



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

**PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA
COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE
PLANTIO**

VARLEY ANDRADE FONSECA

2021

VARLEY ANDRADE FONSECA

PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO

Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato

**Janaúba
2021**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Fonseca, Varley Andrade

F676p Palma forrageira 'Gigante' irrigada com água salina sob densidades de plantio [manuscrito] / Varley Andrade Fonseca – 2021.

65 p.

Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2021.

Orientador: Prof. D. Sc. Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

1. Palma forrageira. 2. Plantas Populações. 3. Plantio. 4. Salinidade. I. Donato, Sérgio Luiz Rodrigues. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

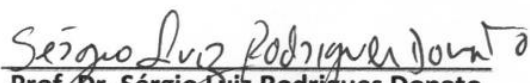
CDD. 633.2

VARLEY ANDRADE FONSECA


PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO


Tese apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

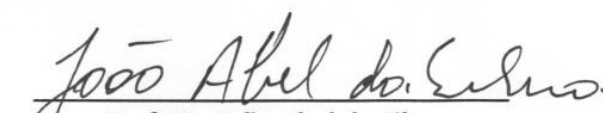
APROVADA em 19 de março de 2021.


Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato
IF Baiano / Unimontes (Orientador)


Prof. Dr. Marcos Koiti Kondo
Unimontes (Coorientador)


Prof. Dr. Ignácio Aspiazú
Unimontes (Conselheiro)


Profa. Dra. Maria Geralda Vilela Rodrigues
Epamig Norte (Conselheira)


Prof. Dr. João Abel da Silva
IF Baiano (Conselheiro)

**Janaúba
2021**

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	5
GENERAL ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO GERAL	7
REFERÊNCIAS	9
ARTIGO I	11
MORFOMETRIA E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO	13
INTRODUÇÃO.....	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
CONCLUSÕES	34
AGRADECIMENTOS	35
REFERÊNCIAS	36
ARTIGO II	39
NUTRIENTES EM PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO	41
INTRODUÇÃO.....	42
MATERIAL E MÉTODOS.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
CONCLUSÕES	61
AGRADECIMENTOS	61
REFERÊNCIAS	62
CONCLUSÃO GERAL	65

RESUMO GERAL

FONSECA, Varley Andrade. **Palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio**. 2021. 65p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal no Semiárido) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. Orientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato - IFBaiano - *Campus* Guanambi. Coorientadores: Marcos Koiti Kondo - Unimontes e Marcelo Rocha dos Santos - IFBaiano.

A palma forrageira é uma cultura relevante no cenário da pecuária, e amplamente cultivada devido às adaptações morfofisiológicas de tolerância às condições edafoclimáticas da região semiárida, que permitem a produção de forragem. Objetivou-se avaliar as características morfométricas, de rendimento e os teores de nutrientes em palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo utilizados nas parcelas dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas quatro densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e nas subsubparcelas quatro lâminas de irrigação (0, 11, 22 e 33% da ETo). A irrigação com água de alta salinidade não limita o crescimento e a produtividade de palma forrageira ‘Gigante’, até o segundo ciclo de produção. A aplicação da lâmina 33% da ETo promove incremento das características morfométricas, aumento da produtividade de matéria verde no primeiro e segundo ciclo e da produtividade de matéria seca no primeiro ciclo da palma forrageira ‘Gigante’. As máximas produtividades de matéria verde e seca, e de eficiência de uso da água com base nestas produtividades são obtidas com densidades de plantio de 61.465 e 67.786 plantas ha⁻¹, e 61.848 e 69.707 plantas ha⁻¹, respectivamente. A aplicação de lâminas crescentes de irrigação promove redução da eficiência de uso da água com base nas produtividades de matéria verde e de matéria seca. A aplicação da lâmina 33% da ETo com água de alta salinidade, possibilita aumento dos teores de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’. Os máximos teores de K, S e Na nos tecidos dos cladódios são obtidos com aplicação de lâminas de irrigação entre 16 e 25% da ETo.

Palavras-chave: *Opuntia fícus-indica*. Salinidade. População de plantas.

GENERAL ABSTRACT

FONSECA, Varley Andrade. **‘Gigante’ cactus pear irrigated with saline water under planting densities**. 2021. 65p. Thesis (Doctor’s Degree in Plant Production in Semiarid) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba-MG. Advisor: Sérgio Luiz Rodrigues Donato – IFBaiano – *Campus Guanambi*. Co-Advisors: Marcos Koiti Kondo – Unimontes e Marcelo Rocha dos Santos – IFBaiano.

The forage cactus is a relevant crop in the livestock scene, and widely cultivated due to the morphophysiological adaptations of tolerance to the edaphoclimatic conditions of the semiarid region, which allow forage production. The objective of this study was to evaluate the morphometric characteristics, yield and nutrient content of ‘Gigante’ forage cactus irrigated with saline water under planting densities. The experimental design was in randomized blocks in a split-split plot scheme, with two irrigation shifts (7 and 14 days) being allocated in the plots, in the subplots four planting densities (20,000; 40,000; 60,000 and 80,000 plants ha⁻¹) and in the subplots four blades irrigation (0, 11, 22 and 33% of ETo). Irrigation with high salinity water does not limit the growth and productivity of ‘Gigante’ forage cactus, until the second production cycle. The application of the ETo blade 33% promotes an increase in the morphometric characteristics, an increase in the productivity of green matter in the first and second cycle and in the dry matter productivity in the first cycle of the ‘Gigante’ forage cactus. The maximum yields of green and dry matter, and water use efficiency based on these yields are obtained with planting densities of 61,465 and 67,786 plants ha⁻¹, and 61,848 and 69,707 plants ha⁻¹, respectively. The application of increasing irrigation depths reduces the efficiency of water use based on the productivity of green and dry matter. The application of increasing irrigation depths reduces the efficiency of water use based on the productivity of green and dry matter. The application of the 33% ETo blade with high salinity water allows an increase in the levels of N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn and Zn in the tissues of the ‘Gigante’ forage cactus cladodes. The maximum levels of K, S and Na in the tissues of the cladodes are obtained with the application of irrigation blades between 16 and 25% of the ETo.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*. Salinity. Plant population.

INTRODUÇÃO GERAL

A região semiárida brasileira possui área de 1.128.697 km², o que corresponde a 13,3% do território nacional e abrange 1.262 municípios, sendo 278 localizados na Bahia, estado com maior participação (BRASIL, 2017).

Nesta região, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) é uma cultura relevante no cenário da pecuária. É amplamente cultivada devido a características peculiares de tolerância às condições edafoclimáticas que permitem a produção de forragem e o fornecimento aos animais, em especial em épocas do ano com baixa disponibilidade de outras forrageiras.

Dentre as características adaptativas da palma tem-se o Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), que promove economia de água, devido à abertura dos estômatos durante a noite, para fixação de CO₂ e fechamento durante o dia (DONATO et al., 2020). Além disso, a presença de cutícula impermeável e menor número de estômatos reduzem a perda de água (ROCHA, 2012), o que a coloca em vantagem competitiva com outras plantas forrageiras em termos de capacidade produtiva diante da instabilidade climática que predomina no semiárido.

Apesar de sua adaptabilidade, a palma forrageira pode não expressar todo seu potencial de produção diante da ocorrência de condições extremas de estresse como, por exemplo, temperaturas elevadas e severa restrição hídrica. Neste contexto, pesquisas com irrigação da palma forrageira vêm mostrando resultados satisfatórios da suplementação hídrica no rendimento dessa cultura (CASTRO et al., 2020; QUEIROZ et al., 2015).

No entanto, ainda são escassos estudos com a suplementação hídrica da palma forrageira utilizando água salina, o que justifica a sua realização com a finalidade de obter resultados de viabilidade de uso desse tipo de água e aumentar o rendimento da cultura. A escassez de recursos hídricos no semiárido é visível, e quando disponível para irrigação apresenta, em sua maioria, alto teor de sais, o que demanda a busca por alternativas para inserção dessas águas nos sistemas de produção (SILVA et al., 2014). A utilização de água salina na irrigação de uma planta tolerante às condições adversas do semiárido, como a palma forrageira, pode ser uma alternativa viável para melhorar os seus índices produtivos.

A densidade de plantio da palma forrageira é um fator importante ao planejar a implantação de um palmar, pois pode afetar a interceptação da luz e a eficiência fotossintética, influenciando no desenvolvimento e na produtividade da cultura (CAVALCANTE et al., 2014). Desta forma, estudo de irrigação da palma com água salina cultivada em diferentes densidades de plantio é importante para elucidar a capacidade de expressão da planta nas

diferentes combinações de manejo.

Características morfológicas como altura da planta, número, comprimento, largura e índice de área do cladódio indicam a adaptação da palma às mudanças nas práticas de manejo. Maior plasticidade fenotípica indica, conseqüentemente, maior capacidade de adaptação às condições do habitat (LARCHER, 2000).

O conhecimento dos teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios de palma é essencial para a avaliação do estado nutricional da planta e com alterações no manejo da cultura, como irrigação com água salina associada a densidades de plantio, permite compreender as alterações da competição por nutrientes entre plantas, bem como a disponibilidade de nutrientes no solo, absorção pelas plantas e acúmulo no tecido vegetal.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar as características morfométricas, de rendimento e os teores de nutrientes em palma forrageira ‘Gigante’ sob irrigação com água salina e densidades de plantio.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Relatório final. **Grupo de trabalho para delimitação do semiárido**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2017.

CASTRO, I. N. de.; SANTOS, S. R. dos.; KONDO, M. K.; MAIA, V. M.; SANTOS, C. C. R. dos. Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 529-540, abr./jun. 2020.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. de A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, out./dez. 2014.

DONATO, S. L. R.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; ARANTES, A. M.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R. Aspectos ecofisiológicos. *In*: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. (Orgs.). **Palma forrageira: do plantio à colheita**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2020, v. 1, p. 43-78.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

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**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015.

ROCHA, J. E. S. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil: o estado da arte**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. (Documentos On line, 106). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/979108/1/DOC106.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SILVA, J. L. de A.; MEDEIROS, J. F. de.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A. de.; SILVA JUNIOR, M. J. da.; NASCIMENTO, I. B. DO. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, (Suplemento), p. S66-S72, 2014.

ARTIGO I

MORFOMETRIA E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’

IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO

(Artigo elaborado conforme normas da revista Acta Scientiarum Agronomy)

MORFOMETRIA E RENDIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO

RESUMO: O cultivo de palma forrageira no semiárido é uma opção consciente frente às mudanças climáticas atuais, e a melhoria do seu sistema produtivo é fundamental para aumentar seu rendimento. Objetivou-se avaliar as características morfométricas e de rendimento de palma forrageira 'Gigante' irrigada com água salina sob densidades de plantio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas quatro densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e nas subsubparcelas quatro lâminas de irrigação (0, 11, 22 e 33% da ETo). A alta salinidade da água de irrigação não limita o crescimento e a produtividade de palma forrageira 'Gigante', até o segundo ciclo de produção. A aplicação da lâmina 33% da ETo promove incremento das características: altura e largura da planta, número, comprimento, largura e espessura do cladódio e índice de área do cladódio de palma forrageira 'Gigante'. As máximas produtividades de matéria verde e seca e de EUA com base nestas produtividades são obtidas com densidades de plantio de 61.465 e 67.786 plantas ha⁻¹, e 61.848 e 69.707 plantas ha⁻¹, respectivamente. A aplicação da lâmina com 33% da ETo promove incremento nas características morfométricas, aumento da produtividade de matéria verde no primeiro e segundo ciclo e da produtividade de matéria seca no primeiro ciclo. A aplicação de lâminas crescentes de irrigação promove redução da EUA com base nas produtividades de matéria verde e de matéria seca.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*, semiárido, salinidade.

ABSTRACT: The cultivation of forage cactus in the semiarid region is a conscious option in the face of current climate changes, and the improvement of its production system is essential to increase its yield. The objective was to evaluate the morphometric and yield characteristics of 'Gigante' forage cactus irrigated with saline water under planting densities. The experimental design was in randomized blocks in a split-split plot scheme, with two irrigation shifts (7 and 14 days) being allocated in the plots, in the subplots four planting densities (20,000; 40,000; 60,000 and 80,000 plants ha⁻¹) and in the subplots four blades irrigation (0, 11, 22 and 33% of ETo). Irrigation with high salinity water does not limit the growth and productivity of 'Gigante' forage cactus, until the second production cycle. The application of the ETo blade 33% increases the characteristics: height and width of the plant, number, length, width and thickness of the cladode and area index cladode of the 'Gigante' forage cactus. The maximum yields of green and dry matter and WUE based on these yields are obtained with planting densities of 61,465 and 67,786 plants ha⁻¹, and 61,848 and 69,707 plants ha⁻¹, respectively. The application of the blade with 33% of ETo promotes an increase in the morphometric characteristics, an increase in the yield of green matter in the first and second cycle and in the yield of dry matter in the first cycle. The application of increasing irrigation levels promotes a reduction in the WUE based on the yield of green and dry matter.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, semiarid, salinity.

INTRODUÇÃO

Diante das mudanças climáticas atuais e futuras, com provável prolongamento do período de estiagem e distribuição irregular das chuvas, o cultivo de palma forrageira (*Opuntia fícus-indica* Mill) em ambientes semiáridos é imperativo para produtores que necessitam garantir a produção de forragem para alimentação animal. A cultura apresenta potencial excepcional para reduzir a desertificação, juntamente com a sustentabilidade para a agricultura moderna, comercial e rentável em terras secas para promover a segurança alimentar (IQBAL et al., 2020).

Apesar de a palma apresentar características morfofisiológicas de tolerância a condições adversas, estresses extremos como falta de água e temperaturas elevadas podem limitar sua produtividade e qualidade nutricional. Assim, a adoção de tecnologias de produção é necessária para maximizar a capacidade produtiva dessa cultura.

Entre as tecnologias aplicadas no cultivo da palma forrageira a irrigação tem sido verificada em estudos como alternativa que melhora seus índices produtivos (CASTRO et al., 2020; FERRAZ et al., 2019; QUEIROZ et al., 2015). No entanto, ao considerar a limitação de recursos hídricos em ambientes áridos, que em condições de aquecimento global, tende a aumentar a ocorrência de estresses hídricos severos nos ecossistemas (SHEN e CHEN 2010), faz-se necessária a avaliação e inserção de águas de qualidade inferior, como as salinas, nos sistemas produtivos da palma forrageira.

A escolha ideal de uma densidade de plantio para qualquer cultura é fundamental para a maximização no uso dos recursos disponíveis para alcançar rendimentos econômicos. Diversos estudos têm demonstrado a influência da densidade de plantio no rendimento de palma forrageira (SILVA et al., 2014), considerando a densidade de plantio associada à adubações orgânica e química (DUBEUX JÚNIOR et al., 2006; SILVA et al., 2016), ou a arranjos que permitem a mecanização (FONSECA et al., 2020).

Contudo, há demanda por estudos que envolvam densidade de plantio de palma associados à irrigação com água salina. Mudanças temporais na competição entre plantas combinadas com os efeitos da seca podem influenciar as características estruturais, fisiológicas e o rendimento das plantas (GUO et al., 2020). Incrementos na densidade de plantio aumentam a produtividade (FONSECA et al., 2020), que pode ser potencializada pela irrigação (FONSECA et al., 2019).

Neste contexto, objetivou-se avaliar as características morfométricas e de rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob irrigação com água salina sob densidades de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, localizado no Município de Guanambi, Sudoeste da Bahia, coordenadas 14°13'30" sul e 42°46'53" oeste, altitude de 525 m, precipitação de 664 mm anuais e temperatura média de 26°C. De acordo com a classificação de Köppen, o clima característico da região é do tipo BSwh: clima quente de caatinga com chuvas de verão e período seco bem definido de inverno.

O solo da área experimental é o Latossolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2018), que corresponde a Ferralsols (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) e Oxisols (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da implantação, foram coletadas amostras de solo na área experimental, a qual abrangia duas áreas com histórico de usos distintos, sendo uma anteriormente cultivada com palma forrageira irrigada e a outra sem cultivos anteriores. Em cada área foram coletadas amostras em pontos aleatórios nas camadas de 0 a 0,20 m de profundidade e realizada caracterização química e determinação da classe textural (Tabela 1).

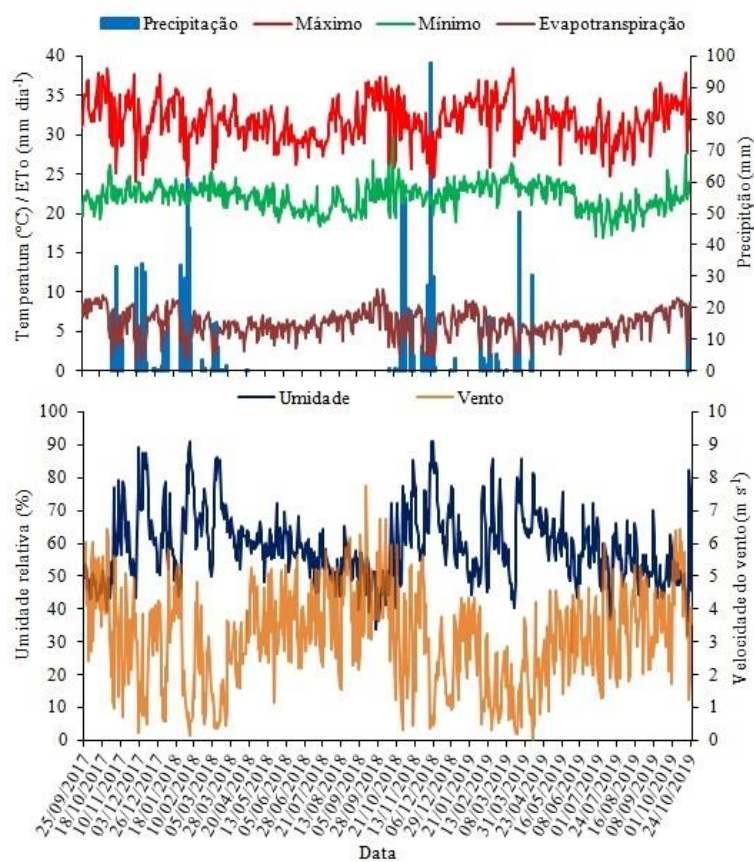
Tabela 1. Atributos químicos e classe textural do solo da área experimental antes do plantio

Atributos	Unidade	Áreas	
		Cultivo anterior com palma irrigada	Sem cultivos anteriores
pH (H ₂ O)		7,5	7,5
MO ¹	dag kg ⁻¹	0,8	0,5
P	mg dm ⁻³	50,1	74,3
K ⁺	mg dm ⁻³	183	140
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,1	0,1
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,7	1,3
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,8	0,3
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0	0
H+Al	cmol _c dm ⁻³	1,4	1,4
S.B. ²	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
t ³	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
T ⁴	cmol _c dm ⁻³	4,5	3,4
V ⁵	%	70	60
B	mg dm ⁻³	0,5	0,3
Cu	mg dm ⁻³	0,3	1
Fe	mg dm ⁻³	42,6	20,8
Mn	mg dm ⁻³	58,8	53
Zn	mg dm ⁻³	4,8	0,9
Prem	mg L ⁻¹	42,4	37,4
CE ⁶	dS m ⁻¹	1,9	0,9
Classe Textural		Franco argilo arenoso	

¹ Matéria orgânica do solo; ² soma de bases; ³ capacidade de troca catiônica efetiva, CTC efetiva; ⁴ CTC a pH 7,0; ⁵ saturação por bases; ⁶ condutividade elétrica.

A despeito do histórico diferente das áreas, os valores estão dentro da mesma classe de fertilidade do solo (Donato et al., 2017), o que justifica a manutenção das mesmas estratégias de manejo. As diferenças na salinidade são decorrentes do cultivo anterior de palma irrigada com mesma água salina utilizada neste estudo, a qual promoveu aporte significativo de cloro ao solo.

O período experimental foi de setembro de 2017 a outubro de 2019. Neste período, as variáveis meteorológicas: temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, velocidade média do vento e precipitação foram coletadas em uma estação meteorológica automática instalada nas proximidades da área experimental (Figura 1).



Dados obtidos da Estação Automática do IF Baiano instalada próxima da área experimental.

Figura 1. Temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento durante o período experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo dispostos nas parcelas dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas quatro densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas por hectare) e nas subsubparcelas quatro lâminas de irrigação (0, 11, 22 e 33% da ETo),

perfazendo um total de 32 tratamentos, com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

Para aplicação das lâminas diariamente foram obtidos dados da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Penman-Monteith e fornecidos por estação meteorológica instalada próxima à área de implantação do experimento e calculado o tempo de irrigação para cada tratamento, conforme equação, para faixa contínua molhada (SANTOS & BRITO, 2016). O sistema de irrigação foi constituído por linhas principais e de derivação de PVC com diâmetro de 50 mm. As linhas laterais foram de tubos gotejadores de 16 mm, com emissores tipo labirinto, com vazão de 2,4 L h⁻¹, espaçados 0,3 m um do outro.

A água com salinidade muito alta utilizada para irrigação foi proveniente de poço tubular e suas características químicas e classificação encontram-se na Tabela 2. A água apresenta classificação C4S1 pela classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985) - C4, água com salinidade muito alta cuja CE, 2,9 dS m⁻¹ (2,25-5,00 dS m⁻¹), considerada inapropriada para irrigação, com recomendação de uso apenas ocasional e em circunstâncias especiais em solos muito permeáveis e com drenagem plena, com lâminas de irrigação acrescidas da fração de lixiviação, ou para uso em culturas tolerantes aos sais; S1 - água com baixa concentração de sódio (RAS = 2,34 ≤ 18,87-4,44 log CE_{ai} = 16,82) pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, havendo pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Tabela 2. Características químicas e classificação da água utilizada no experimento

Características	Unidade	Valor	Unidade	Valor
pH	-	6,30		
Condutividade elétrica (CE)	dS m ⁻¹	2,91		
Cálcio (Ca ⁺⁺)	mmol _c L ⁻¹	15,83	mg L ⁻¹	322,93
Magnésio (Mg ⁺⁺)	mmol _c L ⁻¹	9,13	mg L ⁻¹	111,02
Potássio (K ⁺)	mmol _c L ⁻¹	0,28	mg L ⁻¹	10,95
Sódio (Na ⁺)	mmol _c L ⁻¹	8,26	mg L ⁻¹	189,90
Carbonato (CO ₃ ²⁻)	mmol _c L ⁻¹	0,00	mg L ⁻¹	0,00
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	mmol _c L ⁻¹	5,20	mg L ⁻¹	317,25
Cloreto (Cl ⁻)	mmol _c L ⁻¹	26,40	mg L ⁻¹	942,44
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	2,34		
HCO ₃ ⁻ /Ca ⁺⁺		0,33		
Ca ⁰	mmol _c L ⁻¹	4,76		
RAS _{co}	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	3,13		
RAS ≤ 18,87-4,44 log CE _{ai}		16,82		
Classificação ¹	-	C4S1		
		(Salinidade muito alta)		

¹ Classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985). meq L⁻¹ = mmol_c L⁻¹.

Com a caracterização da água utilizada para irrigação foi determinada a quantidade de elementos aportados com as lâminas de irrigação e turnos de rega (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de elementos aportados com aplicação das lâminas de irrigação e turnos de regas

Lâminas	Turnos de rega	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
		1º Ciclo de produção (kg ha ⁻¹)					
11% da ETo	7	445,53	153,17	15,10	261,99	437,69	1.290,45
22% da ETo	7	891,06	306,34	30,21	523,98	875,39	2.580,90
33% da ETo	7	1.336,59	459,51	45,31	785,97	1.313,08	3.871,35
11% da ETo	15	458,01	157,46	15,53	269,33	449,95	1.326,59
22% da ETo	15	916,02	314,92	31,05	538,66	899,90	2.653,18
33% da ETo	15	1.374,02	472,38	46,58	807,98	1.349,86	3.979,77
2º Ciclo de produção (kg ha ⁻¹)							
11% da ETo	7	485,22	166,81	16,45	285,33	476,68	1.405,41
22% da ETo	7	970,44	333,63	32,90	570,66	953,37	2.810,81
33% da ETo	7	1.455,66	500,44	49,35	855,99	1.430,05	4.216,22
11% da ETo	15	472,62	162,48	16,02	277,92	464,30	1.368,90
22% da ETo	15	945,23	324,96	32,05	555,83	928,61	2.737,80
33% da ETo	15	1.417,85	487,44	48,07	833,75	1.392,91	4.106,70

O plantio da palma (*Opuntia ficus-indica* Mill) cultivar Gigante foi realizado entre os dias 25 de setembro e 01 de outubro de 2017. Para preparo da área, realizou-se aração e gradagem antes do plantio dos cladódios, realizado em sulcos com 0,2 m de profundidade. Os cladódios para plantio foram retirados de palmal com boa sanidade.

Foi utilizado um arranjo de plantas que possibilita mecanização, composto de fileiras triplas espaçadas 3 m umas das outras e com 1 m entre as fileiras simples. Os espaçamentos entre plantas na fileira foram de 0,30; 0,15; 0,10 e 0,075 m, as quais equivalem respectivamente às densidades de plantio 20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas por hectare.

Cada unidade experimental foi constituída de três fileiras de plantas com 5,50 m de comprimento, em que as plantas úteis utilizadas foram aquelas localizadas nas três fileiras e nos 3,5 metros centrais, com área útil de 17,5 m².

O manejo da adubação foi realizado conforme recomendação proposta por Donato et al. (2017). Na implantação foi realizada adubação orgânica de fundação com aplicação de 30 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e uma adubação química com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando como fonte superfosfato simples. Aos 70 dias após o plantio foi realizada a aplicação em cobertura de 300 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o KCl, parcelado em duas vezes. Após a colheita do primeiro e início do segundo ciclo de produção foi realizada uma nova adubação orgânica com aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de esterco caprino e química com a mesma dose de K₂O utilizada na implantação da cultura, também parcelada em duas vezes.

Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratos culturais, a fim de proporcionar condições ideais ao desenvolvimento da cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado com enxada entre as linhas de plantas da fileira tripla e com roçadeira acoplada a trator entre as fileiras triplas. Ao final do primeiro ciclo foi realizado replantio de mudas

somente em pontos onde as falhas foram maiores que 1 m para evitar danos às raízes de plantas já estabelecidas, com a finalidade de aproximar a população de plantas original e realizar avaliações do segundo ciclo.

A aplicação das lâminas de irrigação foi iniciada aos 205 dias após o plantio (DAP), coincidente com a época chuvosa na região e ao período necessário para estabelecimento da cultura. As avaliações do primeiro ciclo foram realizadas aos 386 DAP e antes do período chuvoso, que correspondeu o final do ciclo. Ao término das avaliações do primeiro ciclo, a aplicação das lâminas de irrigação foi suspensa por 196 dias devido à ocorrência de chuvas nesse período. Após período chuvoso e início do período seco, as aplicações das lâminas foram retomadas e as avaliações do segundo ciclo foram realizadas aos 368 dias após colheita do primeiro ciclo.

Ao final de cada ciclo foram avaliadas a salinidade do solo, o número de plantas mortas, as características morfométricas (altura e largura da planta, número, comprimento, largura e espessura dos cladódios), o índice de área de cladódios, o teor de matéria seca, as produtividades de matéria verde e seca e a eficiência de uso da água.

Para verificação do nível de salinidade do solo com a aplicação das diferentes lâminas de irrigação com a água de alta salinidade foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, a uma distância de 20 cm da fileira de plantas de palma e encaminhadas ao laboratório da EPAMIG Norte (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), para determinação da salinidade conforme método descrito por Richards (1954). Foram coletadas amostras de solo em todas as combinações de lâminas de irrigação e turnos de rega na menor e maior densidade de plantio.

O número de plantas mortas foi determinado por contagem direta. Para determinação das características morfométricas foram coletadas aleatoriamente em cada parcela quatro plantas na área útil. A altura e largura das plantas, comprimento e largura dos cladódios foram obtidas com utilização de trena milimetrada. A espessura foi determinada com uso de paquímetro digital. O comprimento e a largura obtidos foram utilizados para estimar o índice de área do cladódio. Para determinação da área do cladódio adotou-se a metodologia utilizada por Donato et al. (2014).

Foram coletadas amostras de tecido dos cladódios distribuídos em diferentes posições na planta com o auxílio de uma serra copo (5,00 cm de diâmetro por 4,00 cm de profundidade), adaptada a uma furadeira movida a bateria (Donato et al., 2017), para determinação do teor de matéria seca.

Para determinação da produtividade de matéria verde foi realizada a colheita de todas as plantas úteis da parcela, realizando-se o corte de todos os cladódios e preservando somente o cladódio “mãe” (cladódio utilizado no plantio). Todos os cladódios colhidos na parcela foram acondicionados em caixas para pesagem e determinação da produtividade de matéria verde (PMV) (Mg ha^{-1}).

A produtividade de matéria seca (PMS) foi determinada em função do teor de matéria seca (MS) do tratamento multiplicado pela produtividade de massa verde (PMV), obtendo assim a PMS (Mg ha^{-1}).

A eficiência de uso da água (EUA) foi obtida pelo quociente entre a produtividade da cultura e o volume total de água aplicado pelos diferentes tratamentos, somada com a precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura. Foi determinada a eficiência de uso da água com base nas produtividades de matéria verde e seca.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e análise de variância adotando-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Foram realizados os desdobramentos das interações significativas. Para o efeito independente dos fatores lâminas de irrigação e densidade de plantio foram ajustados modelos de regressão. Para escolha dos modelos foi considerada a significância dos coeficientes beta pelo teste t; a magnitude do coeficiente de determinação; a significância do quadrado médio da regressão e a adequação do modelo ao fenômeno biológico estudado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Somente a largura da planta no segundo ciclo de produção apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a interação entre os fatores lâminas de irrigação e turnos de rega. Todas as demais características não foram influenciadas pelas interações entre os fatores estudados ($p > 0,05$). O fator turno de rega não influenciou de forma independente ($p > 0,05$) nenhuma característica avaliada.

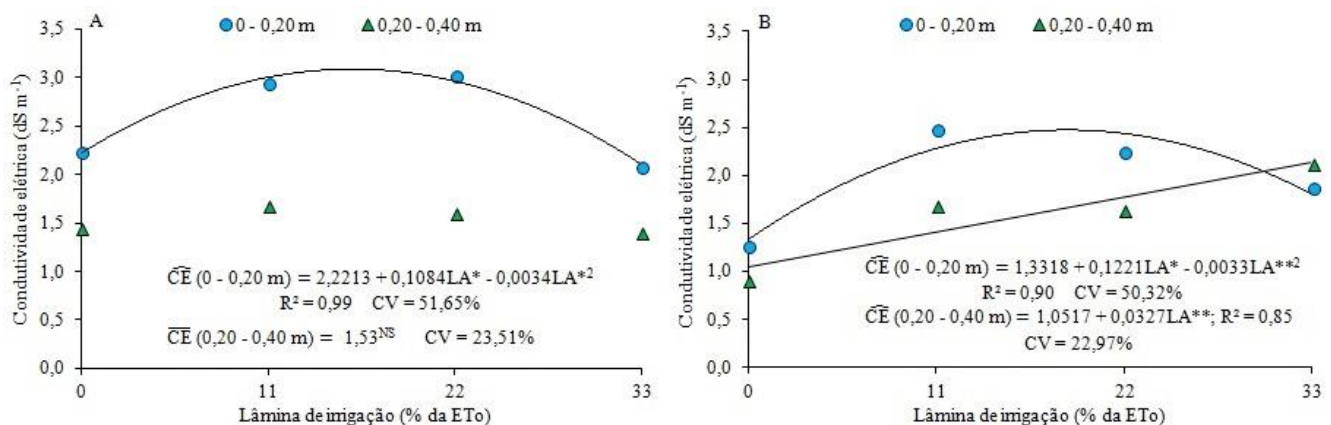
A condutividade elétrica do solo nas duas profundidades e nos dois ciclos de produção avaliados não foi influenciada pelas densidades de plantio ($p > 0,05$).

Após o primeiro ciclo de produção, ajustou-se um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação para condutividade elétrica do solo na profundidade 0 – 0,20 m (Figura 2 A). O maior valor da condutividade elétrica ($3,09 \text{ dS m}^{-1}$) estimado pelo modelo ajustado foi encontrado com a aplicação da lâmina 16% da ETo. Após essa lâmina houve redução de 32,07% até a maior lâmina aplicada (33% da ETo). Não houve ajuste dos modelos testados

para a condutividade elétrica do solo na profundidade 0,20 – 0,40 m em função das lâminas de irrigação após o primeiro ciclo.

Após o segundo ciclo, a condutividade elétrica do solo ajustou-se um modelo quadrático na profundidade 0 – 0,20 m e um modelo linear crescente na profundidade 0,20 – 0,40 m em função das lâminas de irrigação (Figura 2 B). Na profundidade 0 – 0,20 m, a maior condutividade (2,46 dS m⁻¹) foi encontrada com a aplicação da lâmina 19% da ETo. Após essa lâmina houve redução de 28,19% até a maior lâmina aplicada (33% da ETo). A condutividade elétrica do solo na profundidade 0,20 – 0,40 m apresentou incremento de 102,61% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

A maior salinidade do solo na profundidade 0 – 0,20 m, com aplicação de lâminas de irrigação intermediárias, possivelmente está relacionada ao acúmulo de sais na parte superficial do solo. Por outro lado, a redução da salinidade com as maiores lâminas está associada ao processo de lixiviação de sais da superfície para camadas mais profundas, o que pode ser comprovado pelo aumento da salinidade na profundidade 0,20 – 0,40 m no segundo ciclo de produção até a lâmina 33% da ETo (Figura 2 B).



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS}não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 2. Condutividade elétrica do solo nas profundidades 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, após primeiro ciclo (A) e segundo ciclo de produção (B) em função de lâminas de irrigação.

Não houve ajuste dos modelos testados aos dados das características altura da planta, comprimento, largura e espessura do cladódio nos dois ciclos, e largura de planta no primeiro ciclo em função das densidades de plantio.

Ao número de plantas mortas em ambos os ciclos ajustou-se um modelo linear crescente em função das densidades de plantio (Figura 3 A). Com os modelos ajustados estimam-se acréscimos de 4.050 e 4.212 plantas mortas ha⁻¹, respectivamente, para o primeiro e segundo

ciclo para cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Isto representa, respectivamente, incrementos de 286,52 e 459,88% da menor (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹).

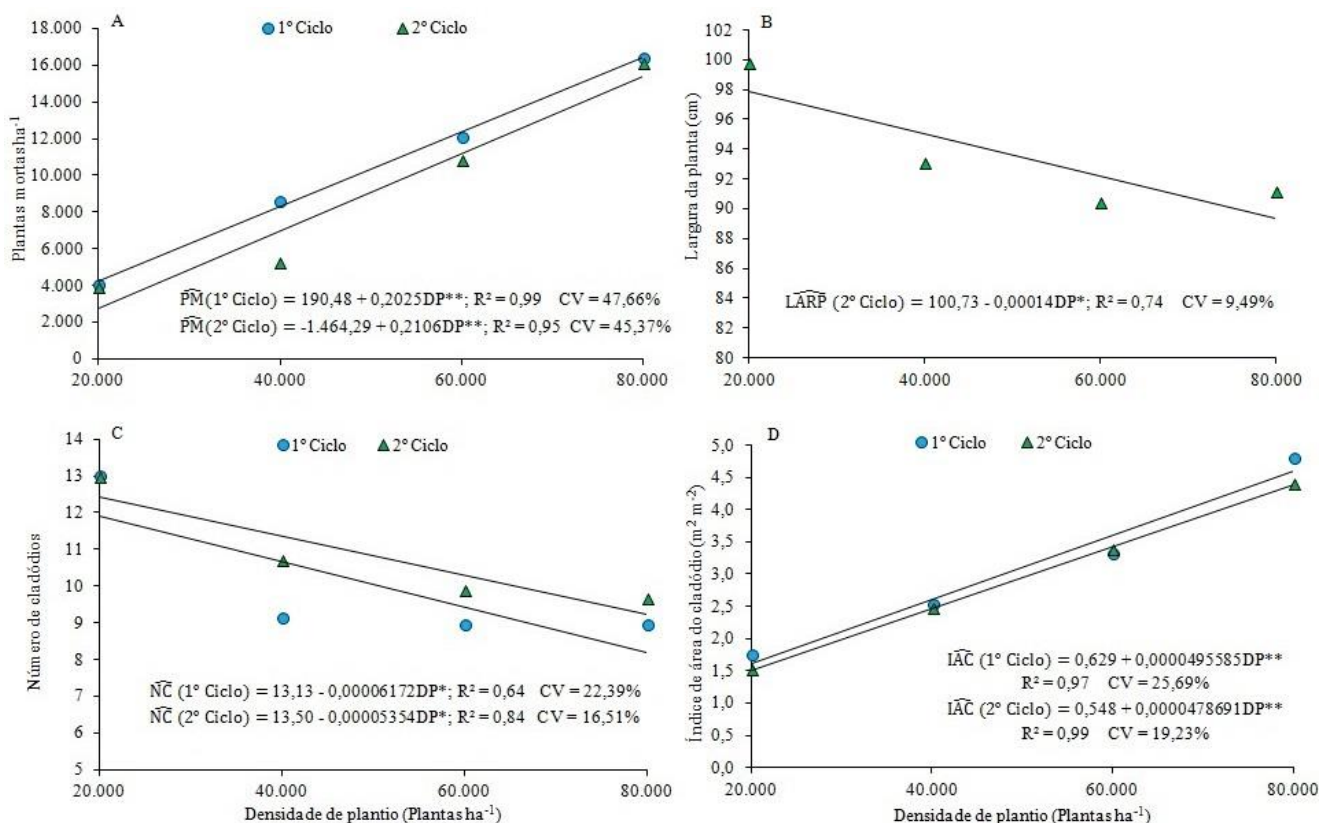
O valores expressivos do número de plantas mortas com o aumento da densidade de plantio estão relacionados à competição por espaço e luz durante o estabelecimento e crescimento das plantas, que por estarem bastante próximas nas maiores densidades acabam limitando o desenvolvimento umas das outras, a diminuição de produtividade (FONSECA et al., 2020), e em condições extremas, como sombreamento total, levam à morte daquelas com menor capacidade de crescimento. Adicionalmente, podem estar associados a maior probabilidade de disseminação e contaminação inter-radicular, de plantas muito próximas por *Fusarium* e *Pectobacterium* (DIAS e JESUS, 2020) que causam frequentes perdas no campo.

À largura da planta no segundo ciclo ajustou-se um modelo linear decrescente em função do aumento da densidade de plantio (Figura 3 B). Com o modelo ajustado estima-se decréscimo da largura da planta de 2,80 cm para cada aumento de 20.000 plantas, equivalente à redução 8,58% da menor (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹).

Ao número de cladódios no primeiro e no segundo ciclo ajustou-se um modelo linear decrescente em função das densidades de plantio (Figura 3 C). Com o modelo ajustado estimam-se reduções de 31,13 e 25,85% do número de cladódios, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo, da menor (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹). Esses resultados concordam com Fonseca et al. (2020), bem como com Cavalcante et al. (2014), que verificaram redução da quantidade e tamanho de cladódios com a elevação na densidade de plantas até 80.000 plantas ha⁻¹.

Para índice de área do cladódio em ambos os ciclos ajustaram-se modelo linear crescente em função das densidades de plantio (Figura 3 D). O modelo ajustado permite estimar acréscimos do IAC de 0,99 e 0,96 m² m⁻², para cada aumento de 20.000 plantas e incrementos de 183,53 e 190,79% para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente, da menor (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹).

Tendo-se que o IAC é a razão da área total de cladódios pela área ocupada pela planta no solo e que houve redução do número de cladódios, o aumento do IAC com incremento na densidade de plantio está relacionado a menor área ocupada pela planta com aumento da densidade, ou seja, o menor espaçamento entre plantas nas maiores densidades possibilitou aumento nos valores de IAC. Esses resultados corroboram Fonseca et al. (2020) que constataram incrementos no IAC até 95.000 plantas ha em condições ambientais semelhantes.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 3. Número de plantas mortas (A), largura da planta (B), número de cladódios (C) e índice de área do cladódio (D) da palma forrageira ‘Gigante’ em função da densidade de plantio.

Não houve ajuste de modelos para as características altura da planta, comprimento e índice de área do cladódio no segundo ciclo de produção em função das lâminas de irrigação.

Houve ajuste de modelo linear decrescente ao número de plantas mortas nos dois ciclos em função das lâminas de irrigação (Figura 4 A), que permite estimar 1.293 e 1.536 plantas mortas, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo para cada aumento de 11% da ETo, equivalendo a reduções de 31,65 e 40,52% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

A diminuição da mortalidade de plantas com o aumento das lâminas de irrigação está relacionada ao suprimento de água para manutenção dos processos metabólicos da planta e evidencia vantagem competitiva dos sistemas irrigados, principalmente em anos com maior variabilidade climática (FONSECA et al., 2019; SANTOS, DONATO & COTRIM JÚNIOR, 2020). Condições de restrição hídrica, principalmente no primeiro ano da cultura, dificultam o

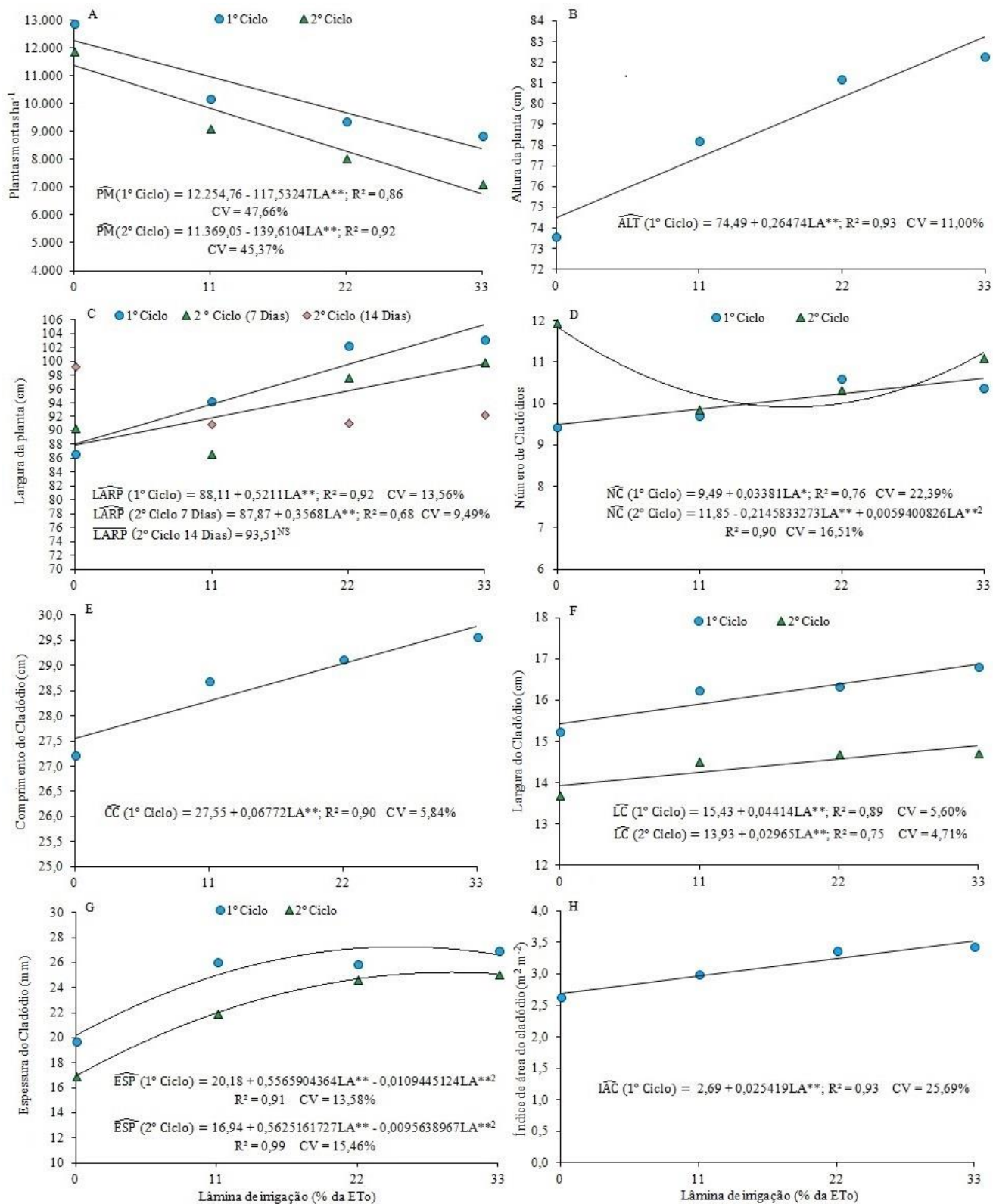
estabelecimento das plantas, pois elas necessitam acumular reservas para manter o crescimento e garantir sua sobrevivência.

À altura da planta no primeiro ciclo ajustou-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4 B), que permite estimar acréscimo de 2,91 cm na altura da planta para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 11,73% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

À largura da planta no primeiro ciclo apresentou ajuste um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4 C), que permite estimar acréscimo de 5,73 cm na largura para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 19,52% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

No segundo ciclo, à largura da planta ajustou-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação com turno de rega de 7 dias. O modelo ajustado estima acréscimo de 3,92 cm na largura para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 13,40% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). Não houve ajuste dos modelos testados à largura da planta em função das lâminas de irrigação com turno de rega de 14 dias.

Os valores de largura da planta no segundo ciclo diferiram entre os turnos de rega em todas as lâminas aplicadas. Na lâmina 11% da ETo o maior valor de largura da planta (91,10 cm) foi obtido com o turno de rega de 14 dias, o qual possibilitou incremento de 4,94% em comparação ao menor valor (86,81 cm) obtido no turno de rega de 7 dias. Nas lâminas 22 e 33% da ETo os maiores valores de largura (97,72 e 99,98 cm) foram obtidos no turno de rega de 7 dias, o qual possibilitou incremento de 7,18 e 8,23% quando comparado aos menores valores obtidos no turno de rega de 14 dias.



R^2 - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 4. Número de plantas mortas (A), altura da planta (B), largura da planta (C), número de cladódios (D), comprimento do cladódio (E) largura do cladódio (F) espessura do cladódio (G) e índice de área do cladódio (H) da palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

No primeiro ciclo houve incremento de 11,76% do número de cladódios do tratamento sem irrigação (Figura 4 D) para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). No segundo ciclo, o menor número de cladódios (10) estimado pelo modelo ajustado foi encontrado com a aplicação da lâmina 18% da ETo, após essa lâmina houve incremento do número de cladódios de 13,37% até a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

Para o comprimento do cladódio no primeiro ciclo, em função das lâminas de irrigação (Figura 4 E), o modelo ajustado estima acréscimo de 0,74 cm no comprimento do cladódio para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 8,11% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

Para a largura do cladódio em ambos os ciclos de produção em função das lâminas de irrigação (Figura 4 F), estimam-se acréscimos de 0,49 e 0,33 cm da largura, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 9,44 e 7,03% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

No segundo ciclo, a redução estimada pelo modelo para o número de cladódios do tratamento sem irrigação até a lâmina 18% da ETo possivelmente está relacionada ao fato de que a planta, ao se encontrar sobre estresse hídrico, utiliza as reservas acumuladas durante o período com condições favoráveis de crescimento (estação chuvosa) para emissão de novos cladódios como mecanismo para garantir a sua produção, mesmo que esses apresentem menores valores de largura e espessura (Figuras 4F e 4G).

Observa-se relação entre as características altura da planta, largura da planta, comprimento, largura e número de cladódios, tendo-se que ocorre sobreposição dos cladódios na planta, quanto maior for o número, comprimento e largura dos cladódios maiores serão a altura e largura da planta. O aumento da disponibilidade hídrica à planta possibilita a emissão de novos cladódios e, conseqüentemente, maior altura e largura da planta concordando com o trabalho de Fonseca et al. (2019) que observaram maiores valores para altura da planta, número de cladódios e comprimento do cladódio com maior aporte de água, principalmente no segundo ciclo de produção.

Para espessura do cladódio, nos dois ciclos de produção, em função das lâminas de irrigação (Figura 4 G), os maiores valores (27,26 e 25,21 mm) ocorreram, respectivamente, para o primeiro e o segundo ciclo com a aplicação das lâminas 25 e 29% da ETo, as quais possibilitaram incremento de 35,07 e 48,83% em comparação aos valores obtidos no tratamento sem irrigação.

Os menores valores de espessura dos cladódios no tratamento sem irrigação sugerem que a planta utilizou sua reserva hídrica interna para manutenção das atividades metabólicas. O

mecanismo de tolerância da palma forrageira ao estresse hídrico em apresentar grandes vacúolos para armazenamento de água com a finalidade de manter seu metabolismo indica que a espessura do cladódio é um indicativo do estado de hidratação da planta, conseqüentemente, da condição de estresse. Como constatado por Fonseca et al. (2019), o maior aporte de água conferiu maior espessura do cladódio, o que indica o maior armazenamento de água por unidade de área (SANTOS, DONATO e COTRIM JÚNIOR, 2020), reflexo do decréscimo do teor de matéria seca sob irrigação (FONSECA et al., 2019).

Para o índice de área do cladódio no primeiro ciclo de produção em função das lâminas de irrigação (Figura 4 H), estima-se acréscimo de $0,28 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 31,18% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

O incremento do IAC, com aplicação das lâminas de irrigação, está relacionado ao aumento do número, comprimento e largura dos cladódios no primeiro ciclo. Maiores valores do IAC indicam o potencial de rendimento da palma forrageira uma vez que refletem em maior área para captação da radiação fotossinteticamente ativa (NOBEL, 2001). Esses resultados estão em fase com Fonseca et al. (2019), que comprovaram maior IAC com aumento do suprimento hídrico, em dois ciclos de produção.

Nenhum modelo apresentou ajuste adequado para o teor de matéria seca em função da densidade de plantio.

Os maiores valores de PMV (188,88 e 183,29 Mg ha^{-1}), foram obtidos, respectivamente com as densidades de plantio 67.786 e 62.467 plantas ha^{-1} , no primeiro e no segundo ciclo, após esses valores houve redução de 1,97 e 4,68% da PMV até a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha^{-1}) (Figura 5 A).

Os maiores valores de PMS (10,45 e 9,76 Mg ha^{-1}), foram obtidos, respectivamente, com as densidades de plantio 65.411 e 61.465 plantas ha^{-1} , no primeiro e no segundo ciclo, após esses valores houve redução de 3,03 e 5,74% da PMS até a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha^{-1}) (Figura 5 B).

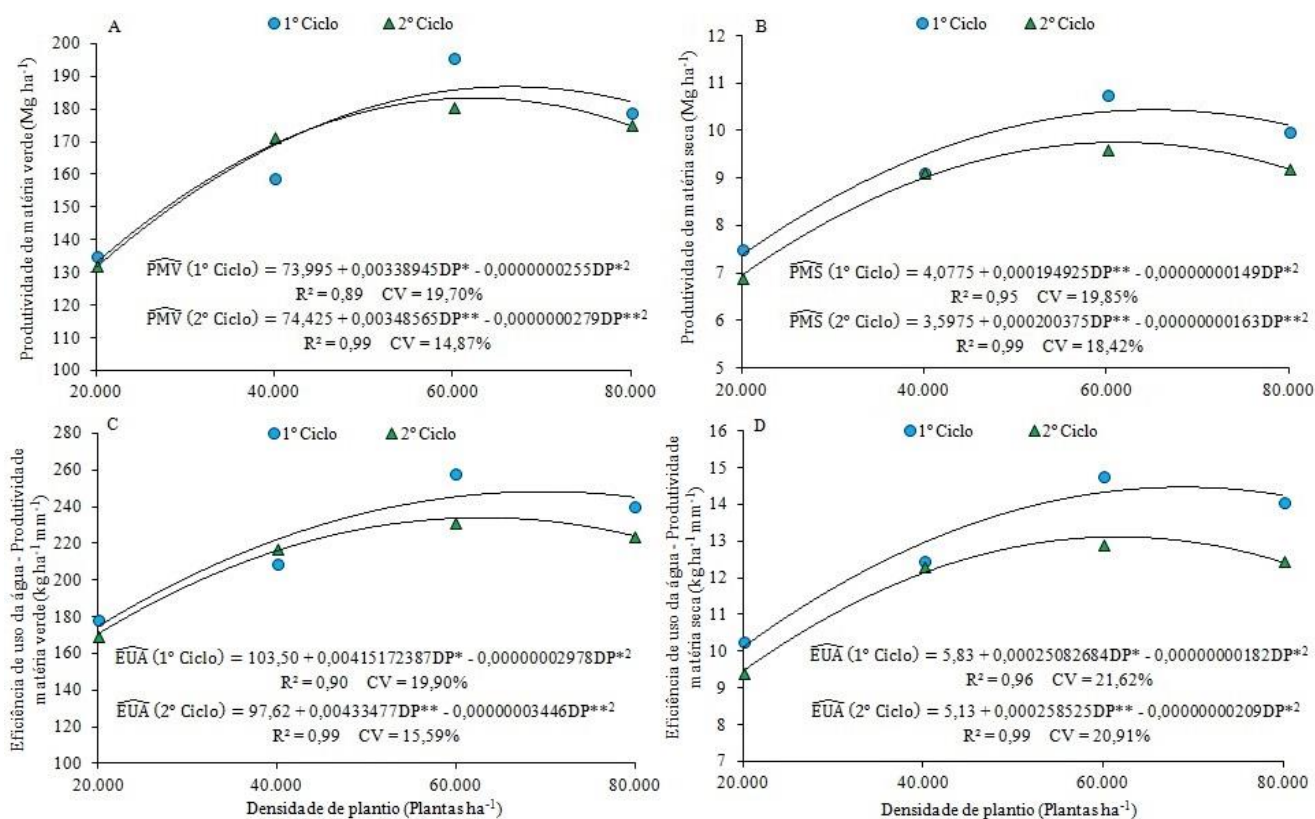
Esses resultados corroboram com os de Fonseca et al. (2020), que em estudo de densidades de plantio, no arranjo mecanizável em palma forrageira ‘Gigante’, verificaram que as máximas produtividades de matéria verde e seca foram obtidas, respectivamente, com as populações 69.111,79 e 64.445,91 plantas ha^{-1} .

Observa-se uma forte relação das características de rendimento com as características número de plantas mortas, largura da planta e número de cladódios. A ausência de resposta no rendimento da palma forrageira com densidades de plantio superiores está relacionada à

competição entre plantas por espaço, luz e nutrientes. Isso é evidenciado pelo aumento do número de plantas mortas e diminuição da largura da planta e número de cladódios com incremento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹.

Nobel (2001) relata que valores de IAC entre 4 e 5 promovem máxima produtividade. Neste estudo foram encontrados, para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹), valores de IAC de 4,59 e 4,38 m² m⁻², respectivamente, no primeiro e segundo ciclo (Figura 3 D). No entanto, vale ressaltar que esses valores de IAC se devem ao menor espaçamento entre plantas, que evidencia a menor área de solo para crescimento e desenvolvimento das plantas e a existência de competição por nutrientes e luz. Ao se aumentar a densidade de plantio ocorre competição por nutrientes em especial aqueles mais móveis e quando as raízes de duas plantas vizinhas entram em contato por nutrientes imóveis (NOVAIS e MELLO, 2007). Dessa forma, os resultados do presente trabalho concordam com Fonseca et al. (2020) e indicam que as produtividades de matéria verde e de matéria seca apresentam ponto de máximo associados a populações de plantas entre 60.000 a 70.000 plantas ha⁻¹, o que sugere que o autossombreamento contribui para o aumento da mortalidade (Figura 4 A) e limita o incremento da produtividade com populações maiores que essas. Infere-se assim, que não há indicativo para uso de densidades de plantio além dessas populações. Adicionalmente, o uso de densidades de plantio muito altas pode inviabilizar a liquidez financeira do palmar pelo aumento excessivo do custo para aquisição de mudas (DONATO et al., 2020).

Brito et al. (2018), em estudo de espaçamento em palma forrageira ‘Gigante’, verificaram maiores valores de eficiência quântica e rendimento quântico do fotossistema II em espaçamento com menor sombreamento. Considerando-se que esses parâmetros indicam o funcionamento do fotossistema II (PSII) e, conseqüentemente, a eficiência no uso da radiação fotoquímica na assimilação de carbono pelas plantas, as maiores densidades de plantio causam menor acúmulo de reserva na planta e, conseqüentemente, menor rendimento.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 5. Produtividade de matéria verde (A), produtividade de matéria seca (B), eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria verde (C) e eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria seca (D) de palma forrageira ‘Gigante’ em função da densidade de plantio.

No primeiro ciclo a EUA considerando as produtividades de matéria verde e seca em função da densidade de plantio (Figura 5 C e D) apresentou os maiores valores (248,20 e 14,47 kg ha⁻¹ mm⁻¹), respectivamente, obtidos com as densidades de plantio de 69.707 e 68.908 plantas ha⁻¹, as quais possibilitaram incremento de 42,14 e 43,03% em comparação aos valores obtidos com a menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹).

Com os maiores valores de EUA no primeiro ciclo, infere-se que são necessários volumes de água de 40,29 e 691,08 L ha⁻¹ para produção, respectivamente, de 1 kg de matéria verde e seca.

Os valores de EUA foram maiores para as produtividades de matéria verde e seca no segundo ciclo em função da densidade de plantio (233,84 e 13,12 kg ha⁻¹ mm⁻¹), respectivamente (Figura 5 C e D). Considerando produtividades de matéria verde e seca, os valores máximos foram encontrados com as densidades de plantio de 62.896 e 61.848 plantas ha⁻¹, após esse valor houve redução de 4,31 e 5,25% da EUA até a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹).

No segundo ciclo com os maiores valores de EUA, infere-se que são necessários um volume de água de 42,75 e 762,19 L ha⁻¹ para produção, respectivamente, de 1 kg de matéria verde e seca.

Observa-se que as densidades de plantio que possibilitaram os maiores valores de rendimento foram concordantes para os valores máximos de EUA. Disso, infere-se que uso de altas densidades de plantio, acima de 70.000 plantas ha⁻¹ não aumenta a produtividade física (FONSECA et al., 2020) e é inviável financeiramente (DONATO et al., 2020).

Ao teor de matéria seca em ambos os ciclos ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6 A). Houve redução de 46,53 e 51,05%, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

A redução do teor de matéria seca com o aumento das lâminas de irrigação está relacionada à constante emissão de cladódios proporcionada pela disponibilidade hídrica, os quais por apresentarem-se tenros contém maior conteúdo de água, além do maior armazenamento de água evidenciado pela maior espessura do cladódio que denota maior turgidez (Figura 4 G) como constatado por Fonseca et al. (2019) e discutido por Santos, Donato e Cotrim Júnior et al. (2020). Já em condições de restrições hídricas a planta utiliza a reserva de água presente nos grandes vacúolos para manutenção das atividades metabólicas, conforme é evidenciado pela menor espessura do cladódio no tratamento sem irrigação (Figura 4 G), com aparência murcha e, por consequência, apresentava maior teor de matéria seca, o que concorda com Scalisi et al. (2016), que observaram que os cladódios irrigados foram mais espessos que os não irrigados.

À PMV, em ambos os ciclos, ajustou-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6 B). Houve incremento de 105,93 e 24,54% para o primeiro e segundo ciclo do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

À PMS no primeiro ciclo ajustou-se um modelo linear crescente e no segundo ciclo um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 6 C). No primeiro ciclo houve incremento de 27,95% da PMS do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). O menor valor de PMS no segundo ciclo (7,26 Mg ha⁻¹) foi encontrado com aplicação da lâmina 26% da ETo, houve redução 36,07% em relação ao tratamento sem irrigação.

Os incrementos na produtividade de matéria verde em ambos os ciclos e de produtividade de matéria seca no primeiro ciclo de produção com o aumento das lâminas de irrigação estão relacionados à manutenção do crescimento da planta com a disponibilidade hídrica, o que

também pode ser comprovado pelos incrementos das características morfométricas em relação ao tratamento sem irrigação (Figura 4). Somado a disponibilidade hídrica, tem-se o efeito da melhoria na disponibilidade de nutrientes no solo com o aumento das lâminas de irrigação e também ao considerável aporte dos nutrientes Ca, Mg e K pela água utilizada na irrigação (Tabela 3).

O efeito da baixa disponibilidade hídrica na palma forrageira é evidenciado pelo estudo de Silva et al. (2016), que ao determinarem curvas de crescimento para palma forrageira ‘Gigante’ em função de espaçamentos e adubações químicas, verificaram estabilização do crescimento das plantas no período seco do ano devido à falta de água e também por comprometimento na disponibilidade de nutrientes.

Fatores ambientais modulam a extensão na qual as capacidades bioquímicas e fisiológicas das plantas CAM são expressas, variações das condições ambientais como disponibilidade hídrica, possibilitam ajustes do padrão de captação de CO₂ com transição gradual para C₃ (TAIZ et al., 2017). Essa capacidade de ajuste explica o acúmulo de reservas e o incremento da produtividade da palma irrigada.

Liguori et al. (2013), ao compararem plantas de palma forrageira irrigada e não irrigadas, verificaram que aos 60 dias após aplicação dos tratamentos a taxa de assimilação líquida de CO₂ em plantas irrigadas dobrou, enquanto em plantas não irrigadas permaneceu inalterada, porém os cladódios tornaram-se flácidos devido à perda de água para manter as atividades fotossintéticas. Isso indica que a condição de estresse da planta em condições de baixa disponibilidade hídrica por períodos prolongados interfere na capacidade de acúmulo de reservas e, conseqüentemente, reflete em menor rendimento.

A redução da produtividade de matéria seca no segundo ciclo com o aumento das lâminas de irrigação está associada ao menor incremento da produtividade de matéria verde nesse ciclo (24,54%) em comparação ao primeiro ciclo (105,93%), a qual não foi suficiente para compensar a redução do teor de matéria seca com aumento da disponibilidade hídrica.

Com os resultados de rendimento obtidos também é possível verificar que a aplicação de lâminas de irrigação com água de alta salinidade não provocou estresse e não limitou o crescimento da palma forrageira ‘Gigante’. Em estudos com *Opuntia* submetidas à irrigação com água de alta salinidade, Nadaf et al. (2018) e Gajender et al. (2014) também verificaram potencial na produção de forragem nessas condições de cultivo.

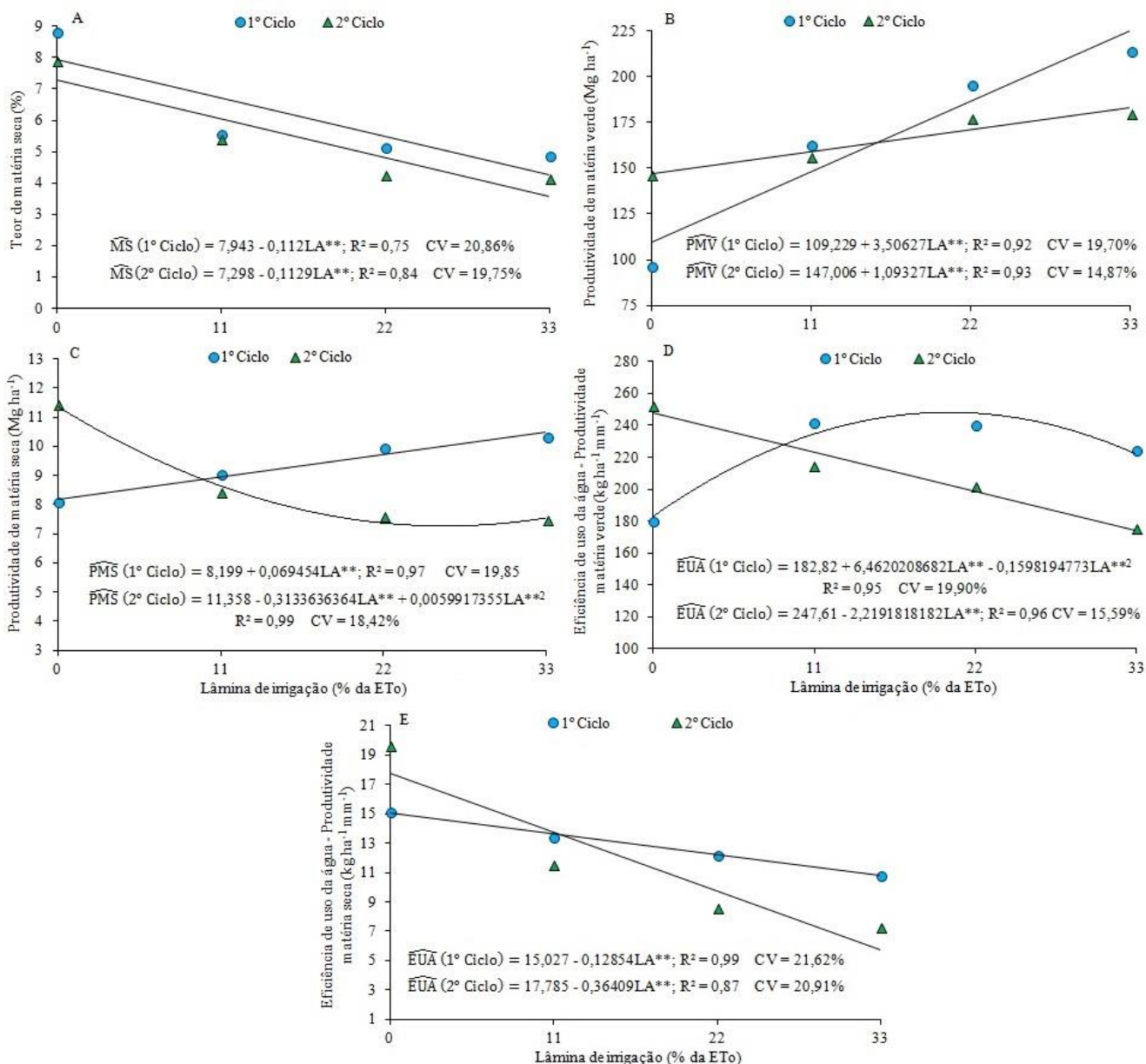
A ausência de estresse por salinidade da água de irrigação também foi encontrada por Fonseca et al. (2019), os quais em estudo com diferentes condições de aplicação de água na palma forrageira ‘Gigante’, verificaram que o rendimento quântico do fotossistema II nas

condições de irrigação com água de alta salinidade não diferiu das condições de irrigação com água de boa qualidade, no entanto essas diferiram da condição sem irrigação que apresentou menor valor. Considerando-se que o rendimento quântico do fotossistema II quantifica o desempenho das plantas, reduções em seus valores indicam as condições de estresses, assim observa-se que a salinidade não foi um fator estressante para a cultura.

A ausência de estresse com aplicação de água de alta salinidade na palma forrageira pode ser explicada por mecanismo de ajuste iônico, com alocação de íons nos vacúolos, regulação da concentração de íons pelo aumento da suculência nos tecidos, produção e acumulação de compostos orgânicos para promover o equilíbrio osmótico entre o citoplasma e os diferentes compartimentos celulares (LARCHER, 2000).

Silva-Ortega et al. (2008) verificaram o acúmulo significativo de prolina em cladódios de *Opuntia* sob condições de salinidade, sugerem que esse aminoácido pode ser uma fonte de soluto para ajustes osmóticos intracelulares e desempenha um papel crítico na manutenção do turgor e na proteção da atividade fotossintética em plantas *Opuntia*.

Os resultados de crescimento e rendimento obtidos ressaltam que é possível a inserção de águas de qualidade inferior, como as salinas, nos sistemas produtivos da palma forrageira, o que contribui para sustentabilidade da produção agrícola com aumento da disponibilidade de forragem em períodos de escassez de outras forrageiras para alimentação animal na região semiárida.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 6. Teor de matéria seca (A), produtividade de matéria verde (B), produtividade de matéria seca (C), eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria verde (D) e eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria seca (E) de palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

Para EUA, com base na produtividade de matéria verde, ajustou-se um modelo quadrático no primeiro ciclo e um modelo linear decrescente no segundo ciclo em função das lâminas de irrigação (Figura 6 D). No primeiro ciclo, o maior valor de EUA (248,14 kg ha⁻¹ mm⁻¹) foi encontrado com aplicação da lâmina 20% da ETo, com incremento de 35,73% em

comparação ao tratamento sem irrigação. No segundo ciclo houve redução de 29,58% da EUA do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

Para EUA com base na produtividade de matéria seca no primeiro e segundo ciclo ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6 E). Houve redução de 28,23% e 67,56% da EUA, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

A redução da EUA com base na produtividade de matéria verde no segundo ciclo e da produtividade de matéria seca, no primeiro e segundo ciclo, com o aumento das lâminas de irrigação, está relacionada ao maior valor da quantidade total de água disponibilizada quando comparado ao incremento no rendimento. O aumento da EUA com base na produtividade de matéria verde no primeiro ciclo, até a lâmina 20% da ETo está relacionado ao elevado incremento da produtividade de matéria verde (105,9%) do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). A partir da aplicação da lâmina 20% da ETo, as maiores quantidades de água aplicada contribuíram para redução da EUA.

CONCLUSÕES

A irrigação com água de alta salinidade não limita o crescimento e a produtividade de palma forrageira ‘Gigante’, até o segundo ciclo de produção.

A mortalidade de plantas reduz com o aumento das lâminas de irrigação e aumenta com a densidade de plantio.

A aplicação da lâmina 33% da ETo promove incremento das características morfométricas, aumento da produtividade de matéria verde no primeiro e segundo ciclo e da produtividade de matéria seca no primeiro ciclo da palma forrageira ‘Gigante’.

As máximas produtividades de matéria verde e seca, e de EUA com base nestas produtividades são obtidas com densidades de plantio de 61.465 e 67.786 plantas ha⁻¹, e 61.848 e 69.707 plantas ha⁻¹, respectivamente.

A aplicação de lâminas crescentes de irrigação promove redução da EUA com base nas produtividades de matéria verde e de matéria seca.

AGRADECIMENTOS

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela concessão de bolsa de estudos e financiamento da pesquisa.

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

Ao Instituto Federal Baiano, *Campus* Ganambi pela disponibilidade de estrutura para realização da pesquisa e apoio fornecido durante a execução.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water Quality for Agriculture*. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1., FAO.
- Brito, C. F. B., Donato, S. L. R., Arantes, A. de M., Donato, P. E. R., & Silva, J. A. da. (2018). Photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(5), 338-343. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p338-343
- Cavalcante, L. A. D., Santos, G. R. de A., Silva, L. M., Fagundes, J. L., & Silva, M. A. da. (2014). Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(4), 424-433.
- Castro, I. N. de.; Santos, S. R. dos.; Kondo, M. K.; Maia, V. M. & Santos, C. C. R. dos. (2020). Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars. *Revista Caatinga*, 33(2), 529-540. DOI: 10.1590/1983-21252020v33n225rc
- Dias, M. S. C., & Jesus, A. M. (2020). Manejo de doenças. In Donato, S. L. R., Borém, A., Rodrigues, M. G. V. (Orgs.), *Palma forrageira do plantio à colheita* (p. 191-202). Belo Horizonte: EPAMIG. v. 1.
- Donato, P. E. R., Donato, S. L. R., Silva, J. A., Rodrigues, M. G. V., & Santos, M. R. (2020). Indicadores técnicos de produção e econômicos da cultura. In Donato, S. L. R., Borém, A., Rodrigues, M. G. V. (Orgs.), *Palma forrageira: do plantio à colheita* (p. 203-232). Belo Horizonte: EPAMIG. v. 1.
- Donato, P. E. R., Donato, S. L. R., Silva, J. A., Pires, A. J. V., & Silva Júnior, A. A. (2017). Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(4), 238-243. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243
- Donato, P. E. R., Pires, A. J. V., Donato, S. L. R., Bonomo, P., Silva, J. A. da., & Aquino, A. A. (2014). Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(1), 151-158. DOI: 10.5039/agraria.v9i1a3252
- Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Silva, J. A. & Rodrigues, M. G. V. (2017). Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. *Informe Agropecuário*, 38(296), 46-58.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F. dos., Lira, M. A., Santos, D. C. dos., Farias, I., Lima, L. E., & Ferreira, R. L. C. (2006). Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 357-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.015>
- Ferraz, R. L. S., Costa, P. S., Dantas Neto, J., Viégas, P. R. A., Melo, A. S. de., Costa, F. S., ... Lima, V. L. A. de. (2019). Estimation of productivity gain by irrigated and fertilized forage palm plants (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck):

systematic review and meta-analysis. *Australian Journal of Crop Science*, 13(11), 1873-1882. DOI: 10.21475/ajcs.19.13.11.p2095

Fonseca, V. A., Santos, M. R., Silva, J. A., Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S., & Brito, C. F. B. (2019). Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus indica* irrigated with saline water. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, 1-11. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42631

Fonseca, V. A., Costa, L. C., Silva, J. A. da., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R. & Souza, E. S. 'Gigante' cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(11), 769-775, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p769-775>

Gajender, G., Singh, G., Dagar, J. C., Lal, K., & Yadav, R. K. (2014). Performance of edible cactus (*Opuntia ficus-indica*) in saline environments. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(4), 509-513.

Guo, Q., Wu, X., Korpelainen, H., & LI, C. (2020). Stronger intra-specific competition aggravates negative effects of drought on the growth of *Cunninghamia lanceolata*. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 1-10. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2020.104042

Iqbal, M. A., Hamid, A., Imtiaz, H., Rizwan, M., Imran, M., Sheikh, U. A. A., & Saira, I. (2020). Cactus pear: a weed of dry-lands for supplementing food security under changing climate. *Planta Daninha*, 38, 1-11. DOI: 10.1590/S0100-83582020380100040

IUSS Working Group WRB. *World reference base for soil resources 2014 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Rome: FAO; 2015. (World Soil Resources Reports, 106).

Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima.

Liguori, G., Inglese, G., Pernice, F., Sortino, G., & Inglese, P. (2013). CO₂ uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. *Italian Journal of Agronomy*, 8(1), 14-20. DOI: 10.4081/ija.2013.e3

Nadaf, S. K., Safa, A. M., Al-Farsi, S. A., Al-Hinai, A. S., Al-Hinai, A. A. S., Al-Harthy, S. A., Al-Khamisi, & Al-Bakri, A. N. (2018). Potential of forage cactus pear accessions under saline water irrigation in arid areas. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 20, 68-81.

Nobel, P. S. (2001). Biologia ambiental. In Barbera, G., Inglese, P., Barrios, E. P. (Eds.). *Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira* (p. 36-48). SEBRAE-PB/FAO, 2001. cap. 5.

Novais, R. F., & Mello, J. W. V. (2007). Relação solo-planta. In Novais, R. F., Alvarez, V. H., Barros, N. F.; Fontes, L. E. F., Neves, J. C. L. (Eds.). *Fertilidade do solo* (p. 133-204). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. cap. 4.

Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., & Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes

lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 931-938. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: US Department of Agriculture. USDA Agricultural Handbook, 60.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., ... Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa.

Santos, M. R., Brito, C. F. B. (2016). Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. *Revista Agrotecnologia*, 7(1), 33-41. DOI: 10.12971/5175

Santos, M. R., Donato, S. L. R., Cotrim Júnior, P. R. F. (2020). Irrigação da palma forrageira. *Revista Agrotecnologia*, 11(1), 75-86.

Shen, Y., & Chen, Y. (2010). Global perspective on hydrology, water balance, and water resources management in arid basins. *Hydrological Processes*, 24, 129-135. DOI: 10.1002/hyp.7428

Silva, J. A. da., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Souza, E. S., Padilha Júnior, M. C., & Silva Junior, A. A. E. (2016). Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(6), 564-569. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569

Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. A., Moreira, A. L., & Backes, A. A. (2014). Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, 44 (11), 2064-2071. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>

Silva, N. G. de M., Santos, M. V. F., Dubeux Júnior, J. C. B., Cunha, M. V da., Lira, M. A., & Ferraz, I. (2016). Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. *Revista Caatinga*, 29(4), 976-983. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n423rc

Silva-Ortega, C. O., Ochoa-Alfaro, A. E., Reyes-Aguero, J. A., Aguado-Santa Cruz, G. A., & Jiménez-Bremont, J. F. (2008). Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiology and Biochemistry*, 46(1), 82-92. DOI: 10.1016/j.plaphy.2007.10.011

Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., & Bianco, R. L. (2016). Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, 122(1), 158-167. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*. (12th ed.). Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre, RS: Artmed.

ARTIGO II

NUTRIENTES EM PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO

(Artigo elaborado conforme normas da revista Acta Scientiarum Agronomy)

NUTRIENTES EM PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO

RESUMO: Variações climáticas tendem a aumentar a ocorrência de condições extremas de seca em ambientes semiáridos e isso pode comprometer o rendimento mesmo de culturas tolerantes como a palma forrageira, o que justifica o uso de irrigação. Objetivou-se avaliar os teores de nutrientes em palma forrageira 'Gigante' irrigada com água salina sob densidades de plantio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo alocados nas parcelas dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas quatro densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹) e nas subsubparcelas quatro lâminas de irrigação (0, 11, 22 e 33% da ETo). Ao final de cada ciclo de produção foram avaliadas a produtividade de matéria seca e os teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios da palma forrageira. Densidades de plantio intermediárias (43.002 a 54.687 plantas ha⁻¹) possibilitam menores teores de P, Ca e Fe nos tecidos dos cladódios. A aplicação da lâmina 33% da ETo com água de alta salinidade, possibilita aumento dos teores de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios. Os máximos teores de K, S e Na nos tecidos dos cladódios são obtidos com aplicação de lâminas de irrigação entre 16 e 25% da ETo.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*, salinidade, população de plantas, espaçamento.

ABSTRACT: Climatic variations tend to increase the occurrence of extreme drought conditions in semiarid environments and this can compromise the yield even of tolerant crops such as forage cactus, which justifies the use of irrigation. The objective was to evaluate the nutrient content in 'Gigante' forage cactus irrigated with saline water water planting densities. The experimental design used was randomized blocks in a split-split plot scheme, with two irrigation shifts (7 and 14 days) being allocated in the plots, in the subplots four planting densities (20,000; 40,000; 60,000 and 80,000 plants ha⁻¹) and in four irrigation depths (0, 11, 22 and 33% of ETo). At the end of each production cycle, dry matter yield and nutrient contents in the tissues of forage cactus cladodes were evaluated. Intermediate planting densities (43,002 to 54,687 plants ha⁻¹) enable lower levels of P, Ca and Fe in the tissues of the cladodes. The application of the 33% ETo blade with high salinity water allows an increase in the levels of N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn and Zn in the tissues of the cladodes. The maximum levels of K, S and Na in the tissues of the cladodes are obtained with the application of irrigation blades between 16 and 25% of ETo.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*, salinity, plant population, spacing.

INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) apresenta características morfofisiológicas de adaptação às condições estressantes que permitem segurança produtiva alcançada por nenhuma outra forrageira em ambientes semiáridos.

A capacidade de produção em condições adversas tem despertado o interesse por essa cultura, a qual tem sido objeto de estudo em várias partes do mundo para os mais diversos tipos de uso, como forragem para alimentação animal (MAYER e CUSHMAN 2019), alimentação humana (BARBA et al., 2020), produção de bioenergia (OWEN et al., 2015), combate à desertificação (NEFZAOUY et al., 2014), produtos farmacêuticos (AMMAR et al., 2018), entre outros.

Ao considerar que ambientes semiáridos apresentam limitações para produção vegetal e que variações climáticas tendem a aumentar a ocorrência de condições extremas de baixa disponibilidade hídrica (IPCC, 2014), o rendimento da palma pode ser inferior ao seu potencial. Com isso a adoção de técnicas de cultivo como a irrigação torna-se importante para melhorar os índices produtivos dessa cultura.

Espera-se que as mudanças climáticas reduzam a disponibilidade de água doce para irrigação nas regiões áridas e semiáridas do mundo (CONNOR et al., 2012). Assim, torna-se importante a inserção de águas de qualidade inferior como as salinas no sistema produtivo. A irrigação com água salina (DINIZ et al., 2017; FONSECA et al., 2019) tem possibilitado respostas positivas no rendimento da palma forrageira.

Estudos com densidade de plantio indicam incrementos no rendimento da palma forrageira (SILVA et al., 2014; FONSECA et al., 2020). No entanto, ainda são escassos trabalhos envolvendo combinação das técnicas de manejo de irrigação e densidade de plantio.

Informações sobre teores de nutrientes subsidiam a compreensão do estado nutricional das plantas com os diferentes tipos de manejo. Isso é justificável, pois a palma forrageira extrai grande quantidade de nutrientes (SILVA et al., 2016; DONATO et al., 2017a; LÉDO et al. 2021). Além disso, incrementos na densidade de plantio aumentam a competição por nutrientes (NOVAIS e MELLO, 2007), o que pode ser alterado pela irrigação em função da maior produtividade (FONSECA et al., 2019).

Adicionalmente, o conhecimento do estado nutricional da palma forrageira irrigada com água salina pode facilitar a identificação de carências ou excessos antes da expressão na forma de sintomas e isso permite diminuir perdas na produtividade e orientar a adubação do

próximo ciclo de cultivo (DONATO et al., 2017b), além de contribuir para definição da fonte de fertilizante a ser utilizada em função do aumento da salinidade do solo.

Neste contexto, este estudo avaliou os teores de nutrientes em palma forrageira ‘Gigante’ sob irrigação com água salina sob densidades de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em área experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Guanambi*, localizado no Município de Guanambi, Sudoeste da Bahia, coordenadas 14°13’30’’ sul e 42°46’53’’ oeste, altitude de 525 m, precipitação de 664 mm anuais e temperatura média de 26°C. De acordo a classificação de Köppen, o clima característico da região é do tipo BSwH: clima quente de caatinga com chuvas de verão e período seco bem definido de inverno.

O solo da área experimental é o Latossolo Vermelho-Amarelo (SANTOS et al., 2018), que corresponde a Ferralsols (IUSS WORKING GROUP WRB, 2015) ou a Oxisols (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da implantação foram coletadas amostras de solo na área experimental, a qual abrangia duas áreas com históricos de uso distinto, sendo uma anteriormente cultivada com palma forrageira irrigada e a outra sem cultivos anteriores. Em cada área foram coletadas amostras em pontos aleatórios nas camadas de 0 a 0,20 m de profundidade e realizada caracterização química e determinação da classe textural (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e classe textural do solo da área experimental antes do plantio

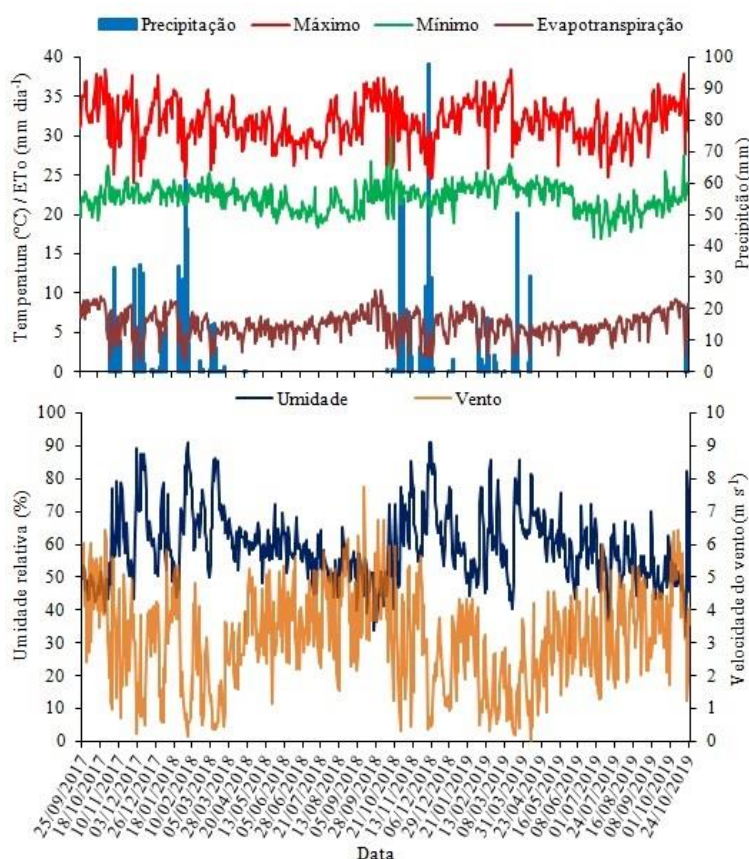
Atributos	Unidade	Áreas	
		Cultivo anterior com palma irrigada	Sem cultivos anteriores
pH (H ₂ O)		7,5	7,5
MO ¹	dag kg ⁻¹	0,8	0,5
P	mg dm ⁻³	50,1	74,3
K ⁺	mg dm ⁻³	183	140
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,1	0,1
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,7	1,3
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,8	0,3
Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0	0
H+Al	cmol _c dm ⁻³	1,4	1,4
S.B. ²	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
t ³	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
T ⁴	cmol _c dm ⁻³	4,5	3,4
V ⁵	%	70	60
B	mg dm ⁻³	0,5	0,3
Cu	mg dm ⁻³	0,3	1
Fe	mg dm ⁻³	42,6	20,8
Mn	mg dm ⁻³	58,8	53
Zn	mg dm ⁻³	4,8	0,9

Prem	mg L ⁻¹	42,4	37,4
CE⁶	dS m ⁻¹	1,9	0,9
Classe Textural		Franco argilo arenoso	

¹ Matéria orgânica do solo; ² soma de bases; ³ capacidade de troca catiônica efetiva, CTC efetiva; ⁴ CTC a pH 7,0; ⁵ saturação por bases; ⁶ condutividade elétrica.

A despeito do histórico diferente das áreas, os valores estão dentro da mesma classe de fertilidade do solo (Donato et al., 2017), o que justifica a manutenção das mesmas estratégias de manejo. As diferenças na salinidade são decorrentes do cultivo anterior de palma irrigada com mesma água salina utilizada neste estudo, a qual promoveu aporte significativo de cloro ao solo.

O período experimental foi compreendido entre setembro de 2017 a outubro de 2019. Neste período, as variáveis meteorológicas: temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, velocidade média do vento e precipitação foram coletadas em uma estação meteorológica automática instalada próxima a área experimental (Figura 1).



Dados obtidos da Estação Automática do IF Baiano instalada próxima da área experimental.

Figura 1. Temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento durante o período experimental.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em parcelas subdivididas, sendo dispostos nas parcelas dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas quatro densidades de plantio (20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas por hectare) e nas subsubparcelas quatro lâminas de irrigação (0, 11, 22 e 33% da ETo), perfazendo um total de 32 tratamentos, com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais.

Para aplicação das lâminas diariamente foram obtidos dados da evapotranspiração de referência (ETo), calculada pelo método de Penman-Monteith e fornecidos por estação meteorológica instalada próxima à área de implantação do experimento e calculado o tempo de irrigação para cada tratamento, conforme equação, para faixa contínua molhada (SANTOS & BRITO, 2016). O sistema de irrigação foi constituído por linhas principais e de derivação de PVC com diâmetro de 50 mm. As linhas laterais foram de tubos gotejadores de 16 mm com emissores tipo labirinto com vazão de $2,4 \text{ L h}^{-1}$, espaçados 0,3 m um do outro.

A água com salinidade muito alta utilizada para irrigação foi proveniente de poço tubular e suas características químicas e classificação encontram-se na Tabela 2. A água apresenta classificação C4S1 pela classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985) - C4, água com salinidade muito alta cuja CE, $2,9 \text{ dS m}^{-1}$ ($2,25\text{-}5,00 \text{ dS m}^{-1}$), considerada inapropriada para irrigação, com recomendação de uso apenas ocasional e em circunstâncias especiais em solos muito permeáveis e com drenagem plena, com lâminas de irrigação acrescidas da fração de lixiviação, ou para uso em culturas tolerantes aos sais; S1 - água com baixa concentração de sódio ($\text{RAS} = 2,34 \leq 18,87\text{-}4,44 \log \text{CEai} = 16,82$) pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, havendo pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

Tabela 2. Características químicas e classificação da água utilizada no experimento

Características	Unidade	Valor	Unidade	Valor
pH	-	6,30		
Condutividade elétrica (CE)	dS m^{-1}	2,91		
Cálcio (Ca^{++})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	15,83	mg L^{-1}	322,93
Magnésio (Mg^{++})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	9,13	mg L^{-1}	111,02
Potássio (K^{+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	0,28	mg L^{-1}	10,95
Sódio (Na^{+})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	8,26	mg L^{-1}	189,90
Carbonato (CO_3^{2-})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	0,00	mg L^{-1}	0,00
Bicarbonato (HCO_3^{-})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	5,20	mg L^{-1}	317,25
Cloreto (Cl^{-})	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	26,40	mg L^{-1}	942,44
RAS	$(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$	2,34		
$\text{HCO}_3^{-}/\text{Ca}^{++}$		0,33		
Ca^0	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$	4,76		
RASco	$(\text{mmol}_c \text{L}^{-1})^{1/2}$	3,13		
$\text{RAS} \leq 18,87\text{-}4,44 \log \text{Ceai}$		16,82		
Classificação ¹	-	C4S1		(Salinidade muito alta)

¹ Classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985). meq L⁻¹ = mmol_c L⁻¹.

Com a caracterização da água utilizada para irrigação foi determinada a quantidade de elementos aportados com as lâminas de irrigação e turnos de rega (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de elementos aportados com aplicação das lâminas de irrigação e turnos de regas

Lâminas	Turnos de rega	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
		1º Ciclo de produção (kg ha ⁻¹)					
11% da ETo	7	445,53	153,17	15,10	261,99	437,69	1.290,45
22% da ETo	7	891,06	306,34	30,21	523,98	875,39	2.580,90
33% da ETo	7	1.336,59	459,51	45,31	785,97	1.313,08	3.871,35
11% da ETo	15	458,01	157,46	15,53	269,33	449,95	1.326,59
22% da ETo	15	916,02	314,92	31,05	538,66	899,90	2.653,18
33% da ETo	15	1.374,02	472,38	46,58	807,98	1.349,86	3.979,77
2º Ciclo de produção (kg ha ⁻¹)							
11% da ETo	7	485,22	166,81	16,45	285,33	476,68	1.405,41
22% da ETo	7	970,44	333,63	32,90	570,66	953,37	2.810,81
33% da ETo	7	1.455,66	500,44	49,35	855,99	1.430,05	4.216,22
11% da ETo	15	472,62	162,48	16,02	277,92	464,30	1.368,90
22% da ETo	15	945,23	324,96	32,05	555,83	928,61	2.737,80
33% da ETo	15	1.417,85	487,44	48,07	833,75	1.392,91	4.106,70

O plantio da palma (*Opuntia ficus-indica* Mill) cultivar Gigante foi realizado entre os dias 25 de setembro e 01 de outubro de 2017. Para preparo da área, realizou-se aração e gradagem antes do plantio dos cladódios, realizado em sulcos com 0,2 m de profundidade. Os cladódios para plantio foram retirados de palmar com boa sanidade.

Foi utilizado um arranjo de plantas que possibilita a mecanização, constituído por fileiras triplas espaçadas 3 m uma da outra e com 1 m entre as fileiras simples. Os espaçamentos entre plantas na fileira foram de 0,30; 0,15; 0,10 e 0,075 m, as quais equivalem respectivamente às densidades de plantio 20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas por hectare.

Cada unidade experimental foi constituída de três fileiras de plantas com 5,50 m de comprimento, em que as plantas úteis utilizadas foram aquelas localizadas nas três fileiras e nos 3,5 metros centrais, com área útil de 17,5 m².

O manejo da adubação foi realizado conforme recomendação proposta por Donato et al. (2017b). Na implantação foi realizada adubação orgânica de fundação com aplicação de 30 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e uma adubação química com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando como fonte superfosfato simples. Aos 70 dias após o plantio foi realizada a aplicação em cobertura de 300 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o KCl, parcelado em duas vezes. Após a colheita do primeiro e início do segundo ciclo de produção foi realizada uma nova adubação orgânica

com aplicação de 60 Mg ha⁻¹ de esterco caprino e química com a mesma dose de K₂O utilizada na implantação da cultura, também parcelada em duas vezes.

Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratamentos culturais, a fim de proporcionar condições ideais ao desenvolvimento da cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado com enxada entre as linhas de plantas da fileira tripla e com roçadeira acoplada a trator entre as fileiras triplas. Ao final do primeiro ciclo foi realizado replantio de mudas somente em pontos onde as falhas foram maiores que 1 m para evitar danos às raízes de plantas já estabelecidas, com a finalidade de aproximar a população de plantas original e realizar avaliações do segundo ciclo.

A aplicação das lâminas de irrigação foi iniciada aos 205 dias após o plantio (DAP), correspondente à época chuvosa na região e ao período necessário para estabelecimento da cultura. As avaliações do primeiro ciclo foram realizadas aos 386 DAP e antes do período chuvoso, que correspondeu o final do ciclo. Ao término das avaliações do primeiro ciclo, a aplicação das lâminas de irrigação foi suspensa por 196 dias devido à ocorrência de chuvas nesse período. Após ocorrência das chuvas e início do período seco, as aplicações das lâminas foram retomadas e as avaliações do segundo ciclo foram realizadas aos 368 dias após a colheita do primeiro ciclo.

Ao final de cada ciclo foram avaliadas a produtividade de matéria seca e os teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios de palma forrageira.

Para determinação da produtividade de matéria seca primeiramente foi determinada a produtividade de matéria verde com a colheita de todas as plantas úteis da parcela, realizando-se o corte de todos os cladódios e preservando somente o cladódio “mãe” (cladódio utilizado no plantio). Todos os cladódios colhidos na parcela foram acondicionados em caixas para realização da pesagem e determinou-se a produtividade de matéria verde (Mg ha⁻¹). A produtividade de matéria seca (Mg ha⁻¹) foi determinada em função do teor de matéria seca do tratamento multiplicado pela produtividade de matéria verde. Para determinação do teor de matéria seca e teores de nutrientes foram coletadas amostras de tecido dos cladódios em diferentes posições na planta.

As amostras de tecido dos cladódios foram coletadas com o auxílio de uma serra copo (5,00 cm de diâmetro por 4,00 cm de profundidade), adaptada a uma furadeira movida à bateria (SILVA et al., 2016; DONATO et al., 2017a).

Após coleta, as amostras foram preparadas e encaminhadas ao laboratório de Solos e Tecido Vegetal da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG Norte, para realização das análises. Foram determinados os teores dos nutrientes: N, P, K, S, Ca e

Mg expressos em g kg^{-1} ; B, Fe, Mn, Zn, Cu e Na expressos em mg kg^{-1} . As determinações analíticas seguiram Malavolta, Vitti, e Oliveira (1997): N, digestão sulfúrica com o método Kjeldahl; P, K, S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, digestão nítrico-perclórica; e B, digestão via seca.

O Na é considerado um micronutriente para plantas como a palma forrageira, pois é requerido para o metabolismo ácido das crassuláceas (BROADLEY et al., 2012).

Ao final de cada ciclo também foram coletadas amostras de solo para verificação do nível de salinidade do solo com a aplicação das diferentes lâminas de irrigação com água de alta salinidade (Tabela 4). As amostras foram coletadas em pontos aleatórios em todas as lâminas de irrigação nas profundidades 0 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, a uma distância de 20 cm da fileira de plantas e encaminhadas ao laboratório da EPAMIG Norte, para determinação da salinidade conforme método descrito por Richards (1954).

Tabela 4. Valores de condutividade elétrica do solo após aplicação das lâminas de irrigação com água de alta salinidade no primeiro e segundo ciclo de produção

Lâminas de irrigação	Condutividade elétrica (dS m^{-1})			
	1º Ciclo		2º Ciclo	
	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m	0 – 0,20 m	0,20 – 0,40 m
0% da ETo	2,24	1,45	1,27	0,91
11% da ETo	2,94	1,68	2,48	1,69
22% da ETo	3,03	1,59	2,24	1,64
33% da ETo	2,08	1,39	1,87	2,13

Os dados foram submetidos à verificação de normalidade e análise de variância adotando-se 0,05 como nível crítico de probabilidade para o erro tipo I. Foram realizados os desdobramentos das interações significativas. Para o efeito independente dos fatores lâminas de irrigação e densidade de plantio foram ajustados modelos de regressão. Para escolha dos modelos foi considerada a significância dos coeficientes beta pelo teste t; a magnitude do coeficiente de determinação; a significância do quadrado médio da regressão e a adequação do modelo ao fenômeno biológico estudado.

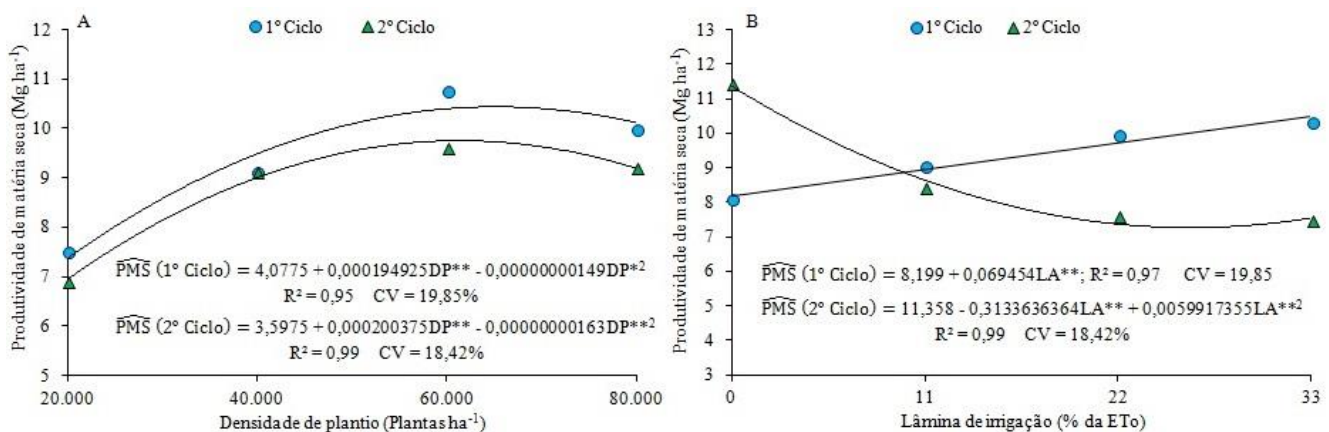
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os fatores densidades de plantio e turnos de rega foi significativa ($p \leq 0,01$) para o teor de P nos cladódios no primeiro ciclo, significativa ($p \leq 0,05$) para o teor de Fe no primeiro ciclo e de Ca no segundo ciclo. No primeiro ciclo, o teor de Na nos cladódios variou com a interação entre os fatores lâminas de irrigação e turnos de rega ($p \leq 0,01$).

Os teores de S no primeiro ciclo e de B no segundo ciclo foram influenciadas pela interação entre os fatores lâminas de irrigação, densidades de plantio e turnos de rega ($p \leq 0,01$ e $p \leq 0,05$). Os demais teores de nutrientes não foram influenciados ($p > 0,05$) pelas interações entre os fatores estudados. O fator turno de rega não influenciou o teor de nenhum nutriente de forma independente ($p > 0,05$).

À produtividade de matéria seca no primeiro e segundo ciclo ajustou-se um modelo quadrático em função das densidades de plantio (Figura 2 A). Os maiores valores de produtividade de matéria seca (10,45 e 9,76 Mg ha⁻¹), foram obtidos, respectivamente, com as densidades de plantio 65.411 e 61.465 plantas ha⁻¹, no primeiro e no segundo ciclo, após esses valores apresentou redução de 3,03 e 5,74% até a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹).

No primeiro ciclo à produtividade de matéria seca ajustou um modelo linear crescente e no segundo ciclo um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 2 B). No primeiro ciclo houve incremento de 27,95% da produtividade de matéria seca do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). O menor valor de produtividade de matéria seca no segundo ciclo (7,26 Mg ha⁻¹) foi encontrado com aplicação da lâmina 26% da ETo, em que houve redução de 36,07% em relação ao tratamento sem irrigação.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 2. Produtividade de matéria seca de palma forrageira ‘Gigante’ em função de densidades de plantio (A) e de lâminas de irrigação (B).

Não houve ajuste de modelos aos teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios no primeiro e segundo ciclo em função das densidades de plantio de forma independente.

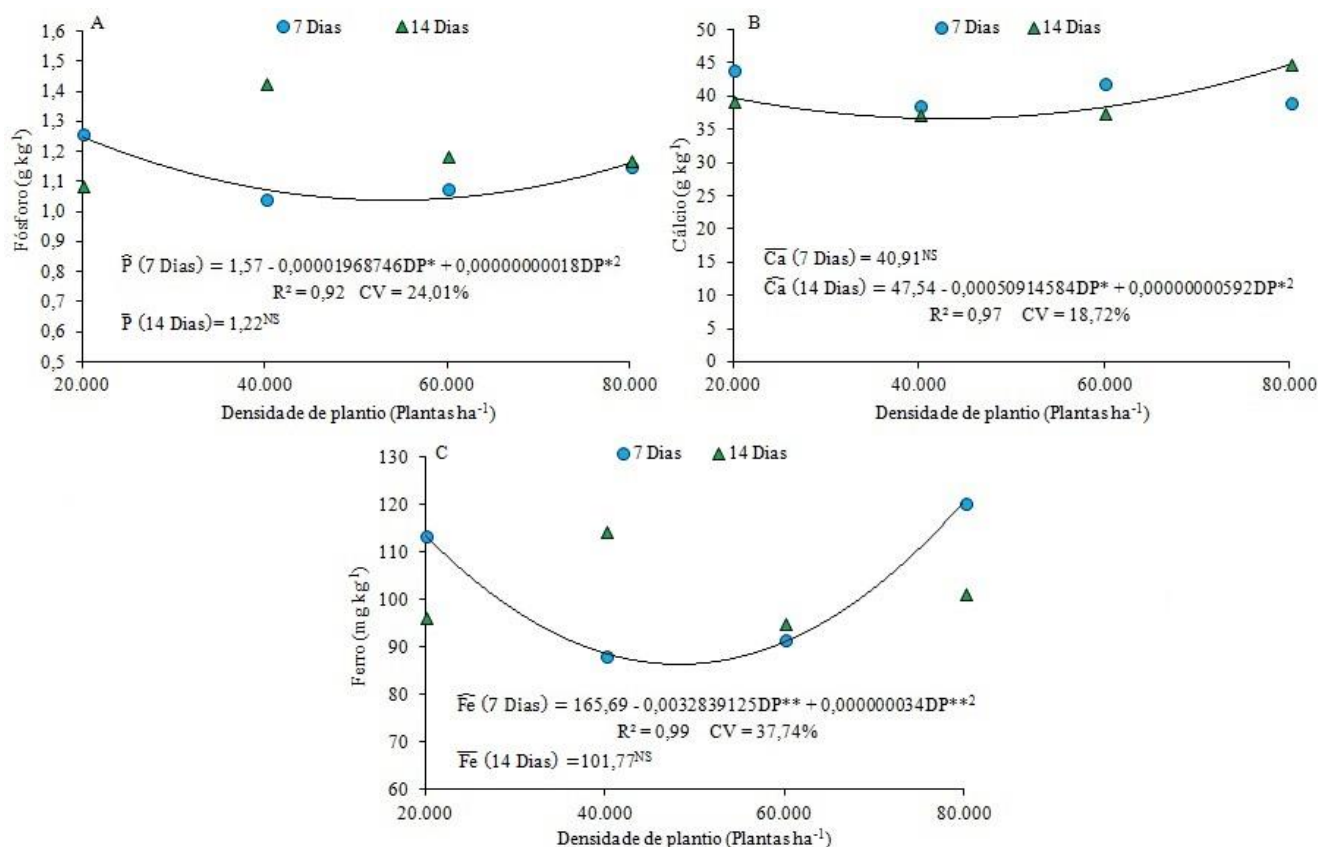
Ao teor de P no primeiro ciclo ajustou-se um modelo quadrático para o turno de rega de 7 dias, no entanto, não houve ajuste de modelos para o turno de rega de 14 dias em

função das densidades de plantio (Figura 3 A). O menor valor de P no turno de rega de 7 dias ($1,03 \text{ g kg}^{-1}$) é estimado com a densidade de plantio de $54.687 \text{ plantas ha}^{-1}$, a partir dessa densidade houve incremento de 11,18% no valores de P até a maior densidade ($80.000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

No segundo ciclo não houve ajuste de modelos ao teor de Ca nos cladódios no turno de rega de 7 dias, enquanto no turno de rega de 14 dias ajustou-se um modelo quadrático em função das densidades de plantio (Figura 3 B). O menor teor de Ca ($36,59 \text{ g kg}^{-1}$) no turno de rega de 14 dias é estimado com a densidade de plantio de $43.002 \text{ plantas ha}^{-1}$, a partir dessa densidade houve incremento de 22,15% no valores de Ca até a maior densidade ($80.000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

No primeiro ciclo, ao teor de Fe nos cladódios no turno de rega de 7 dias, ajustou-se um modelo quadrático, enquanto no turno de rega de 14 dias não houve ajuste de modelos testados em função das densidades de plantio (Figura 3 C). O menor teor de Fe ($86,40 \text{ mg kg}^{-1}$) é estimado com a densidade de plantio de $48.293 \text{ plantas ha}^{-1}$, a partir dessa densidade houve incremento 39,56% no teor de Fe até a maior densidade ($80.000 \text{ plantas ha}^{-1}$).

O decréscimo do teores de P, Ca e Fe até densidades de plantios intermediárias e posterior acréscimo até a maior densidade de plantio, possivelmente está relacionado à resposta da produtividade (Figura 2 A), a qual apresentou máximos valores em densidades da ordem de 60.000 a $70.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ e com a maior quantidade de cladódios possibilita a diluição de nutrientes e, conseqüentemente, a redução dos seus teores no tecido. Ao aumentar a densidade de plantio até $80.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ ocorre redução das características morfométricas e da produtividade o que leva a uma maior concentração destes nutrientes nos cladódios. Cavalcante et al. (2014) relatam que a redução do número de cladódios por planta com aumento da densidade de plantio possibilita maior teor de nutrientes por cladódio em plantas de palma forrageira.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 3. Teores dos macronutrientes P no primeiro ciclo (A), Ca no segundo ciclo (B) e de Fe no primeiro ciclo de produção (C) nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ em função da densidade plantio.

No primeiro ciclo, os teores de P nos cladódios diferiram entre os turnos de rega nas densidades de plantio de 20.000 e 40.000 plantas ha⁻¹ (Figura 3 A). Na densidade 20.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de P (1,26 g kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 7 dias e apresentou incremento de 16,67% em comparação ao menor teor (1,08 g kg⁻¹) obtido com o turno rega de 14 dias. Já na densidade de 40.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de P (1,42 g kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 14 dias e apresentou incremento de 36,54% comparado ao menor teor (1,04 g kg⁻¹) no turno de rega de 7 dias.

Os teores de Ca no segundo ciclo diferiram entre os turnos de rega nas densidades de plantio de 20.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ (Figura 3 B). Nas densidades 20.000 e 60.000 plantas ha⁻¹ os maiores teores de Ca (43,97 e 41,90 g kg⁻¹), respectivamente, foram obtidos com o turno de rega de 7 dias e apresentaram incremento de 11,40 e 11,55% em comparação aos menores teores (39,47 e 37,56 g kg⁻¹) obtidos com o turno de rega de 14 dias. Já na densidade 80.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de Ca (44,96 g kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 14 dias e apresentou incremento de 14,93% em relação ao menor teor (39,12 g kg⁻¹) obtido

com turno de rega de 7 dias.

Os teores de Fe no primeiro ciclo diferiram entre os turnos de rega nas densidades de plantio de 20.000; 40.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ (Figura 3 C). Nas densidades 20.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ os maiores teores de Fe (113,79 e 120,52 mg kg⁻¹), respectivamente, foram obtidos com o turno de rega de 7 dias, com incremento de 18,08 e 18,95% em comparação aos menores teores (96,37 e 101,32 mg kg⁻¹) obtidos no turno de rega de 14 dias. Já na densidade 40.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de Fe (114,46 mg kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 14 dias e apresentou incremento de 29,70% em relação ao menor valor (88,25 mg kg⁻¹) obtido no turno de rega de 7 dias.

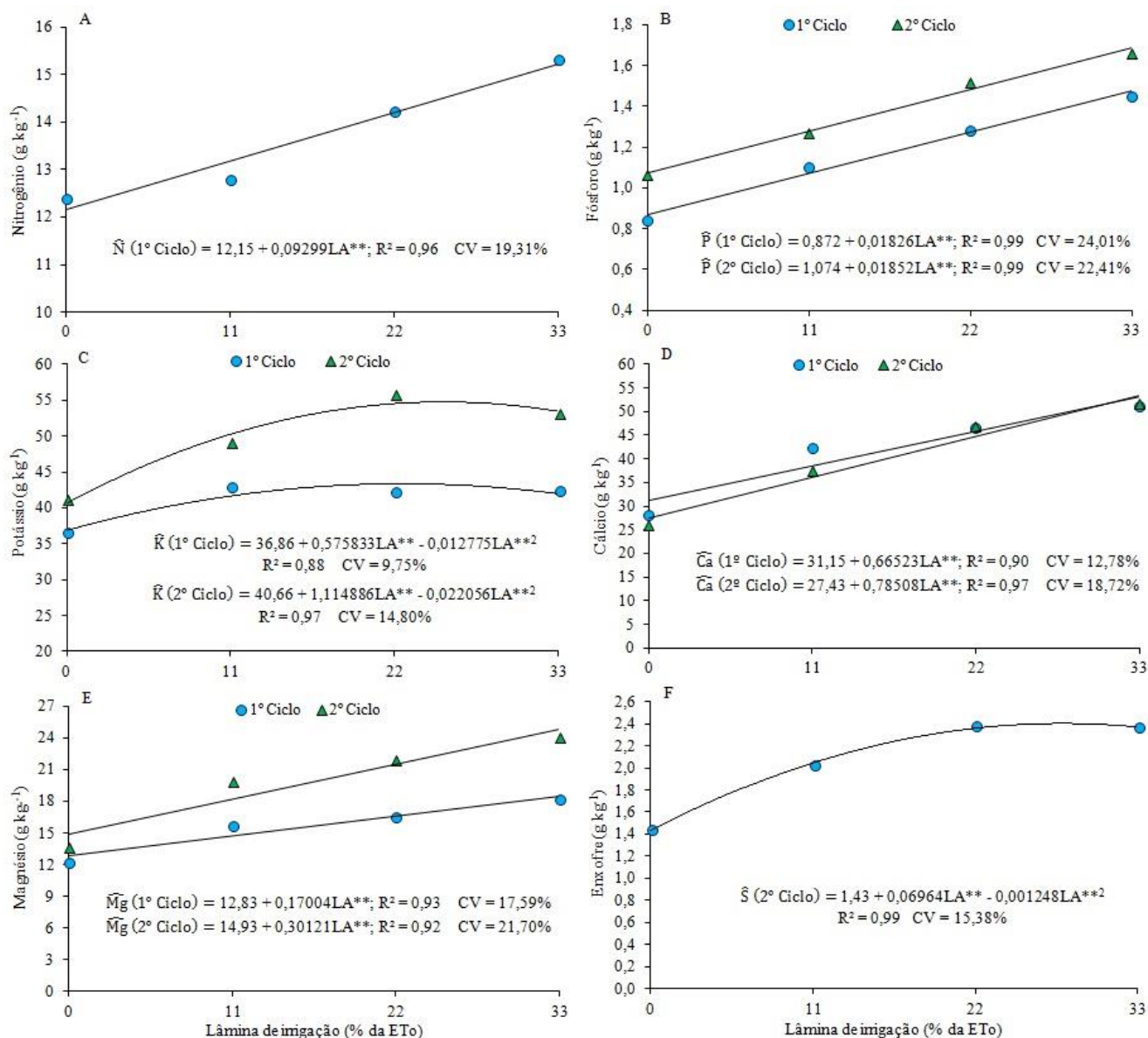
Apesar das variações dos teores de P, Ca e Fe nos tecidos dos cladódios com as densidade de plantio e turnos de rega não houve deficiência destes nutrientes. O teores de P e Fe mantiveram-se suficientes e os de Ca mantiveram-se bons e muito bons, conforme valores estabelecidos pela técnica da faixa de suficiência para palma forrageira ‘Gigante’ em condições semiáridas por Alves et al. (2019a, 2019b).

Não houve ajuste de modelos aos teores de N no segundo ciclo de produção em função das lâminas de irrigação.

No primeiro ciclo os teores de N, P, Ca e Mg variaram de forma linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figuras 4 A, B, D e E). Com os modelos ajustados estimam-se acréscimos de 1,02; 0,20; 7,32 e 1,87 g kg⁻¹, respectivamente nos teores de N, P, Ca e Mg nos tecidos dos cladódios, para cada aumento de 11% da ETo e incrementos de 25,26; 69,10; 70,47 e 43,74% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

No segundo ciclo aos teores de P, Ca e Mg ajustaram-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figuras 4 B, D e E), que permite estimar acréscimos de 0,20; 8,64 e 3,31g kg⁻¹, respectivamente nos teores de P, Ca e Mg nos tecidos dos cladódios, para cada aumento de 11% da ETo e incrementos de 56,91; 94,45 e 66,58% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

Houve ajuste do modelo quadrático ao teor de K nos dois ciclos em função das lâminas de irrigação (Figura 4 C). Os maiores valores de K (43,35 e 54,75 g kg⁻¹), respectivamente, para o primeiro e o segundo ciclo foram obtidos com a aplicação das lâminas 23 e 25% da ETo, as quais possibilitaram incremento de 17,60 e 34,65% em comparação aos valores registrados no tratamento sem irrigação. Os maiores teores de K nos cladódios da palma forrageira sob irrigação provavelmente decorrem da melhoria do fluxo do nutriente no solo pela água otimizando o transporte solo-raiz (NOVAIS e MELLO, 2007).



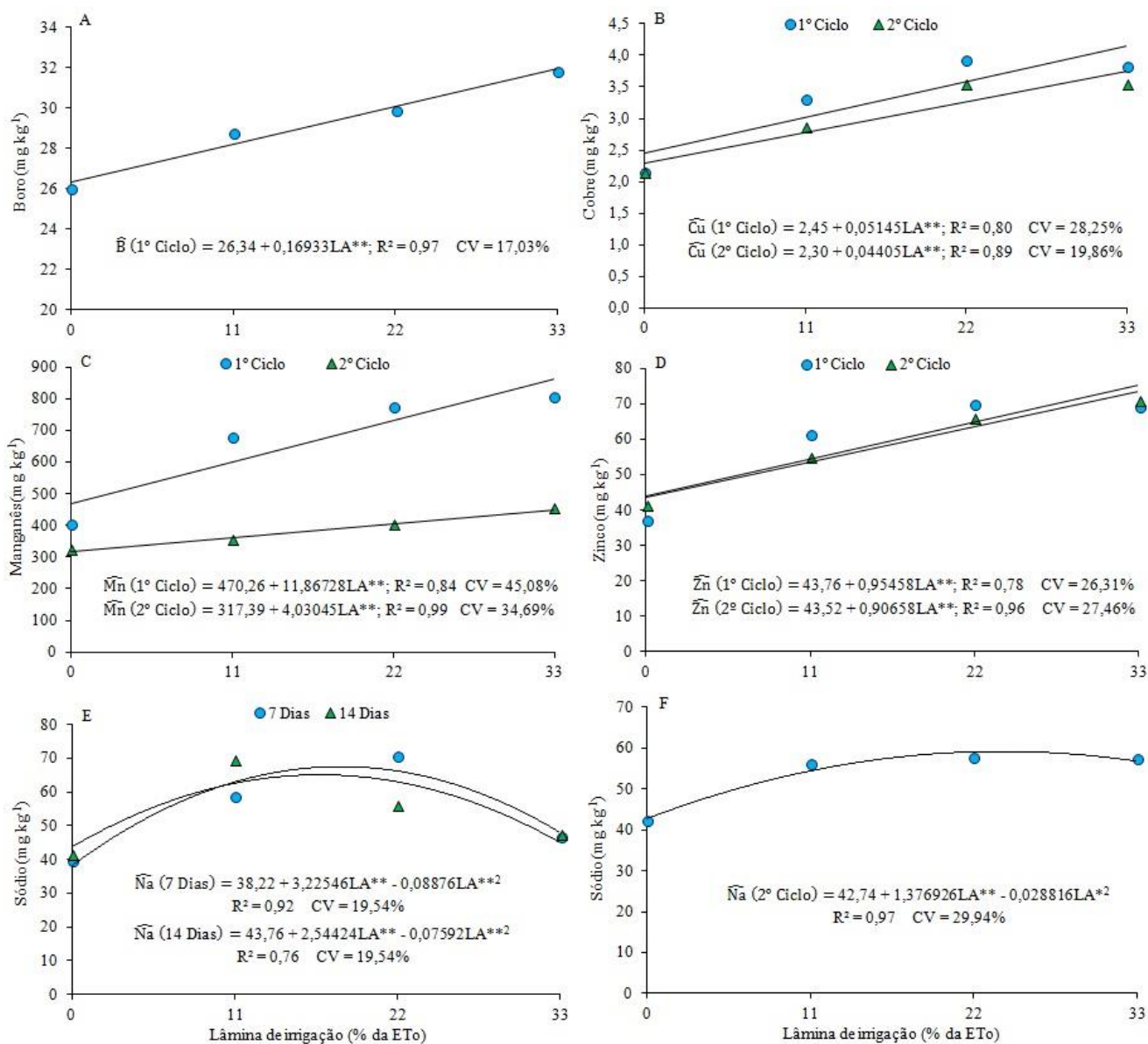
R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 4. Teores dos macronutrientes N (A), P (B), K (C), Ca (D), Mg (E) e S (F) nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

No segundo ciclo o teor de S variou de forma quadrática em função das lâminas de irrigação (Figura 4 F). O maior teor de S (2,40 g kg⁻¹) foi obtido com a aplicação da lâmina 28% da ETo, e incremento de 67,94% em relação ao valor do tratamento sem irrigação.

No primeiro ciclo aos teores de B, Cu, Mn e Zn ajustaram-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 5 A, B, C e D), que permite estimar acréscimos de 1,86; 0,57; 130,54 e 10,50 mg kg⁻¹, respectivamente, nos teores de B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios, para cada aumento de 11% da ETo e incrementos de 21,21;

69,30; 83,28 e 71,99% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 5. Teores dos micronutrientes B (A), Cu (B), Mn (C), Zn (D), Na no primeiro ciclo (E) e Na no segundo ciclo (F) nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

No segundo ciclo aos teores de Cu, Mn e Zn ajustaram-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 5 B, C e D), que permite estimar acréscimos de 0,48; 44,33 e 9,97 mg kg⁻¹, respectivamente, nos teores de Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios, para cada aumento de 11% da ETo e incrementos de 63,20; 41,91 e 69,74% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

No primeiro ciclo ao teor de Na ajustou-se um modelo quadrático para os turnos de rega de 7 e 14 dias em função das lâminas de irrigação (Figura 5 E). Os maiores valores de Na (67,52 e 65,08 mg kg⁻¹), respectivamente, para os turnos de rega de 7 e 14 dias foram obtidos com a aplicação das lâminas 18 e 17% da ETo, as quais possibilitaram incremento de 76,67 e 48,71% comparados aos valores observados no tratamento sem irrigação.

Os teores de Na no primeiro ciclo diferiram entre os turnos de rega nas lâminas 11 e 22% da ETo (Figura 5 E). Na lâmina 11% da ETo o maior teor de Na (69,52 mg kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 14 dias e apresentou incremento de 18,76% em relação ao menor teor (58,54 mg kg⁻¹) constatado no turno de 7 dias. Já na lâmina 22% da ETo o maior teor de Na (70,65 mg kg⁻¹) foi observado com o turno de rega de 7 dias e apresentou incremento de 26,07% em comparação ao menor teor (56,04 mg kg⁻¹) no turno de rega de 14 dias.

No segundo ciclo ao teor de Na ajustou-se um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 5 F). O maior teor de Na (59,19 mg kg⁻¹), foi obtido com a aplicação da lâmina 24% da ETo e possibilitou incremento de 38,49% quando comparado aos valores mensurados no tratamento sem irrigação. As quantidades aportadas de Na com a lâmina de 33% da ETo com turno de rega de 14 dias no primeiro e segundo ciclo, foram, respectivamente, 807,98 kg ha⁻¹ e 833,75 kg ha⁻¹ (Tabela 3). Isso sugere a necessidade de monitorar frequentemente o teor de Na de solos cultivados com palma forrageira irrigada com água de alta salinidade para evitar impactos ambientais, pois o Na em grandes quantidades provoca dispersão da argila e, conseqüentemente, diminuição da infiltração de água e do fluxo de nutrientes no solo.

O incremento dos teores dos nutrientes N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios com aumento das lâminas de irrigação com água de alta salinidade está associado a maior disponibilidade hídrica no solo, a qual possibilitou melhoria do transporte solo-raiz (NOVAIS e MELLO, 2007) e absorção de nutrientes pela palma forrageira. Tendo-se que a absorção de nutrientes ocorre a partir de seu contato com a superfície da raiz e está diretamente relacionada com sua concentração na solução do solo, a água é provavelmente o fator com maior influência no processo de transporte e absorção de nutrientes (MEURER, 2007). Somada ao efeito da umidade do solo o incremento de Ca e Mg também estão fortemente relacionados ao aporte destes nutrientes pela água de irrigação de alta salinidade, conforme valores apresentados na Tabela 3. As quantidades aportadas de Ca e Mg na lâmina de 33% da ETo com turno de rega de 14 dias no primeiro ciclo foram, respectivamente, 1.374,02 kg ha⁻¹ e 472,38 kg ha⁻¹; e no segundo ciclo, 1.417,85 kg ha⁻¹ e 487,44 kg ha⁻¹. Esses valores são maiores que a exportação desses nutrientes pela palma forrageira ‘Gigante’

observadas em cultivos de sequeiro (SILVA et al., 2016; DONATO et al., 2017a; LÉDO et al., 2021).

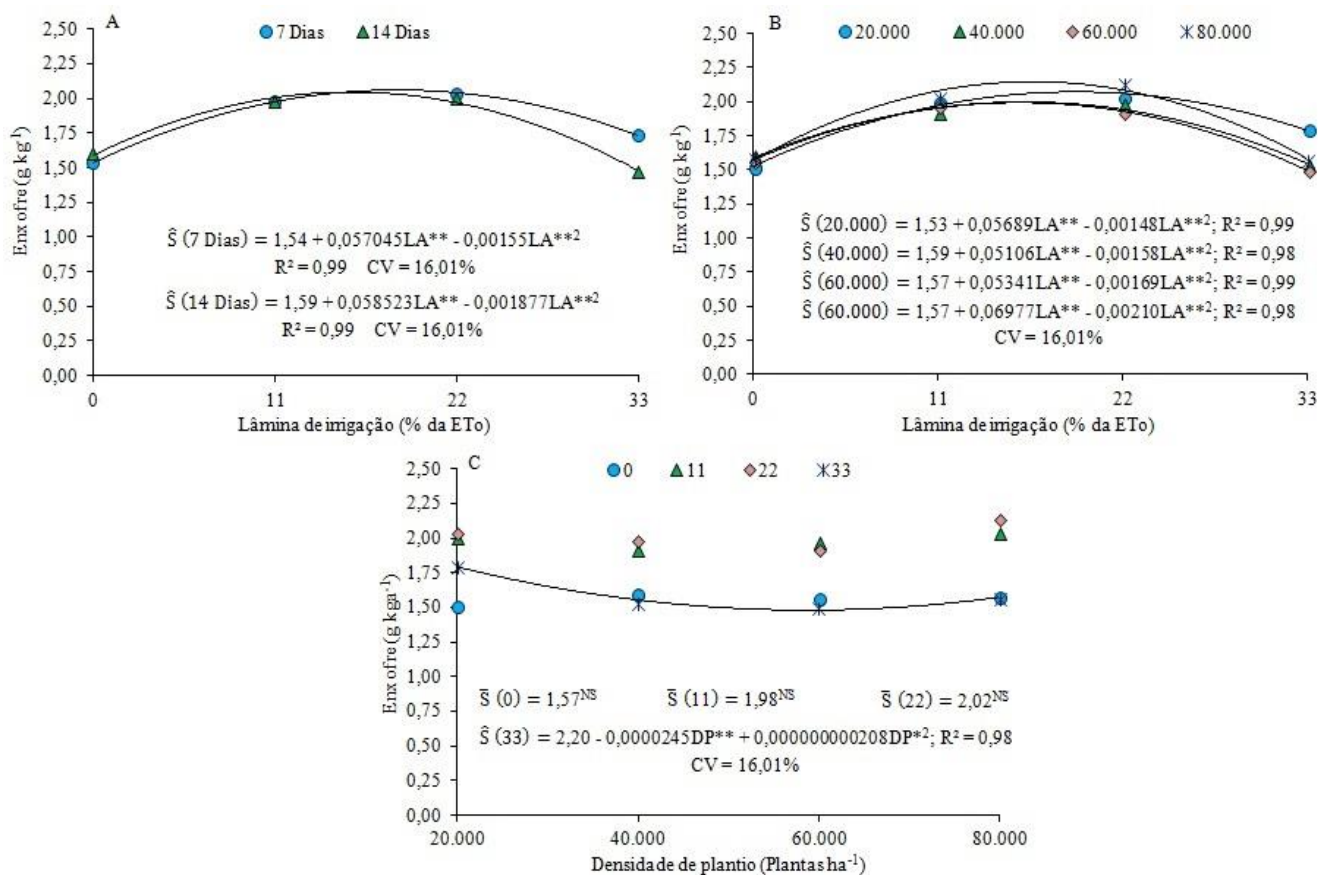
A obtenção dos máximos teores de K nas lâminas intermediárias (23 e 25% da ETo) e posterior redução até aplicação da lâmina 33% da ETo, possivelmente está relacionado ao efeito competitivo com aumento da concentração de Ca e Mg na solução do solo com as maiores quantidades de água de alta salinidade aplicada. Em estudo do estado nutricional da soja influenciados pela relação Ca:Mg, Silva et al. (2012) verificaram que o decréscimo dos teores de K é atribuído à competição entre os íons bivalentes de Ca, que foram incrementados na solução do solo e, por sua vez, no tecido vegetal, com os íons monovalentes de K. Com lâminas maiores pode haver também eventual lixiviação, o que pode justificar o decréscimo dos teores de K.

Não houve ajuste de modelos testados para o teor de S no primeiro ciclo de produção nos turnos de rega em função das densidades de plantio. No primeiro ciclo de produção ao teor de S nos turnos de rega de 7 e 14 dias ajustou-se um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 6 A). Os maiores teores de S (2,06 e 2,05 g kg⁻¹), respectivamente, para os turnos de rega de 7 e 14 dias foram obtidos com a aplicação das lâminas 18 e 16% da ETo, as quais possibilitaram incremento de 34,08 e 28,69% em relação aos valores observados no tratamento sem irrigação.

No primeiro ciclo ao teor de S nas densidades de plantio ajustou-se um modelo quadrático em função das lâminas de irrigação (Figura 6 B). Os maiores teores de S (2,23; 2,00; 1,99 e 2,15 g kg⁻¹), respectivamente, para as densidades 20.000; 40.000; 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ foram obtidos com aplicação das lâminas 25, 16, 16 e 17% da ETo, as quais possibilitaram incremento de 46,07; 25,94; 26,88 e 36,91% em comparação aos valores constatados no tratamento sem irrigação.

De forma semelhante aos teores de K, a resposta quadrática dos teores de S nos tecidos dos cladódios em função do aumento das lâminas de irrigação possivelmente está relacionado ao fato da aplicação de maiores lâminas de irrigação com água de alta salinidade possibilitar grande aporte de Ca ao solo, e este por ser um cátion bivalente promove a retenção de íons SO₄²⁻ e, conseqüentemente, diminui sua disponibilidade para as plantas.

No primeiro ciclo ao teor de S na lâmina de irrigação de 33% da ETo ajustou-se um modelo quadrático, enquanto para as demais lâminas não houve ajuste de modelos em função das densidades de plantio (Figura 6 C). Na lâmina de 33% da ETo o menor teor de S (1,48 g kg⁻¹) foi obtido com a densidade de 58.894 plantas ha⁻¹, a qual possibilitou redução de 17,55% comparada ao valor mensurado na menor densidade (20.000 plantas ha⁻¹).



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 6. Teor do macronutriente S nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ em primeiro ciclo de produção nos turnos de rega em função de lâminas de irrigação (A), nas densidades de plantio em função de lâminas de irrigação (B) e nas lâminas de irrigação em função das densidades de plantio (C).

Os teores de S no primeiro ciclo apresentaram diferença significativa entre os turnos de rega nas densidades de plantio de 20.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. Na densidade 20.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de S (2,00 g kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 7 dias e apresentou incremento de 19,05% em relação ao menor teor (1,68 g kg⁻¹) observado no turno de rega de 14 dias. Já na densidade 80.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de S (1,92 g kg⁻¹) foi anotado com o turno de rega de 14 dias com incremento de 10,34% comparado ao menor teor (1,74 g kg⁻¹) mensurado no turno de rega de 7 dias.

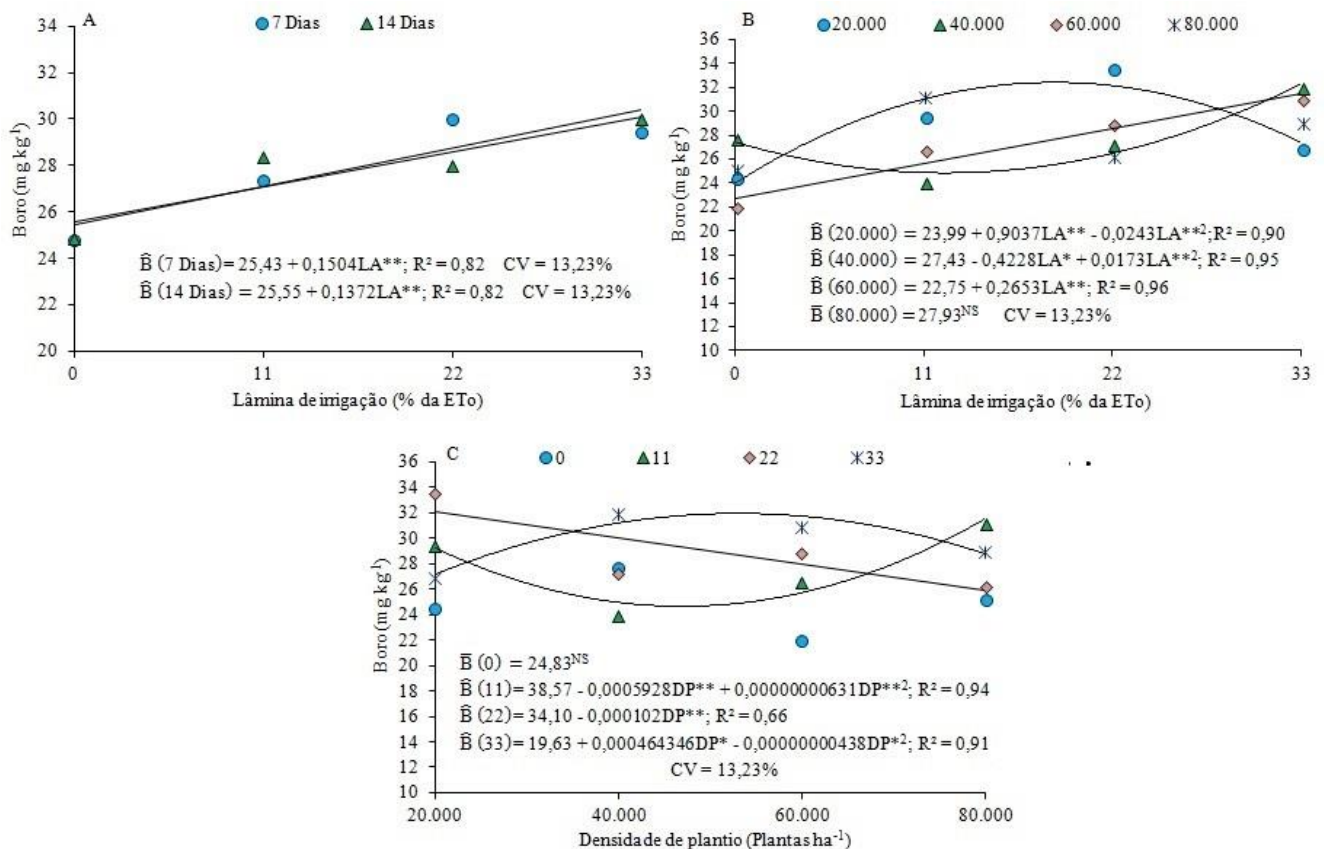
Os teores de S no primeiro ciclo diferiram entre os turnos de rega somente na lâmina de irrigação de 33% da ETo (Figura 6 A), na qual o maior teor de S (1,73 g kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 7 dias e foi 17,69% maior que o valor (1,47 g kg⁻¹) constatado no turno de rega de 14 dias.

Possivelmente o maior teor de S com o turno de rega de 7 dias na lâmina 33% da ETo está associado a menor acúmulo de Ca quando comparado ao turno de rega de 14 dias. O maior intervalo entre irrigações possibilita maiores acúmulo de Ca nas camadas superficiais do solo e, como discutido anteriormente, altas concentrações de Ca retém o S do solo e diminui sua disponibilidade para as plantas.

Não houve ajuste de modelos ao teor de B no segundo ciclo de produção nos turnos de rega em função das densidades de plantio.

No segundo ciclo de produção ao teor de B nos turnos de rega de 7 e 14 dias ajustou-se um modelo linear crescente em função das lâminas de irrigação (Figura 7 A), que permite estimar acréscimos de 1,65 e 1,51 mg kg⁻¹ no teor de B nos cladódios, respectivamente, para os turnos de rega de 7 e 14 dias, para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 19,52 e 17,72% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).

Ao teor de B nas densidades de plantio de 20.000 e 40.000 plantas ha⁻¹ ajustou-se um modelo quadrático, na densidade 60.000 plantas ha⁻¹ ajustou-se um modelo linear crescente e na densidade 80.000 plantas ha⁻¹ não houve ajuste de modelos em função das lâminas de irrigação (Figura 7 B). O maior e o menor teor de B (32,39 e 24,85 mg kg⁻¹), respectivamente, para as densidades 20.000 e 40.000 plantas ha⁻¹ foram obtidos com aplicação das lâminas 19 e 12% da ETo, as quais possibilitaram, respectivamente, incremento e redução de 35,02 e 9,42% em comparação aos valores registrados no tratamento sem irrigação. Na densidade 60.000 plantas ha⁻¹ com o modelo ajustado estima-se acréscimo de 2,92 mg kg⁻¹ no teor de B, para cada aumento de 11% da ETo e incremento de 38,48% do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo).



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 7. Teor do micronutriente B nos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ em segundo ciclo de produção nos turnos de rega em função de lâminas de irrigação (A), nas densidades de plantio em função de lâminas de irrigação (B) e nas lâminas de irrigação em função das densidades de plantio (C).

Não houve ajuste de modelos testados ao teor de B na ausência de irrigação, nas lâminas 11 e 33% da ETo ajustou-se um modelo quadrático e na lâmina 22% da ETo um modelo linear decrescente em função das densidades de plantio (Figura 7 C). Nas lâminas 11 e 33% da ETo o menor e maior teor de B (24,65 e 31,94 mg kg⁻¹), respectivamente, foram obtidos com as densidades 46.973 e 53.008 plantas ha⁻¹, a qual possibilitou redução e incremento de 15,70 e 17,57% em comparação ao valor medido na menor densidade (20.000 plantas ha⁻¹). Na lâmina 22% da ETo, com o modelo ajustado estima decréscimo de 2,04 mg kg⁻¹ no teor de B, para cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ e redução de 19,09% da menor (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹).

Os teores de B no segundo ciclo diferiram entre os turnos de rega nas densidades de plantio de 20.000 e 80.000 plantas ha⁻¹. Na densidade 20.000 plantas ha⁻¹ o maior teor de B (30,48 mg kg⁻¹) foi obtido com o turno de rega de 7 dias e apresentou incremento de 13,86% em relação ao menor teor (26,77 mg kg⁻¹) observado no turno de rega de 14 dias. Já na densidade 80.000

plantas ha⁻¹ o maior teor de B (29,54 mg kg⁻¹) foi expresso com o turno de rega de 14 dias e apresentou incremento de 12,23% em comparação ao menor teor (26,32 mg kg⁻¹) no turno de rega de 7 dias.

Os teores de B no segundo ciclo não diferiram entre os turnos de rega em nenhuma das lâminas de irrigação.

Os maiores teores de P, Ca, S, B e Fe obtidos em densidades maiores com o turno de rega de 14 dias possivelmente estão relacionados com o ressecamento do solo principalmente na camada superficial, devido ao maior intervalo entre as irrigações. Neste caso, a maior exigência de nutrientes proporcionada pela competição entre plantas nas maiores densidades de plantio conduziu as plantas a expandirem o sistema radicular para exploração de volumes maiores de solo o que conseqüentemente possibilita maior área de absorção desses nutrientes. Hassan et al. (2020), em estudo do efeito da disponibilidade de volume do solo no crescimento da raiz de *Opuntia ficus-indica*, verificaram que restrições no volume de solo causam aumento no crescimento das raízes laterais finas, o que sugere ser uma estratégia adaptativa para permitir que as plantas sustentem e aumentem a área da superfície radicular para aumentar, melhorar e explorar novos recursos nutritivos.

Ao considerar que o nutriente P apresenta baixo coeficiente de difusão, B e Fe têm disponibilidade reduzida com aumento do pH do solo, causado pela aplicação da água de alta salinidade, e que o S é retido em altas concentrações de Ca acumulados nas camadas superficiais do solo com o maior intervalo entre eventos de irrigações no solo, a expansão do sistema radicular em alta densidades de plantio é um mecanismo para evitar a competição por nutrientes entre plantas, melhorar a absorção desses nutrientes e por consequência apresentar maiores teores com turno de rega de 14 dias.

Apesar das variações dos teores de nutrientes nos tecidos dos cladódios com aplicação das lâminas de irrigação, não houve deficiência de nenhum deles. Conforme valores estabelecidos por Alves et al. (2019a, 2019b), os teores de N e P nos tecidos dos cladódios apresentaram-se marginais na ausência de irrigação e passaram para suficientes com aplicação das lâminas de irrigação. Os teores de K, Ca e Mg passaram de suficiente no tratamento sem irrigação para bom ou muito bom com aplicação das lâminas de irrigação. Os teores de S e B apresentaram-se suficientes, os de Cu e Na apresentaram-se suficientes ou bons e os de Mn e Zn apresentaram suficientes, bons ou muito bons com as diferentes lâminas de irrigação.

A ausência de deficiências de nutrientes na palma forrageira mesmo no tratamento sem irrigação deve-se ao manejo da adubação orgânica e química, com aplicação padronizada das

doses recomendadas nos dois ciclos de produção, com aplicações a lanço realizadas no período chuvoso.

Por último, a despeito dos teores de Cl não terem sido avaliados nos tecidos dos cladódios da palma forrageira ‘Gigante’, é importante refletir sobre o aporte deste elemento quando se irriga com água de alta salinidade. As quantidades aportadas de Cl com a lâmina de 33% da ETo sob turno de rega de 14 dias no primeiro e segundo ciclo, foram, respectivamente, 3.979,77 kg ha⁻¹ e 4.106,70 kg ha⁻¹ (Tabela 3), enquanto os valores de condutividade elétrica do solo nas áreas de sequeiro e irrigadas com 33% da ETo, foram, respectivamente, 0,91 dS m⁻¹ e 2,13 dS m⁻¹ (Tabela 4). Isso indica que em casos de solos cultivados com palma forrageira irrigada com água de alta salinidade, a fonte utilizada para adubação potássica deve ser o sulfato de potássio em detrimento do cloreto de potássio como foi utilizado neste estudo, para diminuir os riscos de salinização do solo em função do menor índice salino daquele fertilizante. Sugere-se também acompanhamento contínuo da CE do solo.

CONCLUSÕES

A aplicação da lâmina 33% da ETo com água de alta salinidade, possibilita aumento dos teores de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios de palma forrageira ‘Gigante’.

Os máximos teores de K, S e Na nos tecidos dos cladódios são obtidos com aplicação de lâminas de irrigação entre 16 e 25% da ETo.

AGRADECIMENTOS

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela concessão de bolsa de estudos e financiamento da pesquisa.

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

Ao Instituto Federal Baiano, *Campus* Ganambi pela disponibilidade de estrutura para realização da pesquisa e apoio fornecido durante a execução.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Alves, J. F. T., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Silva, J. A., & Guimarães, B. V. C. (2019). Establishment of Sufficiency Ranges to Determine the Nutritional Status of ‘Gigante’ Forage Cactus Pear – Macronutrients. *Journal of Agricultural Science*, 11(18), 213-221. DOI: 10.5539/jas.v11n18p213x
- Alves, J. F. T., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Silva, J. A., & Guimarães, B. V. C. (2019). Establishment of Sufficiency Ranges to Determine the Nutritional Status of ‘Gigante’ Forage Cactus Pear – Micronutrients. *Journal of Agricultural Science*, 11(18), 222-229. DOI: 10.5539/jas.v11n18p222
- Ammar, I., Ben Salem, M., Harrabi, B., Mzid, M., Bardaa, S., Sahnoun, Z., ... Ennouri, M. (2018). Anti-inflammatory activity and phenolic composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) flowers. *Industrial Crops and Products*, 112, 313-319. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.12.028
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water Quality for Agriculture*. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1., FAO.
- Barba, F. J., Garcia, C., Fessard, A., Munekata, P. E. S., Lorenzo, J. M., Aboudia, A., Ouadia, A., & Remize, F. (2020). *Opuntia Ficus Indica*. Edible Parts: A Food and Nutritional Security Perspective. *Food Reviews International*, 41, 1-23. DOI: 10.1080/87559129.2020.1756844
- Broadley, M., Brown, P. H., Cakmak, I., Ma, J. F., Rengel, Z., & Zhao, F. (2012). Beneficial elements. In Marschner, P. (Ed.), *Marschner’s mineral nutrition of higher plants* (p. 249-269). Amsterdam: Elsevier.
- Cavalcante, L. A. D., Santos, G. R. de A., Silva, L. M., Fagundes, J. L., & Silva, M. A. da. (2014). Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(4), 424-433.
- Connor, J. D., Schwabe, K., King, D., & Knapp, K. (2012). Irrigated agriculture and climate change: The influence of water supply variability and salinity on adaptation. *Ecological Economics*, 77, 149-157. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.02.021
- Diniz, W. J. da S., Silva, T. G. F. da, Ferreira, J. M. da S., Santos, D. C. dos; Moura, M. S. B. de, Araújo, G. G. L. de, & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52 (9), 724-733. DOI: 10.1590/s0100-204x2017000900004
- Donato, P. E. R., Donato, S. L. R., Silva, J. A., Pires, A. J. V., & Silva Junior, A. A. (2017). Extraction/exportation of macronutrients by cladodes of ‘Gigante’ cactus pear under different spacings and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(4), 238-243. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p238-243
- Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Silva, J. A., & Rodrigues, M. G. V. (2017). Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para a palma forrageira ‘Gigante’. *Informe Agropecuário*, 38(296), 46-58.

Fonseca, V. A., Santos, M. R., Silva, J. A., Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S., & BRITO, C. F. B. (2019). Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, 1-11. DOI: 10.4025/actasciagron.v41i1.42631

Fonseca, V. A., Costa, L. C., Silva, J. A. da., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., & Souza, E. S. (2020). 'Gigante' cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(11), 769-775. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p769-775>

Hassan, S., Liguori, G., Inglese, P., Louahaichi, M., & Sortino, G. (2020). The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. *Agronomy*, 10(635), 1-17. DOI:10.3390/agronomy10050635

IUSS Working Group WRB. (2015). *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. Rome: FAO. (World Soil Resources Reports, 106).

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., ... Minx, J. C. (Eds.). Cambridge: United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Ledo, A. A., Donato, S. L. R., Aspiazú, I., Silva, J. A., Brito, C. F. B., & Donato, P. E. R. (2021). Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by 'Gigante' cactus pear under different fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25(2), 82-89. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n2p82-89>

Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997). *Avaliação do estado Nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato.

Mayer, J. A., & Cushman, J. C. (2019). Nutritional and mineral content of prickly pear cactus: A highly water-use efficient forage, fodder and food species. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(6), 625-634. DOI: 10.1111/jac.12353

Meurer, E. J. (2007). Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In Novais, R. F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F.; Fontes, L. E. F.; Neves, J. C. L. (Eds.), *Fertilidade do solo* (p. 133-204). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Nefzaoui, A., Louhaichi, M., & Salem, H. B. (2014). Cactus as a Tool to Mitigate Drought and to Combat Desertification. *Journal of Arid Land Studies*, 24(1), 121-124.

Novais, R. F., & Mello, J. W. V. (2007). Relação solo-planta. In Novais, R. F., Alvarez, V., V. H., Barros, N. F., Fontes, L. E. F., Neves, J. C. L. (Eds.). *Fertilidade do solo*. (p. 133-204). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. cap. 4.

Owen, N. A., Fahy, K. F., & Griffiths, H. (2015). Crassulacean acid metabolism (CAM) offers sustainable bioenergy production and resilience to climate change. *Global Change Biology Bioenergy*, 8(4), 1-13. DOI: 10.1111/gcbb.12272

Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: US Department of Agriculture, 160 p. USDA Agricultural Handbook, 60.

Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araújo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, DF: Embrapa.

Santos, M. R., & Brito, C. F. B. (2016). Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. *Revista Agrotecnologia*, 7(1), 33-41. DOI: 10.12971/5175

Silva, G. R., Sena, W. L., Matos, G. S. B., Fernandes, A. R., & Gama, M. A. P. (2012). Crescimento e estado nutricional da soja influenciados pela relação Ca:Mg em solo do cerrado paraense. *Revista de Ciências Agrárias*, 55(1), 52-57. DOI: 10.4322/rca.2012.038

Silva, J. A., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Souza, E. S., Padilha Júnior, M. C., & Silva Júnior, A. A. (2016). Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacing's and chemical fertilizers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(3), 236-242. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p236-242

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. (2014). Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, 44(11), 2064-2071. DOI: 10.1590/0103-8478cr20131305

Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy*. (12th ed.). Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service

CONCLUSÃO GERAL

Utilização de água com alta salinidade para irrigação da palma forrageira ‘Gigante’ não afeta seu crescimento e produtividade.

Densidades de plantio maiores que 69.707 plantas ha⁻¹ não proporcionam aumento da produtividade de matéria verde e seca da palma forrageira ‘Gigante’.

Irrigação da palma forrageira com água de alta salinidade possibilita aumento dos teores de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn nos tecidos dos cladódios.

Em todos os tratamentos, os teores dos nutrientes nos cladódios se mantêm dentro da faixa de suficiência.