quais obtiveram taxas de produções máximas de massa seca nos cladódios de segunda ordem de $7,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para colheitas anual e bianual, respectivamente. Para taxas de produções máximas de massa seca nos cladódios de terceira ordem, os valores obtidos na referida pesquisa foram de $2,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $0,75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. Já para as taxas de produções máximas de massa seca total colhida, os valores observados foram de $7,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ e $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para colheitas anual e bianual, respectivamente. Além de terem sido utilizadas variedades de palma distintas, Gigante vs Orelha de Elefante Mexicana, a diferença nos resultados deve-se principalmente a forma do aporte de água a cultura, em que o experimento foi conduzido em sequeiro, com ocorrência de restrições hídricas, conforme relatado pelos autores, enquanto na presente pesquisa houve oferta hídrica constante ao longo do período experimental, por meio de precipitações e/ou via irrigação.

Tabela 18 - Valores médios de percentual de matéria seca, produção de massa seca e taxa de produção de massa seca por ordem de cladódios e total por planta da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, em função dos diferentes sistemas de irrigação

Variável	Sistema de irrigação				EPM	P-valor
	1	2	3	4		
PercMSCSO	7,27ab	6,65bc	7,54a	6,55c	0,17	0,0002
PercMSCTO	7,42a	6,95ab	7,47a	6,75b	0,15	0,0029
PercMSCQO	0,00c	7,38ab	7,61a	6,73b	0,21	0,0197
PercMSplanta	7,32a	6,73b	7,49a	6,62b	0,16	<0,0001
PMSCSO	7041,75b	6971,00b	7085,00ab	7909,69a	228,14	0,0176
PMSCTO	1111,87c	2281,12bc	2736,19ab	3631,81a	350,17	<0,0001
PMSCQO	26,68	95,44	142,75	219,12	4,88	0,2122
PMSCQuO	-	-	4,12	17,94	7,34	0,2710
TPMSCSO	21,20b	21,19b	21,78ab	24,14a	0,74	<0,0001
TPMSCTO	3,03c	6,65b	7,74ab	10,37a	0,93	<0,0001
TPMSCQO	-	0,30	0,44	0,64	0,18	0,1780
TPMSCQuO	-	-	0,02	0,05	0,02	0,2621

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional. PercMSCSO = Percentual de matéria seca nos cladódios de segunda ordem (%); PercMSCTO = Percentual de matéria seca nos cladódios de terceira ordem (%); PercMSCQO = Percentual de matéria seca nos cladódios de quarta ordem (%); PercMSCQuO = Percentual de matéria seca nos cladódios de quinta ordem (%); PercMSplanta = Percentual de matéria seca na planta (%); PMSCSO = Produção de massa seca de cladódios de segunda ordem (kg por ha⁻¹); PMSCTO = Produção de massa fresca de cladódios de terceira ordem (kg por ha⁻¹); PMSCQO = Produção de massa fresca de cladódios de quarta ordem (kg por ha⁻¹); PMSCQuO = Produção de massa seca de cladódios de quinta ordem (kg por ha⁻¹); TPMSCSO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de segunda ordem (kg por planta⁻¹); TPMSCTO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de terceira ordem (kg ha⁻¹ dia⁻¹); TPMFCQO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de quarta ordem (kg ha⁻¹ dia⁻¹); TPMSCQuO = Taxa de produção de massa seca de cladódios de quinta ordem (kg ha⁻¹ dia⁻¹).

A taxa de mortalidade (TM) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante foi uma das variáveis analisadas, porém, dentre as 64 parcelas do experimento, onde cada área útil destinada à avaliação continha 20 plantas, logo, perfazendo-se um total de 1.280 plantas, não se constatou nenhuma morte de planta nas parcelas experimentais, dentro da área útil, o que significou taxa de mortalidade “zero” para todos os tratamentos. Esse resultado diferiu do encontrado por Lima et al. (2018), os quais avaliando o índice de sobrevivência (IS) de três variedades de palma forrageira resistentes à Cochonilha do Carmim, com diferentes fontes de adubação orgânica, observaram que aos 240 dias após o plantio o IS da palma cv. Orelha de Elefante Mexicana foi de 91,6% (Ácido Húmico), 94,4% (sem adubação), 96,5% (Ácido Fúlvico) e 97,9% (Esterco), portanto, a taxa de mortalidade encontrada neste estudo foi, respectivamente, de 8,4%, 5,6%, 3,5% e 2,1%.

Ao se definir a taxa de mortalidade entre as variáveis avaliadas neste estudo, tinha-se como objetivo analisar o efeito da irrigação e, mais precisamente, os possíveis efeitos dos diferentes sistemas de irrigação na incidência de doenças e pragas, e, conseqüentemente, a mortalidade de plantas, porém, diante dos resultados, esses efeitos não se confirmaram. Para o sistema de aspersão convencional que, quando comparados aos sistemas de irrigação localizada, tem como desvantagem o maior favorecimento de problemas fitossanitários, em função do tipo de emissor e pela distribuição da água sob as folhas das plantas, os quais são agravados quando associados a altas temperaturas (MAROUELLI; SILVA, 2011), os resultados obtidos na presente pesquisa, nas condições experimentais definidas, mostraram que, para palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, isso não ocorreu.

Os resultados observados mostram também que mesmo com intervalos de corte mais curtos, como o de 6 e 9 meses, em que, teoricamente a planta é fisiologicamente mais exigida, também não se constatou mortalidade.

Os resultados evidenciam a rusticidade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, que, ao se garantir reposição de nutrientes, tratos culturais adequados e oferta hídrica regular, neste caso via irrigação, com aplicação de lâmina de 5,0 mm a cada 2 dias, mostra-se adaptada a cultivos mais intensivos, inclusive com alto adensamento (70.000 plantas ha⁻¹), é possível manter boa sanidade do palmal, com total controle sobre a mortalidade de plantas.

3.4 Conclusão

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que a frequência de corte de 12 meses associado ao sistema de aspersão convencional apresenta melhores resultados nas características produtivas avaliadas, com destaque para produções de massa fresca e seca total por área.

Diante da ausência de mortalidade das plantas, evidencia-se a rusticidade e adaptabilidade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em regime irrigado, independentemente da frequência de corte e do sistemas de irrigação utilizado.

4 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA PELA PALMA FORRAGEIRA CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBMETIDA A DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E FREQUÊNCIAS DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da utilização dos diferentes sistemas de irrigação e frequências de corte no cultivo da palma forrageira. A pesquisa foi realizada na região Semiárida, no município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro métodos de irrigação e quatro frequências de corte (16 tratamentos), com quatro repetições. As parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pela frequência de corte (6, 9, 12 e 18 meses). O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, que proporcionou um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹. O período de execução do experimento foi de 12/2016 a 01/2019. Definiu-se um turno de rega de dois dias, utilizando-se 5,0 mm de lâmina bruta de água (2,5 mm.dia⁻¹), manejo estabelecido igualmente para todos os sistemas de irrigação avaliados. Foi avaliada a eficiência de uso da água (EUA) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). As maiores eficiências de uso da água foram obtidas nas frequências de corte de 6 e 12 meses, 134,19 e 108,62 kg de massa fresca ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente. Para eficiência de uso da água para massa seca (EUA_MS), o maior valor foi obtido na frequência de 6 meses, 8,46 kg MSha⁻¹ mm⁻¹. Em relação aos efeitos do sistema de irrigação na eficiência de uso da água (EUA), os maiores valores de EUA para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) ocorreram no sistema de aspersão convencional, 128,56 kg de MFha⁻¹ mm⁻¹ e 8,20 kg MSha⁻¹ mm⁻¹. Para a EUA_MS, o sistema de irrigação micro spray jet apresentou resultado semelhante ao sistema de aspersão convencional (6,89 kg MSha⁻¹ mm⁻¹).

Palavras-chave: *Opuntia stricta*. Semiárido. Plantas Xerófilas. Pegada hídrica.

4 EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF WATER USE BY CATUS PEAR CV. ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SUBJECTED TO DIFFERENT IRRIGATION SYSTEMS AND CUTTING FREQUENCIES

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the use of different irrigation systems and cutting frequencies in the cultivation of cactus pear. The research was carried out in the Semiarid region, in the city of Russas, in the state of Ceará, Brazil. The experimental design used was of randomized blocks in subdivided plots, with four irrigation methods and four cutting frequencies, with four replications. The plots were represented by irrigation systems (surface drip, micro sprinkler, micro spray jet and conventional sprinkling) and subplots by cutting frequency (6, 9, 12 and 18 months). The spacing used was 1.60 m x 0.40 m x 0.14 m, which provided a density of 70,000 plants ha⁻¹. The execution period of the experiment was from December 2016 to January 2019. Regarding irrigation management, a two-day irrigation shift was defined, using a gross water sheet of 5.0 mm (2.5 mm.day⁻¹), a management established equally for all evaluated irrigation systems. The efficiency of water use was evaluated (WUE) of cactus pear cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.). The highest water use efficiencies were obtained at the cutting frequencies of 6 and 12 months, 134.19 and 108.62 kg of FMha⁻¹ mm⁻¹, respectively. For water use efficiency for dry mass (WUE_DM), the highest value was obtained at the frequency of 6 months, 8.46 kg DMha⁻¹ mm⁻¹. Regarding the effects of the irrigation system on water use efficiency (WUE), the highest WUE values for fresh and dry mass production (WUE_FM and WUE_DM) occurred in the conventional sprinkler system, 128.56 kg of FMha⁻¹ mm⁻¹ and 8.20 kg DMha⁻¹ mm⁻¹. For the WUE_DM, the micro spray jet irrigation system showed similar results to the conventional sprinkler system (6.89 kg DMha⁻¹ mm⁻¹).

Keywords: *Opuntia stricta*. Semi-arid. Xerophilic Plants. Water footprint.

4.1 Introdução

Por ser uma planta que apresenta metabolismo CAM (Ácido Crassuláceas), a palma forrageira apresenta alta eficiência no uso da água. Esta eficiência ocorre em função das características morfológicas da planta, bem como pelas peculiaridades existentes em seus processos metabólicos, como a abertura dos estômatos durante a noite, quando a temperatura é mais amena e a umidade relativa do ar é mais elevada (NOBEL, 2001), resultando em baixa taxa de transpiração (HAN; FELKER, 1997).

A presença de uma cutícula impermeável e o menor número de estômatos nos cladódios (RAMOS et al., 2011) são características que interferem no processo de transpiração da planta e na eficiência no uso da água. Enquanto nas cultivares de palmas da espécie *Opuntia ficus-indica* os poros dos estômatos ocupam apenas 0,50% da superfície da planta, em plantas altamente produtivas do tipo C₃ ou C₄ ocupam duas a três vezes mais em sua área foliar (FAO, 1995).

A alta eficiência no uso da água também está associada a capacidade da palma em absorver e armazenar água em período de baixa disponibilidade hídrica. Isso ocorre devido à elevada condutividade hidráulica de suas raízes e a existência do tecido parenquimático de armazenamento de água na palma forrageira (BORLAND et al., 2014).

De forma geral, as plantas CAM perdem de 50 a 100 g de água para cada grama de CO₂ obtido, quantidade bem inferior quando comparados com as plantas C₄ (250 a 300 g) e C₃ (400 a 500 g) (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O consumo de água pela planta está diretamente relacionada a sua produção. Logo, estudar a eficiência de utilização da água (EUA) pela palma forrageira é de grande importância para definição de estratégias de cultivo, como manejo da irrigação, com busca constante do uso sustentável dos recursos hídricos, especialmente nas condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro (SANTOS et al., 2020).

Além disso, informações sobre os indicadores de eficiência de uso da água possibilitam a análise de viabilidade técnica e econômica na utilização da irrigação e sua capacidade de resposta sobre o rendimento das culturas, seja em regime de sequeiro ou irrigado (ALI et al., 2007).

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a eficiência do uso da água pela palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) em resposta à utilização de diferentes sistemas de irrigação e de frequências de corte.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido no lote agrícola situado no Perímetro Irrigado Tabuleiro de Russas, município de Russas, no estado do Ceará, Brasil. O período experimental foi entre vinte e sete de dezembro de 2016 e vinte e cinco de janeiro de 2019, perfazendo um total de 25 meses. A área experimental localiza-se a 80 metros de altitude, apresenta estação chuvosa de janeiro a abril e estação seca que vai de maio a dezembro. A precipitação média anual é de 857,7 mm e temperaturas entre 22,0 e 35,0 °C, com média anual de 28,5 °C (IPECE, 2009), nas coordenadas geográficas: 4°56'00.5"S 38°01'25.3"W, com clima do tipo BSw'h', tropical quente semiárido, segundo classificação de Koppen (1948). O solo na área experimental é do tipo Neossolo Quartzarênico, sendo classificado como textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

Ao longo do período experimental, foram acompanhadas as médias mensais de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação (diária, mensal e total). As precipitações diária, mensal e total foram obtidas no próprio local do experimento, enquanto a temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidos do Posto Agroclimatológico da FUNCEME, localizado a 27,2 km da área experimental, no município de Morada Nova.

Durante a execução do experimento (27/12/2016 a 25/01/2019), a precipitação pluvial totalizou 1.996 mm. As médias das temperaturas máxima e mínima foram 28,7 °C e 27,3 °C, respectivamente, apresentando média geral no período de 28,0 °C. As médias das umidades relativas do ar (UR) máxima e mínima foram 70,5% e 64,2%, respectivamente, enquanto que a média geral da UR durante o período experimental foi de 67,4%.

4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados em parcelas subdivididas, em que as parcelas foram representadas pelos sistemas de irrigação (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet e aspersão convencional) e as subparcelas pela frequência de corte (6, 9, 12 e 18 meses), totalizando 64 unidades experimentais.

4.2.3 Caracterização física e química do solo da área experimental

No início da instalação do experimento realizou-se a caracterização físico-química do solo na profundidade de 0,0 a 20,0 cm (Tabela 19), sendo feita uma nova análise de solo um ano após o início do experimento (Tabela 20). O solo foi classificado como textura arenosa, apresentando 90,8% de areia em sua composição (areia grossa e areia fina).

Com base nos resultados obtidos na análise, calculou-se a necessidade de calagem e de adubação da área experimental.

Tabela 19 - Características físicas e químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, antes da implantação do experimento

Localidade	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Dp		Classificação textural				
	g kg ⁻¹				g cm ⁻³						
Russas/CE	648	260	16	76	2,73		Areia				
Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						H ₂ O		g kg ⁻¹
Russas/CE	1,0	0,15	0,18	0,6	0,4	0,2	1,29	1,3	2,82	4,3	10,45

Densidade das partículas (Dp). Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

Tabela 20 - Características químicas do solo da área experimental em Russas, Ceará, após um ano de cultivo da palma forrageira

Localidade	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	SB	CTCt	pH	MO
	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³						H ₂ O		g kg ⁻¹
Russas, CE	9,0	0,08	0,21	0,7	0,5	0,3	0,86	1,5	2,65	5,5	6,41

Fósforo (P), potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (CTCt), potencial hidrogeniônico (pH) e matéria orgânica do solo (MO).

4.2.4 Implantação e condução do experimento

A área experimental foi preparada no final de novembro de 2016, onde foram realizadas a aração e a gradagem do solo, além da calagem e incorporação do calcário. O cálculo da necessidade de calagem foi realizado por meio do método de saturação de bases, conforme metodologia descrita por Lopes et al. (1990). Na área experimental estabeleceu-se como meta a elevação para 80% de saturação de base do solo, o que resultou na necessidade em se aplicar 1,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ por ocasião da implantação do experimento. Em função do magnésio se

encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Após o preparo da área, procedeu-se a instalação do experimento, iniciando com a demarcação das parcelas e das subparcelas. O espaçamento utilizado foi de 1,60 m x 0,40 m x 0,14 m, o que significou o plantio de 14 mudas por metro linear na fileira dupla (7 mudas em cada fileira simples), proporcionando um adensamento de 70.000 plantas ha⁻¹, a qual foi definida com base nos resultados obtidos por Cavalcante et al. (2014) ao avaliarem resposta produtiva da palma forrageira em diferentes densidades de plantio. Os sulcos para o plantio da palma foram realizados de forma manual, utilizando-se de enxada, obedecendo a profundidade média de 30 cm.

O plantio foi realizado no final de dezembro de 2016, no período seco do ano, utilizando-se cladódios inteiros da palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) Haw cv. Orelha de Elefante Mexicana (IPA 200016), com idade entre 110 a 120 dias, com dimensões entre 15 a 20 cm de largura e 20 a 25 cm de comprimento, e plantadas após repouso de 10 dias de colhida (período para cicatrização do local do corte efetuado na operação de colheita), em sistema tipo “Dominó”, disposto um após o outro no sentido leste-oeste e enterrio no solo de 2/3 da raquete. O material vegetal utilizado no plantio foi fornecido por empresa credenciada junto ao Ministério da Agricultura (MAPA), o que conferiu garantia na qualidade e sanidade das mudas plantadas, portanto livres de pragas e doenças.

Cada parcela foi formada por uma área de 8,4 m x 19 m, resultando em 159,6 m² de área, com 1.120 plantas por parcela. Cada subparcela foi formada por 4,0 m x 8,4 m, distanciada um metro uma da outra, resultando em uma área de 33,6 m², contendo 280 plantas, distribuídas em cinco fileiras duplas de 4,0 metros de comprimento, cada uma com 56 plantas (28 em cada fileira simples), sendo as 20 plantas no meio da linha central destinada às mensurações e as demais como bordaduras. A área útil total do experimento foi de 2.553,6 m². Somando-se a área equivalente às bordaduras (entre parcelas e entre as subparcelas), a área experimental total foi de 6.150 m².

Tanto a correção do solo quanto adubação foram realizadas para garantir as quantidades dos macros (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn e Zn) necessários para o pleno desenvolvimento da cultura (DUBEUX JUNIOR et al., 2010; DONATO et al., 2017). As quantidades dos adubos químicos foram calculados com base nos resultados das análises de solo realizadas antes da implantação da área experimental e após o primeiro ano de cultivo, tendo como expectativa a produção de 40 toneladas de massa seca por ha⁻¹ ano⁻¹.

A adubação foi constituída pela aplicação equivalente a 50 kg de FTE BR 12 por $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (micronutrientes), 185 kg de fósforo (P_2O_5) $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, utilizando como fonte o super simples (720 kg) e fosfato monoamônio-MAP (111 kg), 192,2 Kg de nitrogênio $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, utilizando como fonte a ureia (200 kg) e o sulfato de amônio (429 kg), e 742,9 kg de potássio (K_2O) $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, tendo como fonte o cloreto de potássio (1.238 kg). A área também recebeu adubação orgânica, com aplicação proporcional de 20 toneladas $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de cama de galinha, material que, por meio de análise realizada, apresentou em sua composição 1,43% de N, 2,27% de P_2O_5 e 0,9% de K_2O .

A adubação inicial de fósforo e micronutrientes foi feita a lanço no centro da fileira dupla, 15 dias após o plantio, em uma única aplicação. Já a adubação orgânica foi realizada com 30 após o plantio, no centro das fileiras duplas da palma.

Após trinta dias do plantio, deu-se início a adubação de produção (LEMOS et al., 2018), por meio do uso de fertilizantes nitrogenados e potássicos, a qual foi realizada semanalmente por meio da fertirrigação, durante todo o ano. Após um ano de experimento, nova análise de solo foi feita, porém, diante dos resultados obtidos, não foi necessário realizar alterações nas adubações com fonte fósforo (P_2O_5) e micronutrientes, bem como os adubos nitrogenados e potássicos, mantendo-se quantidades similares aos aplicados no primeiro ano de cultivo.

No início do segundo ano de cultivo, tanto as adubações fosfatada e de micronutrientes quanto a adubação orgânica, desta vez aplicada apenas nas laterais das fileiras de palma forrageira, foram realizadas em dose única, no mês de janeiro de 2017.

Após um ano de condução do experimento, realizou-se uma nova aplicação de calcário, desta vez a lanço, na proporção de 0,78 tonelada $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$, quantidade esta definida com base nos resultados da análise de solo realizada doze meses após a implantação da área experimental, utilizando-se mais uma vez do método de saturação de bases, objetivando elevar a 80%. Da mesma forma que a primeira aplicação, em função do magnésio se encontrar abaixo de 20% na CTC do solo, utilizou-se o calcário dolomítico para corrigir acidez do solo.

Os equipamentos de irrigação foram instalados na área experimental logo após o plantio da palma forrageira, com implantação dos quatro diferentes sistemas de irrigação: Gotejamento superficial, Microaspersão, Micro Spray Jet e Aspersão convencional. Dentre os sistemas de irrigação avaliados, três se caracterizam pelo método de irrigação localizada (gotejamento superficial, microaspersão, micro spray jet) e um por aspersão (aspersão convencional).

Quanto ao manejo da irrigação, em função do solo na área experimental ser classificado como de textura arenosa, com baixa capacidade de retenção de água, e a palma forrageira apresentar sistema radicular pouco profundo (SANTOS et al, 2017), definiu-se por uma maior frequência de irrigação, com turno de rega (TR) de dois dias. A lâmina de irrigação estabelecida foi de 2,5 mm.dia⁻¹, definida considerando a aplicação de 33% da evapotranspiração de referência (ET_o) média dos meses de setembro a dezembro (7,48 mm.dia⁻¹), correspondentes aos de maiores índices para a região (CABRAL, 2000). Assim, aplicou-se 5 mm de lâmina bruta de água a cada dois dias.

Em função da vazão ser diferente para cada sistema de irrigação utilizado, o volume de água aplicado foi determinado pelo tempo de funcionamento do sistema em cada parcela (Tabela 21), garantindo assim a mesma lâmina bruta d'água utilizada em todos eles.

Tabela 21 - Características técnicas dos diferentes sistemas de irrigação e tempo de funcionamento para irrigação da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana na área experimental, no município de Russas, Ceará

Sistema de irrigação	Espaçamento (linhas/emissor)	Vazão (lh ⁻¹)	Número de emissores ha ⁻¹	Vazão (lha ⁻¹ h ⁻¹)	Tempo de funcionamento (em minutos/regas)
Gotejamento superficial	2,0 m / 0,2 m	2	25.000	50.000	60
Microaspersão	4,0 m / 4,0 m	60	625	37.500	80
Micro Spray Jet	2,0 m / 1,0 m	20	5.000	100.000	30
Aspersão convencional	12,0 m/12,0 m	510	69	35.190	55*

*O tempo de irrigação da aspersão convencional foi ajustada em função de ter sido utilizado emissores/aspersores setorizados (90° e 180°), o que fez diminuir o tempo necessário de irrigação. Legenda: m = metros | l h⁻¹ = litros por hora | lha⁻¹h⁻¹ = litros hectare⁻¹ hora⁻¹

Para se obter o manejo adequado da irrigação, todo o equipamento foi automatizado, seguindo programação estabelecida previamente para ligar e desligar cada um dos sistemas de irrigação, respeitando o tempo de funcionamento pré-estabelecido em cada um deles. No intuito de minimizar a interferência do vento na lâmina de água aplicada, definiu-se como horário de irrigação o período entre 05h00 e 07h00, sendo este o de menor incidência de vento no local do experimento.

Como a irrigação foi realizada durante todo o ano, deste modo, compreendendo também o período chuvoso, estabeleceu-se como manejo que a cada 10 mm ou mais de chuva ocorrida em um dia, a irrigação era interrompida, retornando no quarto dia após a ocorrência da mesma.

Estabeleceu-se como procedimento padrão a suspensão da irrigação três dias antes do do início do levantamento morfológico das plantas, voltando a irrigar somente após a realização da operação de colheita da palma forrageira para pesagem. Esse manejo foi definido no intuito de evitar a interferência da água via irrigação na composição da palma no momento do seu corte.

Após a implantação do palmal e durante todo período experimental, foram realizados de forma rotineira os tratos culturais necessários para propiciar o pleno desenvolvimento da cultura, como controle de plantas indesejáveis, por meio do arranqui, roço com roçadeira costal (nas ruas) ou com uso da ferramenta “estrovenga” e capina química (uso de herbicida). Também efetuou-se os controles de pragas sempre que necessário, especialmente de lagartas, fungos e cochonilha de escamas, os quais foram controlados utilizando-se fitosanitários.

Ao término de cada ciclo de crescimento, para as frequências de colheita de 6, 9, 12 e 18 meses, as plantas da área útil de cada tratamento (fileira amostral), composta por 20 plantas, foram colhidas e pesadas, com auxílio de balança digital com precisão de 0,05 g, por ordem de cladódios (segunda, terceira, quarta e quinta), permitindo a estimativa de produção de massa fresca de forragem por ordem de cladódio e total por planta.

O corte da palma foi realizado na raquete secundária, 5 cm acima da interseção entre o cladódio primário e secundário, conforme metodologia utilizada por Carneiro et al. (1989). Essa estratégia de colheita teve como objetivo manter a perenidade da cultura e melhor capacidade de rebrotação da planta através de maior índice de área de cladódio remanescente (IAC Remanescente).

Uma amostra do material colhido de forma aleatória de cada tratamento foi levada ao laboratório e pesada. Em seguida, os cladódios foram fracionados em pedaços de 1 a 2 cm e mantidos em estufa de ventilação forçada de ar a 55 °C, até atingir peso constante, fazendo-se a pré-secagem. Em seguida, esse material foi moído em moinho do tipo Wiley em peneira de 1,0 mm e colocado em estufa a 105 °C por 16 horas, sendo posteriormente pesado, determinando-se o teor de matéria seca da amostra para posterior estimativa das produções de biomassa seca, segundo metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006). Todas essas etapas foram realizadas no laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará. Com esses dados, realizou-se a determinação da produção de biomassa seca para cada tratamento e em cada colheita efetuada, possibilitando a estimativa de produção por ha⁻¹.

Como forma de avaliar os efeitos das diferentes frequências de corte e sistemas de irrigação foi calculado a eficiência de uso da água pela palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (EUA, kg MV e MSha⁻¹ mm⁻¹).

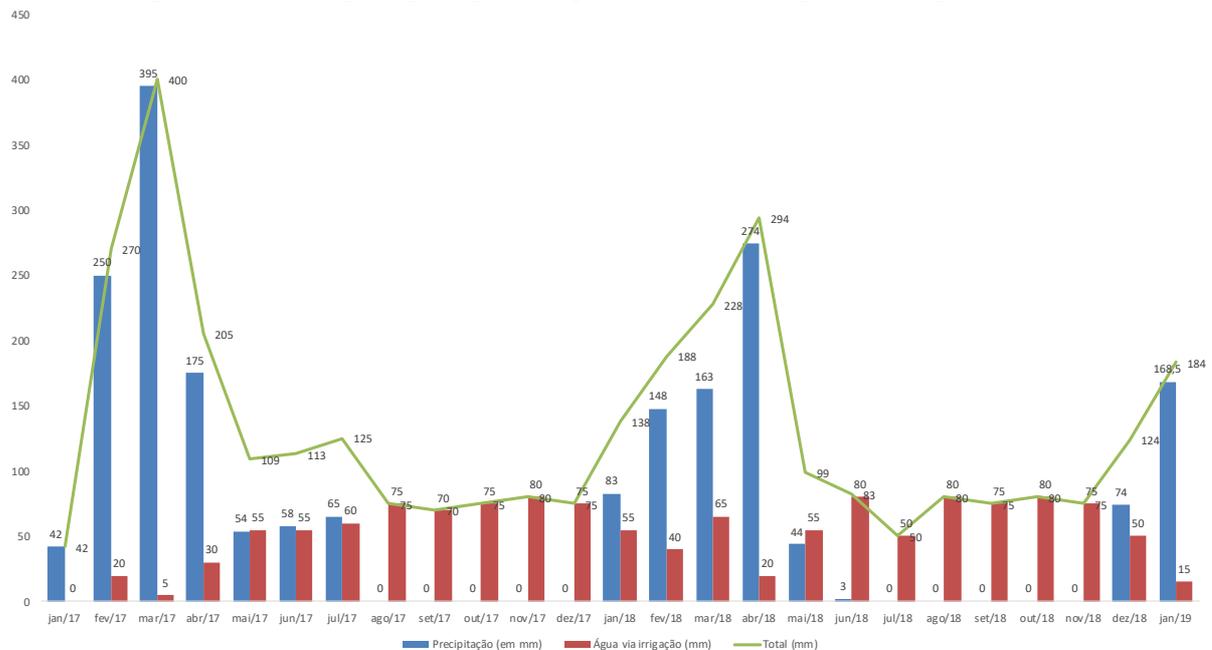
Para Turner (2004), a eficiência de uso da água de chuva (EUC) é calculada pela biomassa produzida acima do solo dividida pela chuva ocorrida durante o período de crescimento (kg de MS ha⁻¹ mm⁻¹ de chuva). No presente estudo, a eficiência do uso da água foi calculada considerando o volume água da precipitação, somada a água via irrigação, conforme metodologia definida por (AUJLA; THIND; BUTTAR, 2005), sendo que, no presente estudo, a avaliação foi denominada de eficiência de uso da água (EUA).

A EUA foi estimada pela relação entre a produtividade (kg ha⁻¹) da palma forrageira e o volume de água bruta (P = precipitação + I = irrigação), em mm, conforme fórmula descrita abaixo:

$$EUA = \frac{\text{produção da cultura/ha}^{-1} \text{ (em kg)}}{P + I = \text{volume de água (em mm}^{-1}\text{)}}$$

Na figura 4, seguem os dados de ocorrência das precipitações e volume de água via irrigação durante todo período experimental.

Figura 4 - Volume de água aplicado na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana por meio da irrigação e obtido pela precipitação pluvial durante o período experimental



De posse dos dados de produção de massa seca e fresca da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana e dos volumes de água advindas das precipitações e da irrigação, determinou-se as seguintes variáveis: eficiência de uso da água para produção de massa fresca, determinada a partir da relação entre a produtividade de massa fresca colhível e do volume de água disponibilizado para a cultura nos respectivos ciclos de cultivo (EUA_MF, kg MFha⁻¹ mm⁻¹) e eficiência de uso da água para produção de massa seca, determinada a partir da relação entre a produtividade de massa seca colhível e do volume de água disponibilizado para a cultura nos respectivos ciclos de cultivo (EUA_MS, kg MSha⁻¹ mm⁻¹).

4.2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados conforme a sua natureza, submetendo-os à análise de variância, teste de comparação de médias e análise descritiva. Para comparação entre as diferentes frequências de corte e métodos de irrigação, procedeu-se análise de variância, comparados pelo teste de Tukey, a nível de 1 e 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS, 2002.

$$\text{Modelo 2: } Y_{ijk} = \mu + B_k + SI_i + \alpha_{ik} + FC_j + (SI \times FC)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Assim, Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a constante geral; B_k é o efeito aleatório do bloco; SI_i é o efeito do sistema de irrigação; α_{ik} é o efeito do erro da parcela; FC_j é o efeito da frequência de corte; $(SI \times FC)_{ij}$ é o efeito fixo da interação entre sistema de irrigação e frequência de corte; ε_{ijk} efeito do erro aleatório.

Durante o ensaio experimental (24 meses), realizou-se quatro colheitas na frequência de corte de 6 meses, duas colheitas nas frequências de corte de 9 e 12 meses e uma colheita na frequência de corte de 18 meses. As análises foram realizadas utilizando-se as médias das mensurações obtidas nas respectivas frequências de corte.

4.3 Resultados e discussão

Observou-se efeitos significativos ($P > 0,05$) da frequência de corte e sistemas de irrigação para as variáveis de eficiência de uso da água para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (Tabelas 22 e 23). As duas variáveis analisadas (EUA_MF e EUA_MS) não apresentaram efeito de interação ($P > 0,05$) entre frequência de corte e sistema de irrigação.

De acordo com os dados obtidos, observou-se comportamento linear ($P < 0,01$) decrescente da frequência de corte para EUA_MF e EUA_MS (Tabela 22). Este resultado mostra que nos ciclos de cultivos mais curtos (maior frequência de corte), resultou em aumento na eficiência de uso da água pela palma forrageira. Com base no modelo ajustado, os valores de EUA_MF foram estimados em 121,54 kg de MVha⁻¹ mm⁻¹ (6 meses), 109,63 kg de MVha⁻¹ mm⁻¹ (9 meses), 97,72 kg de MVha⁻¹ mm⁻¹ (12 meses) e 73,90 kg de MVha⁻¹ mm⁻¹ (18 meses).

Os valores obtidos na presente pesquisa foram superiores aos encontrados por Cruz Neto et al. (2017), que, avaliando o cultivo irrigado em ambiente árido com palma forrageira cv. Miúda, obtiveram aos 523 dias de cultivo valores médios de EUA de 59,27 kg de MVha⁻¹ mm⁻¹.

Silva et al. (2014b), ao avaliarem os indicadores de eficiência de uso da água da palma Orelha de Elefante Mexicana, obtiveram, aos 745 dias de cultivo em sequeiro, uma EUA de 104,8 kg kg MVha⁻¹ mm⁻¹, resultado que se aproximou ao valor ajustado da frequência de corte de 9 meses (109,63 kg MFha⁻¹ mm⁻¹).

Tabela 22 - Avaliação da variável eficiência de uso da água para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função das diferentes frequências de corte

Variável	Frequência de Corte (meses)				EPM	P-valor	Equação
	6	9	12	18			
EUA_MF	134,19a	85,49bc	108,62ab	74,48c	6,89	<0,0001	Y=145,35-3,97x R ² =19
EUA_MS	8,46a	6,03b	7,05b	5,71b	0,37	<0,0001	Y=8,83-0,18x R ² =15

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P > 0,05$). EPM = Erro padrão da média. EUA_MF = Eficiência de uso da água para produção de massa fresca (em kg ha⁻¹ mm⁻¹); EUA_MS = Eficiência de uso da água para produção de massa seca (em kg ha⁻¹ mm⁻¹).

Em estudo realizado por Fonseca et al. (2019), avaliando o cultivo irrigado da palma forrageira cv. Gigante, com uso de água salina e aplicação de diferentes lâminas e frequências de irrigação, os autores obtiveram, no segundo ciclo de cultivo (aos 365 dias após a colheita), eficiência de uso da água variando de 84,27 kg MFha⁻¹ mm⁻¹ (100% da ETo, com aplicação diária) a 141,89 kg MFha⁻¹ mm⁻¹ (33% da ETo, com aplicação a cada 3 dias), resultados que se aproximam da faixa encontrada no presente estudo, nas diferentes frequências de corte avaliadas. Vale salientar que as pesquisas aplicaram os mesmos critérios para se calcular a EUA, ou seja, a relação entre a produtividade da cultura (kg ha⁻¹) e o volume de água bruta ($P = \text{precipitação} + I = \text{irrigação}$), porém utilizaram diferentes intensidades de cortes, em que na pesquisa supracitada a palma foi colhida a partir dos cladódios primários, preservando-se

apenas o cladódio “mãe”, e no presente estudo a colheita foi realizada a partir dos cladódios da segunda ordem, portanto, conservando-se os cladódios primários na planta.

Os resultados observados nas frequências de corte de 6 e 9 meses no presente estudo se aproximaram dos reportados por Cruz Neto et al. (2017), os quais obtiveram valores médios de EUA de $7,25 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, em cultivo irrigado da palma forrageira cv. Miúda aos 523 dias. Porém, foram inferiores quando comparados aos observados por Lédo et al. (2019), os quais, avaliando diferentes adubações organominerais na palma forrageira cv. Gigante, em sistema de sequeiro e com preservação dos cladódios primários na colheita, obtiveram eficiência de uso da água de chuva de 18,1 e 20,8 kg de $\text{MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ no segundo e terceiro ciclos de cultivo (intervalo de corte de 330 dias), respectivamente. Mesmo comparando os valores obtidos em um dos tratamentos com as adubações próximos ao presente estudo (30 t esterco e NPK-150-300-300), houve grande diferenças entre os resultados.

A explicação plausível está na diferença de volume hídrico entre as referidas pesquisas. Enquanto a pesquisa feita por esses autores ocorreu em regime de sequeiro, com precipitações de 853,90 e 879,60 mm de água de chuva nos ciclos I e II, respectivamente, o presente estudo foi conduzido em regime irrigado, com praticamente o dobro de volume de água deste ao longo do período experimental. Registre-se ainda que os autores realizaram o corte de nivelamento da palma, deixando-se os artículos primários, dando, a partir deste momento, início aos ciclos de cultivo, portanto, a água utilizada foi totalmente direcionada para a produção dos cladódios de ordens superiores. Na presente pesquisa, houve também a preservação dos artículos primários no momento da colheita, mas não se realizou o corte de nivelamento da cultura. Neste caso, houve consumo de água para formação dos cladódios primários durante o período experimental, porém, como foram preservados na planta, não contribuíram para produção de biomassa, resultando em menor EUA.

Em relação aos efeitos do sistema de irrigação na eficiência de uso da água (EUA), observou-se que o maior valor de EUA_MF foi obtido no sistema de aspersão convencional, $128,56 \text{ kg de MVha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, apresentando diferença ($P < 0,01$) dos valores observados nos demais sistemas (Tabela 23). Os maiores valores de EUA_MF observados para os sistemas de irrigação por aspersão convencional estão correlacionados com a taxa de produção de massa fresca total, em que a aspersão convencional obteve o maior valor para esta variável entre os sistemas avaliados, conforme detalhado no capítulo II deste estudo (Tabela 14).

Outro fator que pode ter influenciado o melhor resultado de EUA_MF na aspersão convencional pode estar relacionado com o maior desenvolvimento do sistema radicular da

palma. A emissão de água pelos aspersores com umedecimento de toda área superficial do solo a qual a palma foi cultivada, pode ter proporcionado ambiente favorável para que as raízes explorassem uma maior área de solo, o que pode ter significado maior capacidade e eficiência de absorção de água e nutrientes.

Quanto a eficiência de uso da água para produção de massa seca (EUA_MS), os maiores valores foram obtidos no sistema de aspersão convencional ($8,20 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e no micro spray jet ($6,89 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), os quais não diferiram ($P>0,05$) entre si (Tabela 23). Não houve diferença ($P>0,05$) entre os resultados obtidos de EUA_MS entre os sistemas de micros spray jet, gotejamento ($5,50 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e microaspersão ($6,65 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Esses resultados foram inferiores aos obtidos por Silva et al. (2014b), que obtiveram eficiência de uso da água para produção de massa seca da palma Orelha de Elefante Mexicana de $10,0 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Provavelmente, os resultados diferiram em função do sistema de cultivo utilizado nas pesquisas, sendo em sequeiro no estudo realizado pelos referidos autores, enquanto na presente pesquisa a palma foi cultivada sob irrigação.

Tabela 23 - Avaliação da variável eficiência de uso da água para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função dos diferentes sistemas de irrigação

Variável	Sistema de irrigação				EPM	P-valor
	1	2	3	4		
EUA_MF	76,58b	102,29b	95,34b	128,56a	6,89	<0,0001
EUA_MS	5,50b	6,65b	6,89ab	8,20a	0,37	<0,0001

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade ($P>0,05$). EPM = Erro padrão da média. EUA_MF = Eficiência de uso da água para produção de massa fresca (em $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). EUA_MS = Eficiência de uso da água para produção de massa seca (em $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Sistema de irrigação: 1. Gotejamento superficial; 2. Microaspersão; 3. Micro Spray Jet; 4. Aspersão convencional.

Resultados parecidos foram relatados por Edvan et al. (2020), pois ao avaliarem características produtivas de três genótipos de palma forrageira (Miúda, Baiana e Orelha de Elefante Mexicana), em regime de sequeiro, com colheita aos 365 dias após o plantio e em sete diferentes locais na região do semiárido tropical (Sertão do Piauí), observaram valores de EUA, na variedade Orelha de Elefante Mexicana, entre $1,0$ a $20,0 \text{ kg MSha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, em que as menores EUA ocorreram nas regiões que apresentaram umidades relativas do ar mais baixas. Vale salientar que os maiores valores encontrados na pesquisa conduzida no Sertão Piauiense foram superiores aos observados no presente estudo, tendo como explicação o fato de terem considerado a produção de biomassa dos cladódios de primeira ordem no cálculo de EUA,

enquanto que no presente estudo computou-se a biomassa colhida a partir dos cladódios de segunda ordem. Outro fator que pode ter influenciado foi o sistema de cultivo utilizado nas referidas pesquisas, que, apesar de apresentarem densidade de plantio aproximadas (66.133 e 70.000 plantas⁻¹ ha⁻¹), diferiu-se quanto à disponibilidade hídrica, já que a pesquisa no Piauí foi realizada em sequeiro. A diferença entre esses regimes de produção resultou em percentuais de matéria seca da palma bem diferentes, resultado que influencia indiretamente os valores de EUA. Enquanto no estudo realizado pelos autores os valores obtidos ficaram na faixa de 9,76 a 13,9% MS, na presente pesquisa esses percentuais ficaram entre 6,62 a 7,49% (Tabela 18).

Os resultados observados na presente pesquisa, de certa forma, contrapõem afirmações de parte dos pesquisadores e técnicos de que o sistema de gotejamento superficial é o mais indicado para o cultivo da palma forrageira. De forma geral, essas recomendações se baseiam na argumentação de que a irrigação localizada apresenta maior eficiência na distribuição e uso da água, além de menor perda por deriva quando comparados aos de aspersão (KELLER; BLIESNER, 1990; MANTOVANI et al., 2009).

Contudo, diante dos resultados obtidos neste estudo, a qual aspersão convencional apresentou maiores eficiências no uso da água para produção de massa fresca e seca (EUA_MF e EUA_MS) quando comparados aos observados no gotejamento superficial, evidenciou-se o efeito positivo da inter-relação entre planta e sistema de irrigação, o que mostra a importância em conhecer e avaliar todos os fatores envolvidos no processo, bem como as respostas advindas da interação entre esses.

Portanto, conforme relatado por Eloi et al. (2007), o manejo da irrigação de uma cultura é realizado por meio do conhecimento do sistema radicular e das inter-relações com a água e o solo. De certo, que este conceito serve também para definir os métodos e sistemas de irrigação a serem utilizados em cada cultura.

Vale salientar que os resultados aqui obtidos refletem as condições experimentais e características edafoclimáticas do local que foi conduzida a pesquisa, podendo haver respostas distintas, principalmente quanto ao tipo de solo, em que, por exemplo, os argilosos apresentam comportamentos diferentes quanto ao fluxo e à expansão da água em seu perfil, quando comparados aos solos arenosos, que foi o utilizado no presente estudo. Sendo assim, faz-se necessária a realização de mais pesquisas sobre os diferentes métodos e os sistemas de irrigação no cultivo da palma forrageira.

4.4 Conclusão

Nas condições em que foi desenvolvido o presente trabalho, conclui-se que as frequências de corte de 6 e 12 meses apresentaram os melhores resultados de eficiência de uso da água para produção de massa fresca na palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, enquanto para eficiência de produção de massa seca o melhor resultado ocorreu na frequência de corte de seis meses.

Quanto ao sistema de irrigação, a aspersão convencional apresentou o melhor resultado de eficiência de uso da água para produção de massa fresca da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana, enquanto para produção de massa seca os maiores valores foram obtidos no sistema de aspersão convencional e micro spray jet.

5 CONCLUSÃO FINAL

O sistema de aspersão convencional e a frequência de corte de 12 meses apresentam, de forma geral, os melhores resultados, podendo ser adotadas como estratégia de cultivo irrigado e adensando da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.).

REFERÊNCIAS

- ALI, M. H.; HOQUE, M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. **Agricultural water management**, v.92, p.151-161, 2007.
- ALVES, R. N.; FARIAS, I.; MENEZES, R. S. C.; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 20, n.4, p.38-44, 2007.
- ARAÚJO FILHO, J. A. **Manejo Pastoril Sustentável na Caatinga**. Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 200 p. 2013.
- ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C. de.; FÉLIX, E. S.; SOUZA, J. T. A.; LIMA, W. B. de. **Palma Forrageira: plantio e manejo**. Campina Grande-PB. INSA, 2019. 60 p.
- AUJLA, M. S.; THIND, H. S.; BUTTAR, G. S. Cotton yield and water-use efficiency varius levels of water and N through drip irrigation under two methods of planting. **Agricultural Water Management**, v.71, n.1, p.167-179, 2005.
- BARRETO FILHO, A. A.; NETO, J. D.; MATOS, J. A. de.; GOMES, E. M. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.4, n.3, p.309-314, 2000.
- BATISTA, A. M. V.; MUSTAFA, A. F.; SANTOS, G. R. A.; CARVALHO, F. F. R. de.; DUBEUX JR., J. C. B.; LIRA, M. A.; BARBOSA, S. B. P. Chemical composition and ruminal dry matter and crude protein degradability of spineless cactus. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.189, n.2, p.123-126, 2003.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de irrigação por aspersão**. Dourados-MS: Ed. UFGD, 2009.
- BISCARO, G. A. **Sistema de irrigação localizada**. Dourados-MS: Ed. UFGD, 2014. 256 p.
- BORLAND, A. M.; WULLSCHLEGER, S. D.; WESTON, D. J.; HARTWELL, J.; TUSKAN, G. A.; YANG, X.; CUSHMAN, J. C. Climate-resilient agroforestry : physiological responses to climate change and engineering of crassulacean acid metabolism (CAM) as a mitigation strategy. **Plant, Cell & Environment**, v.38, n.9, p.1833-1849, 2014.
- BRADY, N.C; WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 14. ed. Harlow: Prentice Hall, 2008. p. 965.
- CABRAL, R. C. **Evapotranspiração de referência de Hargreaves (1974) corrigida pelo método Penman-Monteith/FAO (1991) para o estado do Ceará**. 2000. 83f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.

- CARNEIRO, M. S. S.; VIANA, O. J.; ALBUQUERQUE, J. J. L.; ALMEIDA, F. A. G. Manejo de corte em palma gigante – *Opuntia ficus indica* (L.) Mill – e palma doce – *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm Dick. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.18, n.6, p.526-531, 1989.
- CARVALHO, A. J. de. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.6, p.413-418, 2019.
- CARVALHO, A. L. de.; MENEZES, R. S. C. Pegadas hídricas em sistemas agropecuários na região Semiárida do Nordeste do Brasil. **Revista Agroambiente on-line**, v.8, n.1, p.142-148, 2014.
- CARVALHO, G. G. P.; REBOUÇAS, R. A.; CAMPOS, F. S.; SANTOS, E. M.; ARAÚJO, G. G. L.; GOIS, G. C.; OLIVEIRA, J. S. de.; OLIVEIRA, R. L.; RUFINO, L. M. A.; AZEVEDO, J. A. G.; CIRNE, L. G. A. Intake, digestibility, performance, and feeding behavior of lambs fed diets containing silages of different tropical forage species. **Animal Feed Science and Technology**, v. 228, p.140-148, 2017.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M. da. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M A.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v.7, n.1, p.57-60, 2005.
- COSTA, R. G.; BELTRÃO FILHO, E. M.; MEDEIROS, A.; GIVISIEZ, P. Effects of increasing levels of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) in the diet of dairy goats and its contribution as a source of water. **Small Ruminant Research**, v.82, p.62-65, 2009.
- COSTA, R. G.; TREVIÑO, I. H., MEDEIROS, G. R., MEDEIROS, A. N., PINTO, T. F.; OLIVEIRA, R. L. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**, v.102, n.1, p.13-17, 2012.
- CRUZ NETO, J. F.; MORAIS, J. E. F de.; SOUZA, C. A. A de. CARVALHO, H. F. 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.02, n.02, p.98-106, 2017.
- DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A. S.; PIRES, A. J. V.; SILVA JUNIOR, A. A. e. Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.4, p.238-243, 2017.
- 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, n.1, p.151-158, 2014b.

- DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, v. 27, n.1, p.163-172, 2014a.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; MÉRCIA, V. F. dos; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C. dos; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-20. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135, 2010.
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Potential of cactus pear in South America. **Cactusnet Newsletter**, v. 13, Edição especial, p. 29-40, 2013.
- DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v.67, p.357-372, 2006.
- DUQUE, J. G. **O Nordeste e as lavouras xerófilas**. 4ª ed. – Fortaleza: Banco do Nordeste, 2004. 330 p.
- EDVAN, R. L.; FERNADES, P. D.; CARNEIRO, M. S. S.; NEDER, D. G.; ARAUJO, J. S.; ANDRADE, A. P. de.; SOUTO FILHO, L. T. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. **Revista da Academia de Ciências Agrárias e Ambiental**, v.11, n.4, p.35-43, 2013.
- EDVAN, R. L.; MOTA, R. R. M.; DIAS-SILVA, T. P.; NASCIMENTO, R. R. do.; SOUSA, S. V. de.; SILVA, A. L. da.; ARAÚJO, M. J. de.; ARAÚJO, J. S. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, 2020.
- ELOI, W. M.; VIANA, T. V. A.; SOUSA, V. F. de.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de.; AZEVEDO, B. M. de. Efeitos da fertirrigação de N e K₂O na distribuição do sistema radicular da gravioleira. **Revista Caatinga**, v.20, n.2, p.50-58, 2007.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília (DF): EMBRAPA Solos, 2013. 353p.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. Roma: FAO, 1995. 216p.
- FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; TAVARES FILHO, J. J.; SANTOS, M. V. F. dos.; FERNANDES, A. P. M.; SANTOS, V. F. dos. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira em consórcio com sorgo granífero no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.341-347, 2000.
- FELIX, E.S.; LIMA, W. B. de.; SILVA, C. T. da.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C. de. Cultivo de palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigada com água salinizada. **Brazilian Applied Science Review**, v.2, n.6, Edição Especial, p.1869-1875, 2018.

FERREIRA, M. A.; BISPO, S. V.; ROCHA FILHO, R. R.; URBANO, S. A.; COSTA, C. T. F. 2012. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: PetrKonalina. (Org.), Organic Farming and Food Production. InTech, South Bohemia, p. 1-22, 2012.

FIRINCIOGLU, H. K.; SABAHADDIN, Ü.; ERASLAN, E.; LEVENTET, D. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.116, n.1-2, p.30-37, 2010.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R.; SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water use efficiency on *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.41, p.e 42631, 2019.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; e REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e microaspersão**. 1ª ed., 2012. 356 p.

GALVÃO JÚNIOR, J. G. B.; SILVA, J. B. A.; MORAIS, J. H. G.; LIMA, R.N. Palma forrageira na alimentação de ruminantes: cultivo e utilização. **Acta Veterinaria Brasilica**, v.8, n.2, p.78-85, 2014.

HAN, H. & FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal Arid Environ**, v.36, p.133-148, 1997.

HILLS, F. S. **Anatomy and morphology**. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E. P. (eds). Agro-ecology, cultivations and uses of cactus pear. Rome. FAO. v.132, p.28-35, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário, 2017**. Disponível: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?view=detalhes&id=73096>>. Acesso em 20 Ago. 2019.

INGLESE, P.; LIGUORI, G.; BARRERA, E. **Ecophysiology and reproductive biology of cultivated cacti**. In: Food and agriculture organization of the United Nations 2017. Crop ecology, cultivation and uses of cactus pear. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas Rome, p. 29-39, 2017.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal – Russas, Ceará**. 2009. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Russas_2009.pdf. Acesso em 28 Mar. 2020.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F. da.; SOUZA, L. S. B. de.; ALVES, H. K. M. N.; ARAÚJO, J. F. N. de.; SILVA, G. I. N. da.; SILVA, J. O. N. da. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.357-365, 2019.

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

KUNZ, JR.; ÁVILA, V. S. de; PETRY, M. Distribuição temporal e espacial da umidade do solo em sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, v.13, n.5, p.3963-3976, 2014.

LÉDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A. da.; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A. J. de. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, n.6, p.413-418, 2019.

LEMOS, M. de.; FERREIRA NETO, M.; MEDEIROS, J. F. de.; DIAS, N. S.; FRANÇA e SILVA, Ê. F. de.; LIRA, R. B. de. Nutritional evaluation of forage cactus fertigated with domestic sewage effluent. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 2, p.476-486. 2018.

LIMA, G. F. C.; SILVA, J.G.M.; AGUIAR, E.M.; TELES, M. M. **Reservas forrageiras estratégicas para a pecuária familiar no semiárido: palma, fenos e silagem**. Natal, RN: EMPARN (Série Circuito de tecnologias Adaptadas para a Agricultura Familiar, 8), 2010. 53 p.

LIMA, G. F. C.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M. da.; AGUAR, E. M. de. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v.29, n.2, p.481-488, 2016.

LIMA, W. S.; PEREZ-MARIN, A. M.; LAMBAIS, G. R. Adubos orgânicos no desenvolvimento de variedades da palma forrageira. **Revista Verde**, v.13, n.2, p.170-175, 2018.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. São Paulo: ANDA, 1990, 15 p.

LOPES, J. S.; JAEGER, S. M. P. L.; TAVARES, J. T. Q.; SILVA, A. M. da; LEDO, C. A. S. Composição bromatológica da palma forrageira (*Nopalea cocchenilifera* (L.) Salm-Dyck) amonizada. **Revista Magistra**, v. 17, n. 3, p. 107-113, 2005.

LOPES, L. A.; CARDOSO, D. B.; CAMARGO, K. S.; SILVA, T. G. P. da.; SOUZA, J. S. R.; SILVA, J. R. C. da.; MORAIS, J. S. de.; ARAÚJO, T. P. M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **PUBVET**, v.13, n.2, a 277, p.1-10, 2019.

LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; GOMES, E. C.; FERNANDES, R. C.; POMPEU, F.; SILVA, R. G. Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Ciência Agronômica**, v.49, n.2, p.324-333, 2018.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2ª ed. Viçosa, MG: UFV, 2009. 355 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças**. Circular Técnica 98. Brasília, DF. 2ª ed. 2011. 52 p.

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

MIRANDA e SILVA, N. G. de.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. dos.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L. de.; SILVA, M. C. Relação entre características morfológicas e

produtivas de clones de palma forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, n.11, p.2389-2397, 2010.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; THIERES, I. I. S. S.; SILVA, G. F. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>. Acesso em 06 Jun. 2019.

MOURA, M. S. B. de.; SOUZA, L. S. B. de.; SILVA, T. G. F. da.; SÁ, I. I. S. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado de Pernambuco. EMBRAPA, Série: Documentos n^o 242. 2011.

NOBEL, P. S. **Biologia ambiental**. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; BARRIOS, E. P. (Eds) Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João Pessoa, PB: SEBRAE/PB. 2001. 216 p.

NOBEL, P. S. **Environmental biology**. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. Rome: FAO. p. 36-48. 1995.

NOBEL, P. S. **Environmental biology of agaves and cacti**. New York: Cambridge University Press, 1988. 270 p.

NOBEL, P. S.; GARCIA DE CORTAZAR, V. Growth and predicted productivity of *Opuntia ficus-indica* for current and elevated carbon dioxide. **Agronomy Journal**, v.83, p.224-230, 1991.

NOBEL, P. S.; HARTSOCK, T. L. Physiological response of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 60, p. 98-105, 1984.

OLIVEIRA, A. S. de; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, C. A. Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia. **Bahia Irrigação**, v.9, n.2, 2004a.

OLIVEIRA, E. A.; JUNQUEIRA, S. F.; R. J. MASCARENHAS. Caracterização físico-química e nutricional do fruto da palma (*O. ficus indica* L. Mill) cultivada no sertão do sub-médio S. Francisco. **Holos**, v.3, n.27. 2011.

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

OLIVEIRA JUNIOR, S. de; BARREIRO NETO, M.; RAMOS, J.P. de F.; LEITE, M.L. de M.V.; BRITO, E.A. de; NASCIMENTO, J.P. do. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.3, p.7-12, 2009.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 28. P. 439-445, 2004b.

PEREIRA, L. C.; VALERO, J. A. J.; BUENDÍA, M. R. P.; MARTÍN-BENITO, J. M. T. **El riego y sus tecnologías**. 1ª ed. Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296p.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVOS, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39-51, 2012.

PEREIRA, J. S.; CAVALCANTE, A. B.; NOGUEIRA, G. H. M. S. M. F.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. de.; SIMÕES, W. L.; VOLTOLINI, T. V. Morphological and yield responses of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana under different cutting intensities. **Revista Brasileira de Saúde e Produção animal**, v.21, p. 01-10, 2020.

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

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

PINTO, M. S. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Socied. Bras. de Zoot., 39. Recife- PE, 2002. **Anais...** Recife-PE: SBZ, v.1, p.54-64. 2002.

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

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

RAMOS, J. P. F.; SANTOS, E. M.; FREITAS, F. F.; CANDIDO, E.; LIMA JUNIOR, A. C. de.; LEITE, M. L. V.; OLIVEIRA JUNIOR, S. de. Caracterização técnica dos sistemas de produção de palma forrageira em Soledade, PB. **Agropecuária Técnica**, v.35, n.1, p.23-30, 2014.

RAMOS, J. P. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A. BEZERRA, H. F. C.; PEREIRA, G. A.; BELTRÃO, G. R.; OLIVEIRA, J. S. Crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica. **Revista Electrónica de Veterinária**, v.16, n.12, p.1-11, 2015.

REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B. Morfologia e rendimento de biomassa da palma Miúda irrigada sob doses de adubação orgânica e intensidades de corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v.16, n.2, p. 118-130, 2014.

- RIBEIRO, P. A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de Água. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal/SP, v.30, n.2, p. 279-287, 2010.
- 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.
- SALES, A. T.; ANDRADE, A. P. de.; SILVA, D. S.; LEITE, M. L. M. V.; VIANA, B. L.; RAMOS, J. P. F. Taxa de crescimento relativo de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.1, p.340-346, 2003.
- SANTOS, D. B. dos.; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V. de. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.3, p.327-333, 2005.
- SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. dos.; ARRUDA, G. P. de. COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; MELO, J. N. de. **Manejo e utilização da palma forrageira (Opuntia e Nopalea) em Pernambuco**. Recife/PE: IPA, 2006. 48 p.
- SANTOS, M. R. dos.; DONATO, S. L. R.; COTRIM JR, P. R. F. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.75-86, 2020.
- SANTOS, M. R. dos.; SILVA, A. J. P. da. FONSECA, V. A.; CAMPOS, A. R. F.; LISBOA, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.296, p.1-13, 2017.
- SANTOS, N. L.; SILVA, M. L. R.; CHAVES, M. A. Efeito da irrigação suplementar sobre a produção dos capins tifton 85, tanzânia e marandu no período de verão no sudoeste baiano. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.9, n.4, p.911-922, 2008.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, p. 158-167, 2016.
- SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stressinduced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus - Biologies**, v.331, n.3, p.215–225, 2008.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; PINTO, I. M. Y. P.; RAMOS, J. P. F. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas sob correlações canônicas. **Revista Agrarian**. v.13, n.47, p.100-106, 2020.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. F.; PERAZZO, A. F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. L. Características agrônômicas de variedades de *Opuntia ficus indica* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v.15, n.6, p.88-96, 2019.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 3ª ed. Viçosa, MG: UFV. 2006. 235p.

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, 2014a.

SILVA, N. G. M.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L.; SILVA, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.39, n.11, p.2389-2397, 2010.

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; BORGES, V. E.; DANTAS JUNIOR, G. J.; DANTAS NETO, J. Crescimento e produção de palma forrageira sob fertilização mineral. UFCG. Campina Grande-PB. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.4, n.2, p. 96-115, 2015a.

SILVA, R. G.; CÂNDIDO, M. J. D.; NEIVA, J. N. M.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, D. S. da. Características estruturais do dossel de pastagens de capim-tanzânia mantidas sob três períodos de descanso com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, n.5, p.1255-1265, 2007.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SIQUEIRA e SILVA, S. M.; MORAIS, J. E. F. de.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. de. 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, 2014b.

SILVA T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; SILVA. S. M. S.; MOURA, M. S. B. de.; SANTOS, D. C. dos.; 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, 2014a.

SNYMAN, H. A. Effect of water stress on root growth of *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia robusta*. **South African Journal of Animal Science**, v. 34, n. 6, p. 101-103, 2004.

SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-years-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. **South Africa Journal of Botany**, v. 72, p. 434-441, 2006.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/739568/do1-2017-12-05-resolucao-n-115-de-23-de-novembro-de-2017-739564. Acesso em 12 fev. 2020.

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; NASCIMENTO, J. A. M. Liberação de nutrientes de esterco em luvisolo no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v.26, n.4, p.69-78, 2013.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A. p.203-242. 2009.

TESTEZLAF, R. **Irrigação, métodos, sistemas e aplicações**. Campinas/SP. Unicamp/FEAGRI. e-book: 2017. 215p.

TURNER, N. C. Agronomic options for improving rainfall-use efficiency of crops in dryland farming systems. **Journal of Experimental Botany**, v.55, n.407, p.2413-2425, 2004.

XAVIER, M. A.; BATISTA, M. C.; SANTOS, J. P. O.; SILVA, J. L. C. da.; CARTAXO, P. H. A.; REGES, R. S.; PEREIRA, D. D. P. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Revista Agrarian**, v.13, n.47, p.74-81, 2020.

ZÚÑIGA-TARANGO, R.; ORONA-CASTILLO, I.; VÁZQUEZ-VÁZQUEZ, C.; MURILLO, B. A.; SOSA, E. S.; MARTÍNEZ, J. D. L.; HERNÁNDEZ, J. L. G.; PUENTE, E. R. Desarrollo radical, rendimiento y concentración mineral en nopal *Opuntia ficus indica* (L) Mill en diferentes tratamientos de fertilización. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, n.11, p.53-68, 2009.