



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

CARLOS MENDES OLIVEIRA

**PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB
DENSIDADES DE PLANTIO DURANTE TRÊS CICLOS DE PRODUÇÃO**

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

CARLOS MENDES OLIVEIRA

**PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA
SOB DENSIDADES DE PLANTIO DURANTE TRÊS CICLOS DE
PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2022

Catálogo: Roberta Pinheiro Ferraz - CRB-5/1596, IF Baiano,
Campus Guanambi

B238p Oliveira, Carlos Mendes

Palma forrageira 'gigante' irrigada com água salina sob densidade de plantio durante três ciclos de produção. / Carlos Mendes Oliveira.– Guanambi, Ba., 2022.

50f.: il.

Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Guanambi.

Orientador: Marcelo Rocha dos Santos.

Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

1. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*). 2. Manejo de irrigação. 4. Salinidade. 5. Produtividade. 6. Semiárido.
I. Título.

CDU: 633.3



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

CARLOS MENDES OLIVEIRA

**PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA
SOB DENSIDADES DE PLANTIO DURANTE TRÊS CICLOS DE
PRODUÇÃO**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

APROVADA: 20 de abril de 2022

Dr. Varley Andrade Fonseca
Membro da Banca Consultor - Ibiassucê, BA

Prof. Dr. Carlos Elízio Cotrim
Membro da Banca IFBaiano - Guanambi, BA

Prof. Dr. Pedro Ricardo Rocha Marques
Membro da Banca IFBaiano - Guanambi, BA

Prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato
Coorientador - IFBaiano - Guanambi, BA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por Sua presença ao longo da minha caminhada, por todas as conquistas diárias alcançadas, me dando forças para superar todos os obstáculos.

Aos meus pais Antônio Carlos e Luciene Mendes, minhas irmãs Pricilla Mendes, Patrícia Mendes e Paloma Mendes que deram todo amor, carinho, compreensão, incentivo e suporte para vencer todas as batalhas na minha vida e pelas lutas diárias para que esse nosso sonho se tornasse realidade. Amo muito vocês.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido e todo apoio, todos os professores do curso que proporcionaram um excelente aprendizado, em especial ao orientador prof. Dr. Marcelo Rocha dos Santos e ao coorientador prof. Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato, por todos conhecimentos repassados.

Renato da Silva Batista, pela ajuda na condução e manutenção do experimento e pela amizade construída.

A Varley Andrade Fonseca, pela amizade e por todo empenho em ajudar sempre que solicitado ao longo desse período, que juntamente, com os professores Carlos Elízio Cotrim e Pedro Ricardo Rocha Marques, compôs a banca de defesa de avaliação com sugestões que contribuíram para melhoria da dissertação.

Aos funcionários do Setor de Agricultura do IF Baiano (Seu Zé, Branco e os demais), por serem sempre prestativos com as solicitações. Eliton Rodrigues e Cleiton Fernando pela amizade e o apoio, sempre dispostos a ajudar.

A empresa Zziphus Consultoria e Assessoria Ambiental, pela concessão da bolsa e por todo aprendizado proporcionado durante esse período.

Enfim, a todos que contribuíram de uma forma direta ou indireta para que este trabalho fosse realizado e para minha formação.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	7
GENERAL ABSTRACT	7
INTRODUÇÃO GERAL	5
CAPÍTULO 1	9
PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO NO TERCEIRO CICLO PRODUTIVO	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
5. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 2	32
PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO EM TRÊS CICLOS PRODUTIVOS	32
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	35
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5. REFERÊNCIAS	48

RESUMO GERAL

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, abril de 2022. **Palma forrageira 'Gigante' irrigada com água salina sob densidade de plantio durante três ciclos de produção.** Orientador: Marcelo Rocha dos Santos. Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

A palma forrageira possui metabolismo MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), sendo considerada uma planta xerófila, o que a torna adaptada às condições adversas da região semiárida. A baixa quantidade e irregularidades das precipitações pluviométricas durante o ano são características marcantes do Semiárido, o que dificulta o manejo dos rebanhos em determinada época, pois a produção de pastagens naturais em volume e em qualidade nutricional para suprir a necessidade alimentar desses animais são limitadas. A palma forrageira desempenha importante função diante desses inconvenientes, devido a sua alta resiliência. Objetivou-se com o presente estudo, avaliar as características morfológicas e o rendimento produtivo da palma forrageira sob diferentes densidades de plantio e irrigação com água salina, no terceiro ciclo produtivo e ao longo de três ciclos produtivos. O experimento foi realizado em área experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi. No terceiro ciclo produtivo o delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo utilizado nas parcelas, dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), e nas subsubparcelas três diferentes lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo) e o tratamento sem irrigação. Ao longo dos três ciclos produtivos utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas no tempo, nas parcelas alocadas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), nas subparcelas, três diferentes lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo) e o tratamento sem irrigação, e nas subsubparcelas, três ciclos de produção. A elevação da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece o aumento do índice de área dos cladódios (IAC), produtividade (PMV e PMS), volume de água armazenada nos cladódios (VAC) e eficiência de uso da água (EUAPMV e EUAPMS) e reduz a largura da planta e o número de cladódio por planta no terceiro ciclo de produção. O aumento das lâminas de irrigação proporciona ganhos na espessura dos cladódios até a lâmina de 24% da ETo e promove redução nas variáveis morfológicas altura da planta, largura da planta, número de cladódios, comprimento dos cladódios, largura dos cladódios e IAC, e de produtividade avaliadas no terceiro ciclo produtivo. As lâminas crescentes de irrigação promovem redução no teor de matéria seca independente do ciclo de produção. A maior PMV foi registrada no primeiro ciclo produtivo com aplicação da lâmina de 33% da ETo. Para PMS a aplicação das maiores lâminas de irrigação foi refletida apenas no primeiro ciclo de produção. A lâmina de 33% da ETo reduz a eficiência de uso da água. O aumento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece a PMV, PMS e a EUAPMV ao longo dos três ciclos produtivos. A EUAPMS, responde de forma positiva até 50.000 plantas ha⁻¹. O aumento das lâminas de irrigação até 33% da ETo reduz o número de plantas mortas ao longo dos ciclos.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*; semiárido, estande, manejo da irrigação, salinidade.

GENERAL ABSTRACT

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, April 2022.. **'Gigante' forage cactus pear irrigated with saline water under planting density during three production cycles.** Advisor: Marcelo Rocha dos Santos. Co-advisor: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

The forage cactus pear has MAC (Crassulacean Acid Metabolism) metabolism, being considered a xerophilous plant, which makes it adapted to the adverse conditions of the semiarid region. The low amount and irregularities of rainfall during the year are striking features of the semiarid region, which makes it difficult to manage the herds at a given time, as the production of natural pastures in volume and nutritional quality to meet the food needs of these animals is limited. Forage cactus pear plays an important role in the face of these drawbacks, due to its high resilience. The objective of the present study was to evaluate the morphological characteristics and the productive yield of forage cactus pear under different planting densities and irrigation with saline water, in the third production cycle and over three production cycles. The experiment was carried out in an experimental area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia - *Campus* Guanambi. In the third production cycle, the experimental design was in randomized blocks in a split plot scheme, being used in the plots, two

irrigation shifts (7 and 14 days), in the subplots, four planting densities (20, 40, 60 and 80 thousand plants ha⁻¹), and in the subsubplots three different irrigation depths (11, 22 and 33% of ETo) and the treatment without irrigation. Throughout the three production cycles, a scheme of plots subdivided in time was used, in the plots allocated, four planting densities (20, 40, 60 and 80 thousand plants ha⁻¹), in the subplots, three different irrigation depths (11, 22 and 33% of the ETo) and the treatment without irrigation, and in the subsubplots, three production cycles. The increase in planting density to 80.000 plants ha⁻¹ favors an increase in the cladode area index (CAI), productivity (GMP and DMS), volume of water stored in cladodes (VWC), water use efficiency (WUEGMP and WUEDMS) and reduces the width of the plant and the number of cladodes per plant in the third production cycle. The increase in irrigation depths provides gains in cladode thickness up to a depth of 24% of ETo and promotes a reduction in the morphological variables plant height, plant width, number of cladodes, cladode length, cladode width and CAI, and productivity evaluated in the third production cycle. The increasing irrigation depths promote a reduction in the dry matter content regardless of the production cycle. The highest GMP was recorded in the first production cycle with application of the 33% ETo depth. For DMS, the application of the highest irrigation depths was reflected only in the first production cycle. ETo 33% blade reduces water use efficiency. The increase in planting density up to 80.000 plants ha⁻¹ favors GMP, DMS and WUEGMP over the three production cycles. WUEDMS responds positively to up to 50.000 plants ha⁻¹. Increasing irrigation depths up to 33% of ETo reduces the number of dead plants over the cycles.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*; semiarid, stand, irrigation management, salinity.

INTRODUÇÃO GERAL

A região semiárida brasileira possui uma área de 1.128.697 km², o que corresponde cerca de 12% do território nacional e abrange 1.262 municípios, com a maior quantidade localizado no estado da Bahia, 278 municípios (BRASIL, 2017). Esta região é marcada por apresentar escassez e irregularidade de chuva, elevada evaporação anual, além de solos rasos que dificulta a retenção de água (SILVA et al., 2014), influenciando diretamente a produção vegetal, dificultando o manejo no setor agropecuário no período de estiagem, pois compromete a produção de forragem em quantidade e qualidade nutricional para suprir a necessidade alimentar dos animais (ALMEIDA, 2012).

Levando em consideração as condições edafoclimáticas da região semiárida é necessário o uso de plantas adaptadas, que garantem seu pleno desenvolvimento através do convívio com o ambiente semiárido, possuindo resistência as altas temperaturas, ao excesso de radiação, aos estresses por déficit hídrico, entre outros aspectos que possa garantir a redução das restrições deste ambiente (DONATO et al., 2014). A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) é uma das culturas de grande importância nesta região, devido a sua adaptação e por assegurar alimentação animal no período de escassez de outras forragens.

A adaptabilidade em condições semiáridas desta cactácea é verificada com seus atributos morfofisiológicos que restringe a transpiração com a presença de cutículas grossas, grandes vacúolos, um menor número e tamanho de estômatos, entre outras características (DONATO et al., 2020), o que a caracteriza como planta xerófila. O seu mecanismo fotossintético concentrador de CO₂ é denominado de MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) (DONATO et al., 2014), na qual a abertura estomática ocorre à noite com absorção de CO₂, que fica carboxilado na forma de ácido málico no vacúolo, para as atividades fotossintéticas durante o dia (SANTOS et al., 2011).

Nos períodos de estiagem a palma forrageira é uma alimentação estratégica para os ruminantes (NASCIMENTO, 2019), pois seus aspectos morfofisiológicos e sua adaptabilidade torna positiva a eficiência do uso da água, conseguindo produzir uma maior quantidade de fitomassa com uma menor oferta hídrica. Contudo, o manejo inadequado tem contribuído para baixos índices produtivos no palmar, o que torna necessária a adoção de tecnologias que permitam uma produção mais eficiente desta forrageira.

Diversos estudos vêm demonstrando que a adoção de técnicas de manejo adequadas, como a adubação (DONATO et al., 2014; PADILHA JUNIOR et al., 2016), densidade de plantio (CAVALCANTE et al., 2014; SILVA et al., 2014) e a irrigação (CASTRO et al., 2020; FONSECA et al., 2019; QUEIROZ et al., 2015), possibilita um maior rendimento produtivo da palma forrageira. Atualmente a inserção de técnicas de manejo já é realidade em algumas

propriedades (AMORIM, 2015), dentre esses manejos a irrigação possui um grande destaque no cultivo da palma forrageira, pois a cultura apresenta uma baixa exigência hídrica (SANTOS et al., 2017), o que é refletido num alto valor energético e elevada produtividade (SANTOS, DONATO & COTRIM JUNIOR, 2020). Outra técnica de manejo que vem sendo aplicada é a densidade de plantio, que tem grande influência na morfologia da palma forrageira, proporcionando aumento ou redução do número, tamanho e forma dos cladódios, além da massa de forragem (FONSECA et al., 2020; SILVA et al., 2019).

Considerando as características do Semiárido, a irrigação, além de garantir produções mais satisfatórias na palma forrageira, tem a capacidade de otimizar a utilização de água de qualidade inferior nas propriedades, sendo que grande parte dessas águas são subterrâneas e possui altas concentrações de sais (FARIAS; FARIAS & DANTAS NETO, 2017). Existem registros de grandes produções de forragem, através do manejo utilizando irrigação com água de qualidade inferior. O emprego desta técnica, de forma racional e controlada, torna uma alternativa viável para suprir a necessidade hídrica das espécies, garantindo sua sobrevivência no momento de escassez (SILVA, 2018). Desta forma, irrigação com água salina na palma forrageira pode contribuir de forma significativa, com aumento da disponibilidade desta forrageira para alimentação animal e diminuir a dependência do agricultor com gastos para adquirir outras forragens.

A obtenção de uma estratégia de irrigação com água salina combinada com uma densidade de plantio adequada torna-se fundamental na região semiárida, pois promove a inserção de uma água de qualidade inferior na pequena propriedade, favorece o desenvolvimento das plantas, aumentando assim a produtividade e a qualidade nutricional do palmar, tornando o sistema produtivo mais sustentável e economicamente viável. Diante do exposto, objetivou-se avaliar as características morfométricas e de rendimento produtivo em palma forrageira ‘Gigante’ sob irrigação com água salina e densidades de plantio.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
- AMORIM, D. M. **Estratégias de irrigação e de sistemas de cultivo da palma forrageira cv. Orelha de elefante mexicana**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, p. 86, 2015.
- 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.; ARRUDA SANTOS, G. R. de A.; SILVA, L. M. da; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, out./dez. 2014.

FARIAS, D. S. C. R.; FARIAS, S. A. R.; DANTAS NETO, J. Águas subterrâneas com elevados teores de sais contribuindo para elevar a salinidade das águas superficiais. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, Belém, 2017.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014.

DONATO, S. L. R.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; ARANTES, A. de M., SILVA, J. A. da.; DONATO, P. E. R. Aspectos ecofisiológicos. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 43 - 77.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R. dos; SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, ed. 42631, p. 1 - 11, 2019.

FONSECA, V. A.; COSTA, L. C. SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S. ‘Gigante’ cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.24, n.11, p.769-775, 2020.

NASCIMENTO, S. M do. **Polímero de alta densidade e adubação foliar em palma orelha de elefante mexicana**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Macaíba, p.87, 2019.

PADILHA JUNIOR, M.C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A. da; DONATO, P. E. R.; Souza, E. S. Características Morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 1, p. 67-72, jan./ mar. 2016.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n.10, p. 931-938, 2015.

SANTOS, M. V. F. dos; CUNHA, M. V. da; LIRA, M. de A.; DOUBEUX JUNIOR. C. B.; FREIRE, J. de L.; PINTO, M. do S. de C.; SANTOS, D. C. dos; SOUZA, T. C. de; SILVA, M. da C. Manejo da palma forrageira. In: 2º **Congresso brasileiro de palma forrageira e outras cactáceas**, 2011, Garanhuns - PE. Disponível em: <https://silo.tips/download/manejo-da-palmaforrageira>. Acesso em: 17 de dez. de 2021.

SANTOS, M. R. dos; SILVA, A. J. P. da; FONSECA, V. A.; CAMPOS, A. R. F.; LISBOA, M. de A. Irrigação na palma forrageira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 76-88, 2017.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.75-86, 2020.

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria v.44, n.11, nov., 2014.

SILVA, R. H. D. da. **Crescimento de palma forrageira irrigada com água salina**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 56, 2018.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. de F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. de S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. de L. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n.6, p. 88-96, 2019.

CAPÍTULO 1

PALMA FORRAGEIRA ‘GIGANTE’ IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO NO TERCEIRO CICLO PRODUTIVO

RESUMO

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, abril de 2022. **Palma forrageira 'Gigante' irrigada com água salina sob densidades de plantio no terceiro ciclo produtivo.** Orientador: Marcelo Rocha dos Santos. Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

A região semiárida apresenta no seu território, irregularidade espacial e temporal na distribuição pluviométrica, conseqüentemente, escassez de água de boa qualidade, o que afeta diretamente a produção vegetal como um todo. Na alimentação animal o cultivo de forragem tem sido afetado devido às intempéries do semiárido, sendo necessário a utilização de plantas adaptadas. Neste contexto, a palma forrageira pode suprir a escassez de outras forragens em certos períodos, por ser excelente fonte para a alimentação animal. Desta forma, objetivou-se com o presente estudo, avaliar as características morfológicas e o rendimento produtivo da palma forrageira sob diferentes densidades de plantio e irrigação com água salina, no terceiro ciclo produtivo. O experimento foi realizado em área experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi. O delineamento experimental foi em blocos casualizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo utilizado nas parcelas, dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), e nas subsubparcelas três lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo), juntamente com o tratamento sem irrigação, perfazendo um total de 32 tratamentos, com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais. O aumento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece o aumento do índice de área do cladódio, o rendimento produtivo de matéria verde e seca, o volume de água armazenada nos cladódios e a eficiência do uso da água, por outro lado, reduz a largura da planta e o número de cladódio por planta no terceiro ciclo de produção. O aumento das lâminas de irrigação proporciona ganhos na espessura dos cladódios até a lâmina de 24% da ETo e promove redução nas variáveis morfológicas altura e largura da planta, número de cladódio por planta, comprimento e largura dos cladódios e no índice de área dos cladódios e de produtividade avaliadas no terceiro ciclo de produção.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*; semiárido, manejo da irrigação, plantio adensado, salinidade.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, April 2022. **'Gigante' forage cactus pear irrigated with saline water under planting densities in the third productive cycle.** Advisor: Marcelo Rocha dos Santos. Co-advisor: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

The semi-arid region features in its territory, spatial and temporal irregularity in the rainfall distribution, consequently, scarcity of good quality water, which directly affects plant production as a whole. In animal feed, forage cultivation has been affected due to the weather in the semi-arid region, making it necessary to use adapted plants. In this context, forage cactus pear can supply the shortage of other forages in certain periods, as it is an excellent source for animal feed. Thus, the objective of the present study was to evaluate the morphological characteristics and yield of forage cactus pear under different planting densities and irrigation with saline water, in the third production cycle. The experiment was carried out in an experimental area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia - *Campus* Guanambi. The experimental design was in randomized blocks in a split plot scheme, being used in the plots, two irrigation shifts (7 and 14 days), in the subplots, four planting densities (20, 40, 60 and 80 thousand plants ha⁻¹), and in the subsubplots three irrigation depths (11, 22 and 33% of the ETo), together with the treatment without irrigation, making a total of 32 treatments, with three replications, totaling 96 experimental units. The increase in planting density up to 80.000 plants ha⁻¹ favors an increase in the cladode area index, the productive yield of green and dry matter, the volume of water stored in the cladodes and the efficiency of water use, on the other hand, reduces the plant width and the number of cladodes per plant in the third production cycle. The increase in irrigation depths provides gains in cladode thickness up to 24% of ETo and promotes a reduction in the morphological variables plant height and width, number of cladodes per plant, cladode length and width and cladode area index and productivity evaluated in the third production cycle.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*; semiarid, irrigation management, dense planting, salinity.

1. INTRODUÇÃO

Os baixos índices pluviométricos e a irregular distribuição tanto temporal, quanto espacial das chuvas, acomete o Semiárido brasileiro com extremas secas, o que proporciona uma estacionalidade na produção de forragem, e por consequência um aumento na mortalidade de animais por fome nos períodos prolongados de estiagem (SILVA et al., 2017). Devido a essa condição, pesquisas com plantas adaptadas ao Semiárido têm sido intensificada, para além de identificá-las, determinar os manejos eficientes que potencialize o rendimento produtivo (FONSECA, 2017).

A palma forrageira é uma dessas espécies pesquisadas, sendo amplamente usada no Nordeste brasileiro, normalmente sendo a única forragem disponível nos momentos críticos de seca. Seu cultivo por muito tempo foi considerado como “bodismo”, uma expressão popular que faz analogia a criação de bode à solta na Caatinga, indicando a rusticidade e adaptação às condições semiáridas da cultura, sem a adoção do manejo adequado (DONATO, P. et al., 2020). Essas características, atreladas a anos consecutivos de seca e a demanda por alimentos para os rebanhos, geram a necessidade de repensar os sistemas de produção (SILVA et al., 2020).

Nos sistemas de produção a irrigação é um dos manejos adotados, que promove o incremento no rendimento produtivo (CASTRO et al., 2020; FONSECA et al., 2019). A palma forrageira apresenta resposta positiva a esse manejo, onde seu potencial é favorecido pela irrigação, pois sua exigência hídrica é mínima. Nas regiões que apresentam extrema escassez e uma qualidade hídrica inferior, essa cultura também tem a capacidade de viabilizar a utilização dessa água e aumentar seu rendimento forrageiro (SANTOS et al., 2017).

As combinações de manejo associado com a densidade de plantio torna a condução do palmar sustentável e contribui com o retorno produtivo. Nas regiões onde as condições climáticas são imprevisíveis e proporciona uma competição hídrica em condições de sequeiro, recomendasse o adensamento combinado com suprimento hídrico, para não apresentar redução da biomassa (SILVA et al., 2019). No entanto, há necessidade de estudo que apresente uma configuração de densidade de plantio e irrigação com água salina, que torne o sistema produtivo mais sustentável e economicamente viável.

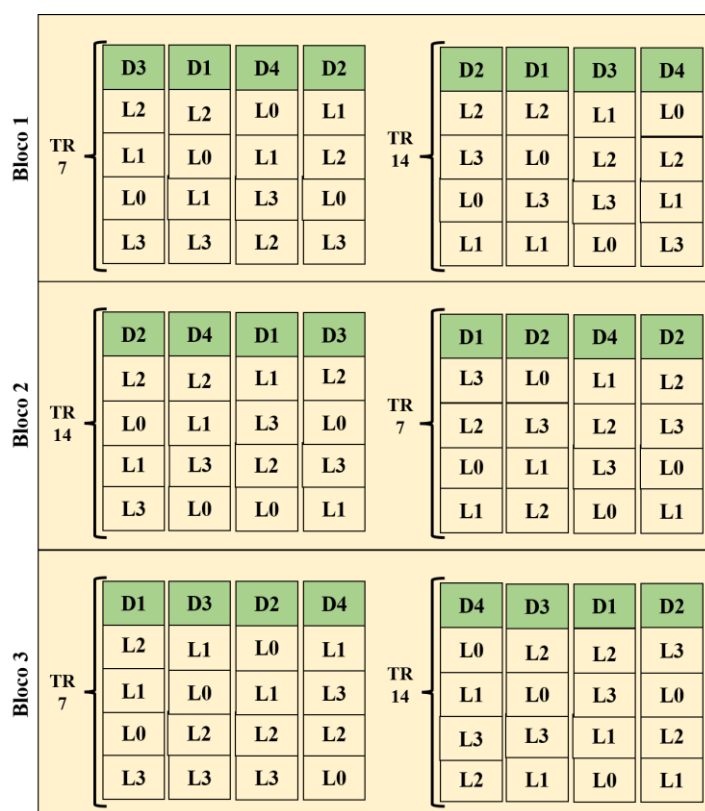
Diante do exposto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar as características morfológicas e o rendimento produtivo da palma forrageira no terceiro ciclo produtivo sob densidades de plantio e irrigação com água salina.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Guanambi*, localizado no Município de Guanambi,

Micro Região da Serra Geral, Sudoeste da Bahia, coordenadas 14°13'30" sul e 42°46'53" oeste, altitude de 525 m. O clima é semiárido quente e seco, com estação seca bem definida no inverno e período chuvoso entre os meses de outubro e março. A precipitação média anual é de 672,3 mm (média dos últimos 40 anos) e a temperatura média anual de 26 °C (média dos últimos 34 anos).

O delineamento experimental foi em blocos casualizado (DBC) em esquema de parcelas subsubdivididas, sendo utilizado nas parcelas, dois turnos de rega (7 e 14 dias), nas subparcelas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), e nas subsubparcelas três diferentes lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo), incluindo o tratamento sem irrigação, perfazendo um total de 32 tratamentos, com três repetições, totalizando 96 unidades experimentais (Figura 1). 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. O palmar foi implantado em 2017 com a espécie *Opuntia ficus-indica* Mill ‘Gigante’ e recebeu, nos dois ciclos anteriores, irrigação com água salina.



TR7 - Turno de rega 7 dias; TR14 - Turno de rega 14 dias; D1 - 20.000 plantas ha⁻¹; D2 - 40.000 plantas ha⁻¹; D3 - 60.000 plantas ha⁻¹; D4 - 80.000 plantas ha⁻¹; L0 - Sem irrigação; L1 - 11% de ETo; L2 - 22% de ETo; L3 - 33% de ETo.

Figura 1. Croqui da área experimental de palma forrageira ‘Gigante’.

O solo da área foi originalmente caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018), que corresponde a Oxisols (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da condução do terceiro ciclo produtivo foram coletadas amostras de solo para

caracterização da condutividade elétrica do solo na camada de 0 a 0,20 m, no tratamento de sequeiro e na maior lâmina de irrigação (33% da ETo) (Tabela 1).

Tabela 1. Condutividade elétrica do extrato de pasta de solo saturado antes da condução do terceiro de produção.

Lâmina de Irrigação	Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)
0% da ETo	1,27
33% da ETo	1,87

Durante o período de condução, os principais elementos meteorológicos (temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, precipitação e evapotranspiração) foram obtidos da estação meteorológica localizada próxima da área experimental (Figura 2).

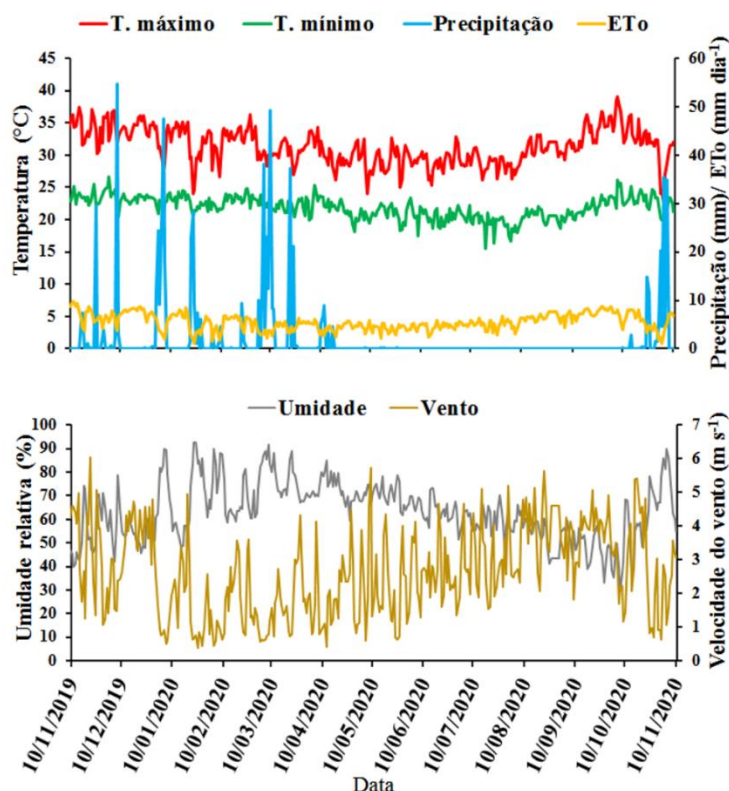


Figura 2. Temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento durante o período experimental.

Fonte: dados coletados na estação meteorológica automática instalada na área experimental do Instituto Federal Baiano - *Campus Guanambi*.

Para aplicação das lâminas, a evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada pelo método de Penman-Monteith a partir dos dados da estação meteorológica e calculado o tempo de irrigação para cada tratamento, conforme equação 1 descrita por Santos & Brito (2016) para faixa contínua molhada. O sistema de irrigação foi constituído por linhas principais e de derivação de PVC com diâmetro de 50 mm. As linhas laterais foram mangueiras gotejadores de 16 mm, com emissores tipo labirinto, com vazão de 3,2 L h⁻¹, espaçados 0,5 m um do outro.

$$T_i = \frac{\Sigma E_{To} \times E_l \times E_g \times K_l}{q \times E_a} \times L \quad (1)$$

em que,

TI é o tempo de irrigação (horas);

ETo é a evapotranspiração de referência (mm);

El é o espaçamento entre linhas (m);

Eg é o espaçamento entre gotejadores (m);

Kl é o coeficiente de localização;

q é a vazão do emissor (L h⁻¹);

Ea é a eficiência de aplicação (%);

L é a fração da lâmina a ser aplicada (decimal).

A água utilizada para irrigação foi proveniente de poço tubular, sendo classificada como C4S1, conforme a classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985), as características químicas encontram-se na Tabela 2. 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 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	189,50
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

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 ⁻
		Kg ha ⁻¹					
11% da ETo	7	208,10	71,54	7,05	122,37	204,44	602,74
22% da ETo	7	416,20	143,08	14,11	244,74	408,88	1.205,49
33% da ETo	7	624,29	214,63	21,16	367,11	613,31	1.808,23
11% da ETo	14	221,89	76,28	7,52	130,48	217,99	642,68
22% da ETo	14	443,78	152,57	15,04	260,96	435,97	1.285,37
33% da ETo	14	665,66	228,85	22,57	391,44	653,96	1.928,05

A área para implantação do experimento recebeu uma aração e uma gradagem para posterior plantio. Os sulcos de plantio foram feitos com sulcador a uma profundidade de 0,2 m onde foram acomodados os cladódios. O plantio foi realizado nos espaçamentos de 0,30; 0,15; 0,10 e 0,075 m entre plantas e 1 m entre fileiras, dispostas em fileiras triplas, espaçadas 3,0 m uma da outra, equivalendo respectivamente às densidades de 20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare.

A adubação foi baseada em Donato et al. (2017). Foi realizada adubação orgânica de fundação com aplicação da dose de 30 Mg ha⁻¹ e química com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando como fonte superfosfato simples. A adubação orgânica de cobertura foi feita 70 dias após o plantio com a dose de 60 Mg ha⁻¹, totalizando 90 Mg ha⁻¹ na implantação da cultura, além da adubação química com a aplicação 300 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o cloreto de potássio, parcelado em duas vezes. No segundo e terceiro ciclo a adubação de cobertura se repetiram com as mesmas dosagens do primeiro ciclo.

Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratos culturais necessários, a fim de evitar interferência 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.

No terceiro ciclo produtivo as lâminas de irrigação foram aplicadas durante três meses, finalizando com o início das avaliações e antes do período chuvoso, que representa o final do ciclo.

Ao final do ciclo foram avaliadas, o número de plantas mortas (PM), as características morfométricas altura (ALT) e largura (LARP) da planta, número (NC), comprimento (CC), largura (LC) e espessura (ESP) dos cladódios, o índice de área dos cladódios (IAC), o teor de matéria seca (MS), as produtividades de matéria verde (PMV) e seca (PMS), o volume de água armazenada nos cladódios (VAC) e a eficiência de uso da água (EUA).

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. O número de cladódios foi por contagem direta em cada planta, 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 a área do cladódio, conforme a equação 2 (PINTO et al., 2002). Para determinação do índice de área do cladódio adotou-se a metodologia utilizada por Donato et al. (2014), estimado pela a equação 3.

$$AC = CC \times LC \times 0,693 \quad (2)$$

em que,

AC é a área do cladódio (m²);

CC é o comprimento do cladódio;

LC é a largura do cladódio;

0,693 é o fator de correção em função da forma elíptica do cladódio.

$$IAC = \frac{\left(\frac{AC \times NC}{10000} \times 2\right)}{\text{Área}} \quad (3)$$

em que,

IAC é o índice área do cladódio ($m^2 m^{-2}$);

NC é o número de cladódios;

Área é a área ocupada pela planta no solo (m^2).

Antes da colheita foram coletadas amostras de tecido do cladódio para determinação do teor de matéria seca, com secagem a estufa de ventilação forçada a $65^\circ C$ (pré -secagem) e posteriormente a $105^\circ C$ (secagem definitiva) (DETMANN et al., 2012). A coleta das amostras foi realizada com o auxílio de uma serra copo (5,00 cm de diâmetro por 4,00 cm de profundidade), adaptada a uma furadeira à bateria. As amostras foram retiradas em cladódios distribuídos nas diferentes posições da planta (DONATO, S. et al., 2020).

Para determinação da produtividade de matéria verde ($Mg ha^{-1}$) foi realizada a colheita e a pesagem de todas as plantas dentro da parcela útil ($17,5 m^2$), realizando-se o corte de todos os cladódios e preservando somente o cladódio “mãe” (cladódio utilizado no plantio). A produtividade de matéria seca ($Mg ha^{-1}$) foi determinada em função do MS do tratamento multiplicado pela PMV. O volume de água armazenada nos cladódios ($L ha^{-1}$) foi determinada em função da porcentagem de umidade multiplicado pela PMV, a porcentagem de umidade é dada pela diferença entre o MS e a porcentagem total de matéria, que corresponde a 100%.

A eficiência de uso da água 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 (Equação 4). Foi determinada a eficiência de uso da água com base nas PMV e PMS.

$$EUA = \frac{PROD}{LBA+P} \quad (4)$$

em que,

EUA é a eficiência de uso da água ($kg ha^{-1} mm^{-1}$);

PROD é a produtividade, ($kg ha^{-1}$);

LBA é a lâmina bruta aplicada (mm);

P é a precipitação (mm).

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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis avaliadas não foram influenciadas pela interação tripla entre os fatores estudados ($p > 0,05$) (Tabela 4). O comprimento dos cladódios apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para as interações entre os fatores turnos de rega e densidades de plantio e entre turnos de rega e lâminas de irrigação. A variável largura dos cladódios apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) para a interação entre densidades de plantio e lâminas de irrigação. O fator turnos de rega não influenciou de forma isolada ($p > 0,05$) as variáveis avaliadas. No fator densidades de plantio de forma independente as variáveis LARP e LC foram significativa ($p < 0,05$) e as variáveis NC e IAC ($p < 0,01$). No fator lâminas de irrigação todos as variáveis foram significativas ($p < 0,01$) exceto a variável PM, que foi não significativa.

Tabela 4. Resumo das análises de variância, com os respectivos quadrados médios e médias, para plantas mortas, altura e largura da planta, número de cladódios, comprimento, largura e espessura dos cladódios e índice de área do cladódio de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em diferentes densidades de plantio e irrigada com água salina em terceiro ciclo de produção.

Fontes de variação	GL	PM	ALT	LARP	NC	CC	LC	ESP	IAC
Bloco	2	3,22x10 ¹⁰ NS	51,59 NS	97,91 NS	4,81 NS	4,18 NS	0,77 NS	1,34 NS	4,11*
Turno de rega (TR)	1	3,39x10 ¹⁰ NS	2,27 NS	121,77 NS	1,38 NS	5,37 NS	0,18 NS	9,61 NS	0,06 NS
Erro A	2	3,89x10 ¹⁰	102,51	235,78	5,54	45,95	1,66	1,53	0,20
Densidade (DENS)	3	4,40x10 ¹⁰ NS	57,82 NS	747,91*	35,54**	3,14 NS	3,17*	4,06 NS	71,49**
TR x DENS	3	3,38x10 ¹⁰ NS	75,42 NS	48,41 NS	0,46 NS	9,02*	0,44 NS	3,55 NS	0,38 NS
Erro B	12	3,54x10 ¹⁰	68,40	202,62	5,68	2,07	0,68	2,48	1,59
Lâmina (LAM)	3	3,87x10 ¹⁰ NS	312,63**	578,30**	9,36**	33,19**	4,66**	29,75**	5,69**
TR x LAM	3	3,60x10 ¹⁰ NS	84,00 NS	240,45 NS	1,49 NS	7,95 *	1,08 NS	0,96 NS	1,19 NS
DENS X LAM	9	3,72x10 ¹⁰ NS	30,05 NS	98,52 NS	3,76 NS	2,00 NS	1,30*	3,02 NS	0,31 NS
TR x DENS X LAM	9	3,64x10 ¹⁰ NS	77,00 NS	166,63 NS	3,12 NS	0,63 NS	0,32 NS	2,22 NS	1,26 NS
Resíduo	48	3,65x10 ¹⁰	44,59	92,54	2,07	2,37	0,57	2,59	0,72
Média		30,055	78,99	82,00	8,69	30,60	14,80	26,78	4,31

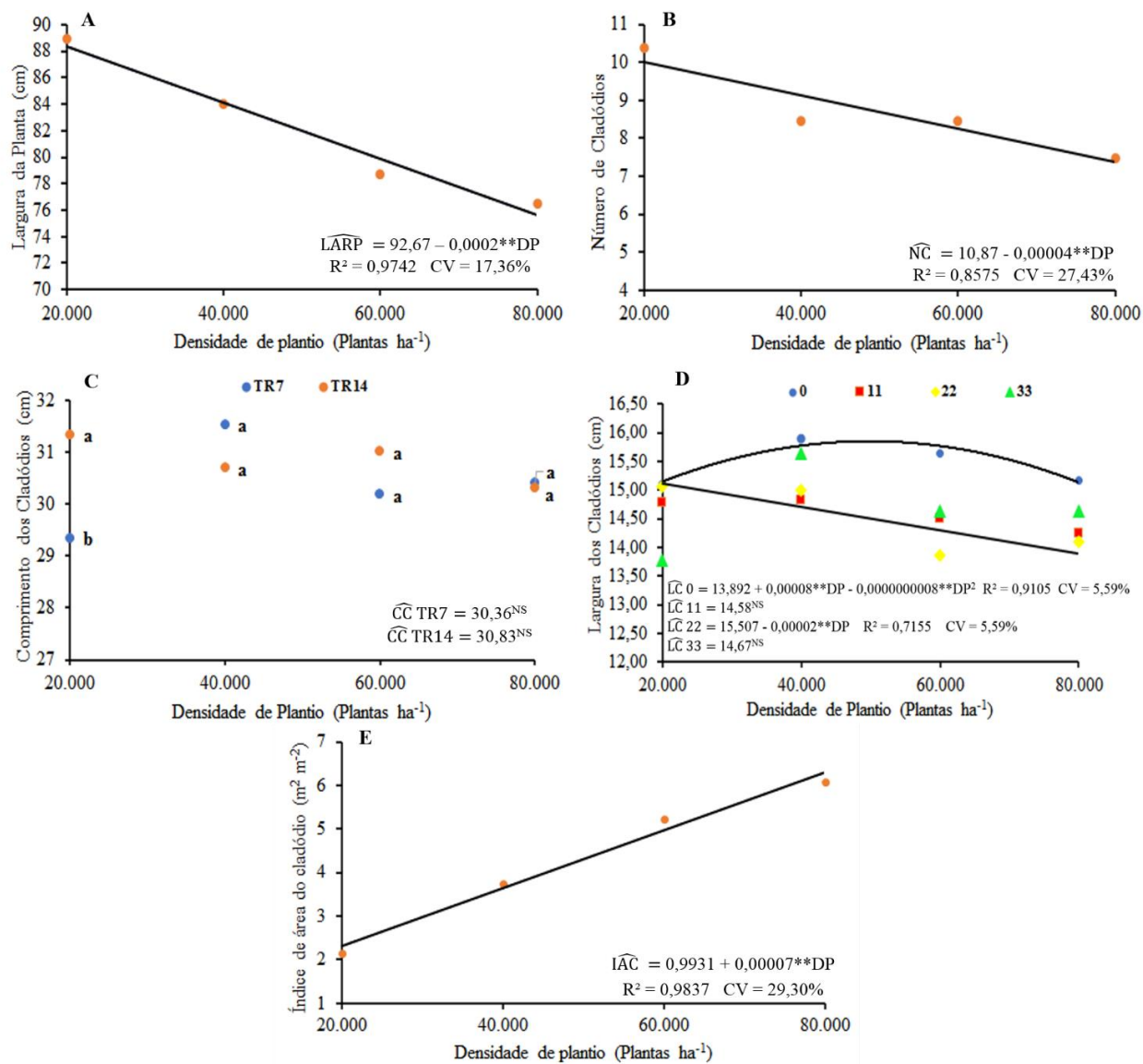
GL - Grau de liberdade do resíduo; PM - Plantas mortas; ALT - Altura da planta; LARP- Largura da planta; NC - Número de cladódios; CC - Comprimento dos cladódios; LC - Largura dos cladódios; ESP - Espessura do cladódio; IAC - Índice de área do cladódio.

NS Não significativo, * Significativo a 5%; **significativo a 1% pelo teste F.

Não houve ajuste de modelo para altura da planta e para comprimento, largura e espessura dos cladódios em função das densidades de plantio. Ajustou-se um modelo linear decrescente em função das densidades de plantio para a variável largura da planta (Figura 3A), com um decréscimo de 14,46% da menor densidade plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹), estimando uma redução de 4,26 cm a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Fonseca (2021) avaliando o segundo ciclo produtivo sobre as mesmas condições encontrou redução de 2,80 cm na largura da planta a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹.

Para o número de cladódios ajustou-se um modelo linear decrescente em função das densidades de plantio (Figura 3B), estimando uma redução de 23,60% da menor densidade

plântio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plântio (80.000 plantas ha⁻¹), reduzindo aproximadamente 1 cladódio a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Cavalcante et al. (2014) encontraram redução na quantidade de cladódios com a elevação da densidade de plântio, ocasionada por uma maior competitividade por nutrientes e luz.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. NS não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t. Médias acompanhadas da mesma letra na mesma densidade de plântio, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 3. Largura da planta (A), número de cladódios (B), interação entre os fatores turno de rega e densidade de plântio para comprimento dos cladódios (C), interação entre os fatores densidade de plântio e lâmina de irrigação (desdobramento densidades dentro das lâminas) para largura dos cladódios (D) e índice de área do cladódio (E) da palma forrageira ‘Gigante’ em função das densidades de plântio.

Para o comprimento dos cladódios a interação entre os fatores turno de rega e densidade de plântio, quando avaliou o CC em função das densidades de plântio nos turnos de rega não houve ajuste de modelo (Figura 3C). Quando analisou o CC em função dos turnos de rega nas densidades de plântio, só houve diferença na densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, com o turno de rega de 14 dias sendo superior ao de 7 dias (Figura 3C).

A interação entre os fatores densidades de plantio e lâminas de irrigação para a variável largura dos cladódios, quando avaliou a LC em função das densidades de plantio em cada lâmina de irrigação, ajustou-se um modelo quadrático para o tratamento sem irrigação (Figura 3D), estimando a maior LC (15,89 cm) numa densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, e um modelo linear decrescente para a lâmina de 22% da ETo (Figura 3D), com uma redução de 7,94% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹), para as lâminas de 11 e 33% da ETo não houve ajuste de modelo (Figura 3D).

Ao índice de área do cladódio ajustou-se um modelo linear crescente em função das densidades de plantio (Figura 3E), com um incremento de 175,50% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior densidade de plantio (80.000 plantas ha⁻¹), estimando um aumento de 1,40 m² m⁻² a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Ramos et al. (2017) avaliando duas densidades de plantio com e sem capina, encontraram os maiores valores de IAC na área mais adensada, assim como Fonseca et al. (2020) que encontraram resposta linear positiva com o aumento da densidade de plantio. O IAC é fundamental na determinação da área fotossintética ativa da planta, indicando o potencial da planta em interceptar a luz solar e transformá-la em produção de matéria seca (DONATO et al., 2014).

Esses valores mostram um favorecimento das plantas com uma maior ocupação nas áreas mais adensadas. Essa maior distribuição populacional de plantas m⁻² faz com que as plantas atinjam maiores valores de IAC de forma mais rápida (SILVA et al., 2019). Donato, P. et al. (2020) relatam que o IAC entre 4 e 5 irá proporcionar uma interceptação de 95% da radiação solar, o que irá refletir numa maior eficiência fotossintética e obter maiores produtividades, uma vez que os valores dentro dessa faixa sugerem que a área dos dois lados dos cladódios é de 4 a 5 vezes maior que a área ocupada do solo. Fonseca et al. (2020), verificaram que densidades de plantio elevadas refletiram em valores de IAC superiores a 5, no entanto apresentaram redução do rendimento em comparação com as densidades intermediárias com valores de IAC entre 4 e 5.

Ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação para a variável altura da planta (Figura 4A). Com uma redução de 2,44 cm a cada aumento de 11% da ETo, permitindo estimar um decréscimo de 8,84% do tratamento de sequeiro para a maior lâmina de irrigação (33% da ETo). Para a largura da planta ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação com uma redução de 11,44% do tratamento sem irrigação para o de maior lâmina (Figura 4B), estimando a cada aumento de 11% da ETo, uma redução de 3,32 cm na LARP.

Avaliando a palma forrageira ‘Miúda’ Cruz Neto et al. (2017) sob condições de dois regimes hídricos, constataram que o aumento da oferta hídrica não influenciou o crescimento

da palma forrageira, assim como Pereira et al. (2015) não constataram acréscimo para maioria das variáveis de crescimento à medida que se aumentou a quantidade água ofertada em três clones de palma forrageira sob regime hídrico com três intervalos de irrigação.

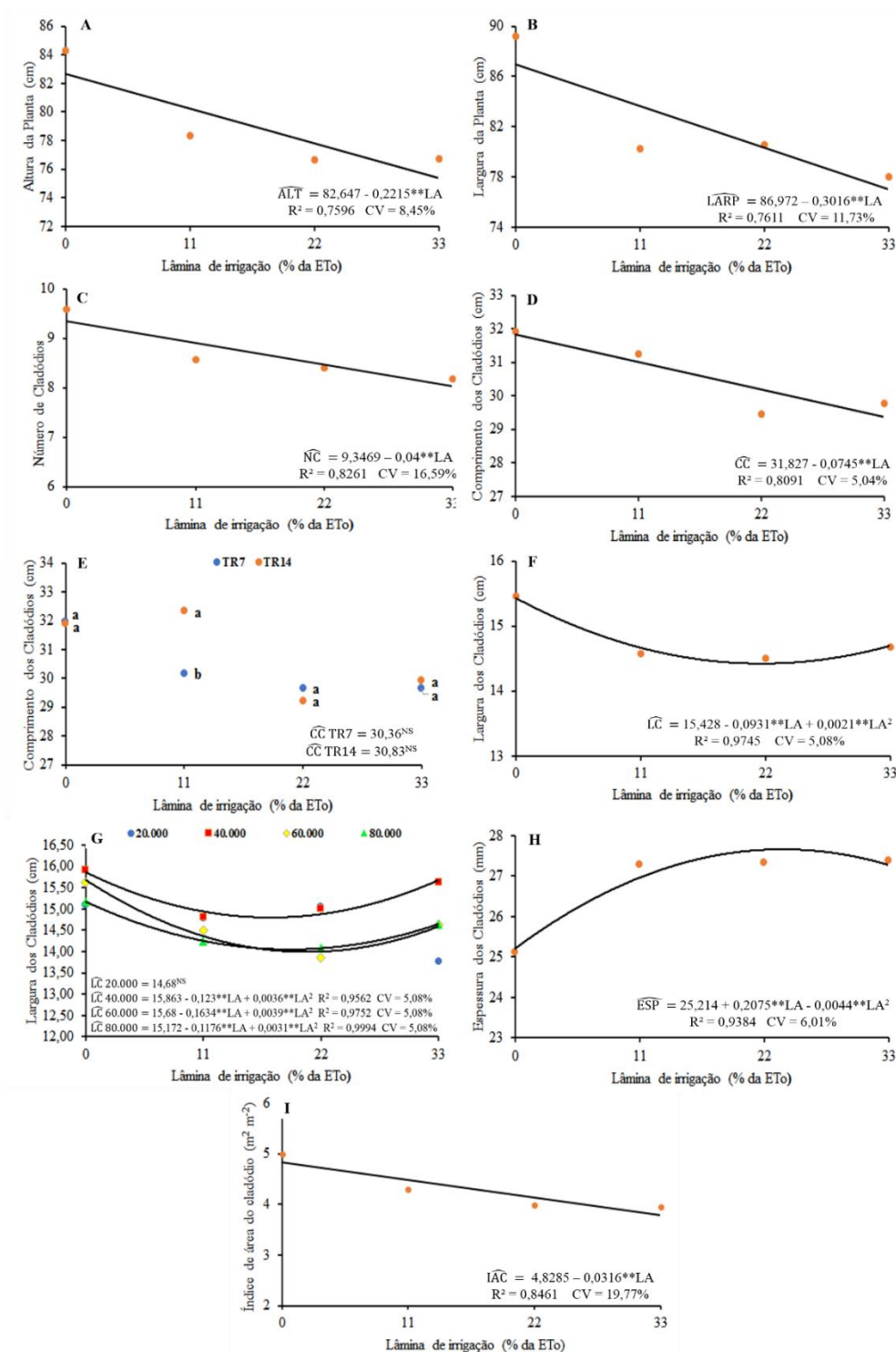
Trabalhos avaliando irrigação com água salina na palma forrageira apresentaram respostas positivas com a reposição hídrica, verificando que a irrigação com água que apresenta uma qualidade inferior não interferiu no desenvolvimento da cultura, pois além da palma forrageira tolerar essas condições, as precipitações entre a aplicação dos tratamentos proporcionaram a lixiviação dos sais (FONSECA et al., 2019; FONSECA, 2021; PEREIRA et al., 2021), já Felix et al. (2018) avaliando diferentes níveis de salinidade encontraram as melhores respostas ALT e LARP numa menor salinidade ($1,5 \text{ dS m}^{-1}$), abaixo da salinidade presente na água utilizada no presente estudo e pelos autores citados, o que reforça a necessidade do conhecimento técnico para determinar o manejo com água salina, com base num todo (solo, água, planta e atmosfera).

Para o número de cladódios ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4C), com uma redução de 14,12% do tratamento de sequeiro para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). O valor encontrado no tratamento sem irrigação ($9,35 \text{ cladódios planta}^{-1}$) se aproxima do encontrado por Fonseca et al. (2019) no mesmo tratamento ($9,33 \text{ cladódios planta}^{-1}$), mas os autores encontraram uma resposta positiva com o aumento da reposição hídrica, explicando que o maior número de cladódios indica uma relação da disponibilidade hídrica, que reflete numa maior emissão de brotos pela planta, não apresentando essa relação para o terceiro ciclo produtivo, no presente estudo.

O comprimento dos cladódios ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4D), com um decréscimo de 7,72% do tratamento de sequeiro para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). A interação entre os fatores turno de rega e lâmina de irrigação, quando avaliou o CC em função das lâminas de irrigação nos turnos de rega não houve ajuste de modelo (Figura 4E). Quando analisou o CC em função dos turnos de rega nas lâminas de irrigação, só houve diferença no tratamento com base em 11% da ETo, com o turno de rega de 14 dias sendo superior ao de 7 dias (Figura 4E).

Ajustou-se um modelo quadrático para largura em função das lâminas de irrigação, com a menor LC (14,40 cm) na lâmina de 22% de ETo (Figura 4F). A interação entre os fatores densidade de plantio e lâmina de irrigação para a largura dos cladódios, quando se avaliou a LC em função das lâminas de irrigação em cada densidade de plantio para a densidade de 20.000 plantas ha^{-1} , não houve ajuste de modelo (Figura 4G). Ajustou-se um modelo quadrático para as demais densidades de plantio (Figura 4G), na de 40.000 plantas ha^{-1} , o modelo ajustado estima uma menor LC (14,81 cm) na lâmina de 17% da ETo, na de 60.000 plantas ha^{-1} , estimou

a menor LC (13,97 cm) na lâmina de 21% da ETo e na de 80.000 plantas ha⁻¹, estimou a menor LC (14,06 cm) na lâmina de 19% 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. Médias acompanhadas da mesma letra na mesma lâmina de irrigação, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 4. Altura da planta (A), largura da planta (B), número de cladódios (C), comprimento dos cladódios (D), interação entre os fatores turno de rega e lâmina de irrigação para comprimento dos cladódios (E), largura dos cladódios (F), interação entre os fatores densidade de plantio e lâmina de irrigação (desdobramento lâminas dentro das densidades) para largura dos cladódios (G), espessura dos cladódios (H) e índice de área do cladódio (I) da palma forrageira ‘Gigante’ em função das lâminas de irrigação.

Fonseca et al. (2019) avaliando diferentes lâminas de irrigação em dois ciclos de produção, não encontrou diferença para o CC e LC no primeiro ciclo de produção com o aumento crescente das lâminas, já no segundo ciclo esses valores foram superiores com o aumento das lâminas. No presente estudo o maior valor do CC (31,83 cm) e LC (15,43 cm) foi encontrado na lâmina de sequeiro, sendo superior aos tratamentos com irrigação encontrados nos dois ciclos pelos autores citados para CC, e superior aos valores do primeiro ciclo e dentro do agrupamento que se destacaram no segundo ciclo para LC.

A espessura dos cladódios em função das lâminas de irrigação ajustou-se um modelo quadrático (Figura 4H). A lâmina de 24% da ETo, apresentou o valor máximo da ESP (27,66 mm), que estimou um incremento de 9,70% em relação ao tratamento de sequeiro. Resultado parecido ao encontrado por Fonseca (2021) no primeiro ciclo produtivo, que encontrou a maior ESP numa lâmina de 25% (27,26 mm), já no segundo ciclo este autor encontrou o maior valor numa lâmina de 29% (25,21 mm) da ETo, o que corresponde ao valor encontrado no tratamento de sequeiro no presente estudo.

Xavier et al. (2020) avaliando diferentes lâminas de irrigação com adubação orgânica em palma forrageira ‘Orelha de Elefante Mexicana’ encontrou respostas positivas com o aumento da reposição hídrica, esses resultados indicam que espessura dos cladódios é um indicativo da hidratação das plantas, e os menores valores de espessura dos cladódios com a redução das lâminas sugerem que a planta utilizou sua reserva hídrica interna para manutenção das atividades metabólicas (FONSECA, 2021).

Ao índice de área do cladódio ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4I), com uma queda de 21,60% do tratamento sem irrigação para o de maior lâmina (33% da ETo), estimando a cada aumento de 11% da ETo, uma redução de $0,35 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, esses valores podem ter sido em função do número de cladódio que também reduziu com o aumento das lâminas de irrigação, por ser juntamente com o comprimento e largura do cladódio um parâmetro para determinação do IAC.

Fonseca (2021) no primeiro ciclo produtivo sobre as mesmas condições, encontrou um incremento a cada aumento de 11% da ETo, mas o maior valor encontrado pelo autor na lâmina de 33% da ETo ($3,53 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), se manteve próximo do menor valor do presente estudo que apresentou um valor de $3,79 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ com base numa mesma lâmina, esse valor fica abaixo da faixa que corresponde a maior interceptação da radiação solar (DONATO, P. et al., 2020), o que pode influenciar num menor rendimento de biomassa.

As variáveis avaliadas não foram influenciadas pela interação tripla e nem pelas interações dupla entre os fatores estudados ($p > 0,05$) (Tabela 5). O fator turnos de rega não influenciou de forma isolada ($p > 0,05$) as variáveis de rendimento avaliadas. No fator

densidades de plantio de forma independente a PMV, PMS, VAC, EUAPMV e EUAPMS foram significativa ($p < 0,05$), essas mesmas variáveis foram significativas ($p < 0,01$) no fator lâminas de irrigação. A variável MS foi significativa ($p < 0,05$) no fator lâminas de irrigação.

Tabela 5. Resumo das análises de variância, com os respectivos quadrados médios e médias, para teor de matéria seca, produtividade de massa verde e seca, volume de água armazenada nos cladódios e eficiência de uso da água em palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em diferentes densidades de plantio e irrigada com água salina em terceiro ciclo de produção.

Fontes de variação	GL	MS	PMV	PMS	VAC	EUAPMV	EUAPMS
Bloco	2	0,0012 ^{NS}	1045,91 ^{NS}	3,04 ^{NS}	$9,38 \times 10^8$ ^{NS}	1707,62 ^{NS}	6,12 ^{NS}
Turno de rega (TR)	1	0,0047 ^{NS}	7235,30 ^{NS}	26,47 ^{NS}	$6,38 \times 10^9$ ^{NS}	11721,84 ^{NS}	47,26 ^{NS}
Erro A	2	0,0038	78261,29	230,29	$7,00 \times 10^{10}$	146692,67	425,95
Densidade (DENS)	3	0,0080 ^{NS}	18171,28*	48,85*	$1,64 \times 10^{10}$ *	33565,46*	88,18*
TR x DENS	3	0,0094 ^{NS}	4014,85 ^{NS}	10,23 ^{NS}	$3,69 \times 10^9$ ^{NS}	71885,44 ^{NS}	19,59 ^{NS}
Erro B	12	0,0064	3647,22	9,33	$3,32 \times 10^9$	6749,84	16,91
Lâmina (LAM)	3	0,0198*	2874,56**	19,24**	$2,44 \times 10^9$ **	38206,40**	154,41**
LAM x TR	3	0,0066 ^{NS}	433,89 ^{NS}	2,06 ^{NS}	$3,95 \times 10^8$ ^{NS}	894,72 ^{NS}	6,26 ^{NS}
LAM x DENS	9	0,0035 ^{NS}	365,51 ^{NS}	1,95 ^{NS}	$3,30 \times 10^8$ ^{NS}	620,96 ^{NS}	3,14 ^{NS}
LAM x DENS x TR	9	0,0027 ^{NS}	461,25 ^{NS}	1,39 ^{NS}	$4,41 \times 10^8$ ^{NS}	734,54 ^{NS}	2,67 ^{NS}
Resíduo	48	0,0040	563,25	2,44	$5,15 \times 10^8$	1137,73	4,33
Média		0,70	153,56	7,93	145624,04	211,19	10,95

GL - Grau de liberdade do resíduo; MS - Teor de matéria seca; PMV - Produtividade de massa verde; PMS - Produtividade de massa seca; VAC - volume de água armazenada nos cladódios; EUAPMV - Eficiência de uso da água considerando a produtividade massa verde; EUAPMS - Eficiência de uso da água considerando a produtividade massa seca.

^{NS} Não significativo, * Significativo a 5%; **significativo a 1% pelo teste F.

Não houve ajuste para o teor de matéria seca em função das diferentes densidades de plantio. Ajustou-se um modelo linear crescente para a produtividade de matéria verde em função das densidades de plantio (Figura 5A). Estimando um incremento de 48,61% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior (80.000 plantas ha⁻¹), estimado um aumento de 20 Mg ha⁻¹ a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Para a produtividade de matéria seca, ajustou-se um modelo linear crescente (Figura 5B) com um incremento de 46,00% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior (80.000 plantas ha⁻¹), estimado um aumento de 1 Mg ha⁻¹ a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. Esse incremento produtivo é influenciado pela elevação da quantidade de planta ha⁻¹, pois as respostas de crescimento largura e número de cladódio reduziram com o aumento da densidade.

Fonseca et al. (2020) avaliando diferentes densidades populacionais em arranjo mecanizável encontrou a maior PMV (159,52 Mg ha⁻¹) numa população de 69.112 plantas ha⁻¹, a partir desse estande de planta a PMV reduziu, comportamento diferente do presente estudo, que para essa mesma população de plantas apresentou uma PMV (172,53 Mg ha⁻¹) e aumentou até uma população de 80.000 plantas ha⁻¹, resultado que corrobora com Silva et al. (2014) avaliando três genótipos de palma forrageira (Gigante, Redonda e Miúda) sob quatro densidades de plantio (10.000 plantas ha⁻¹, 20.000 plantas ha⁻¹, 40.000 plantas ha⁻¹ e 80.000

plantas ha⁻¹).

A população de até 80.000 plantas ha⁻¹ atingiu a maior PMV, esse estande de plantas representa um IAC de 6,59 m² m⁻², superior a faixa ideal descrita por Donato, P. et al. (2020), e que pode gerar redução no rendimento produtivo (FONSECA et al., 2020), mas o resultado expõe que até essa quantidade de plantas ha⁻¹ apresentam uma resposta positiva, e conseguem manter a eficiência fotossintética necessária para a máxima produtividade sob essas condições.

Silva et al. (2014) em doze meses após o plantio encontraram, para a ‘Gigante’, valores máximos PMS de 20,2 Mg ha⁻¹ na densidade de 80.000 plantas ha⁻¹, superior ao resultado encontrado para PMS (9,52 Mg ha⁻¹) na mesma população de plantas ha⁻¹. Esse valor reduzido em relação ao citado pode ter sido influenciado pelo manejo utilizado na condução do ciclo produtivo, onde a irrigação é um dos fatores que contribuem para redução do teor de matéria seca (FONSECA et al., 2019).

Na literatura diversos resultados se divergem quanto a quantidade ideal de plantas ha⁻¹ e se associa a diferentes manejos, para alcançar respostas positivas de PMV e PMS (DONATO et al., 2014; SILVA et al., 2014; FONSECA et al., 2020; FONSECA 2021). A determinação da densidade de plantio ótima é necessária e garante economicidade no sistema de produção (PETINARI et al., 2012), Donato, P. et al. (2020) defendem que populações elevadas, superiores a 80.000 plantas ha⁻¹, pode inviabilizar o cultivo pela disponibilidade e pelo preço das mudas, tanto originadas de cladódios de palmais, bem como, as micropropagadas.

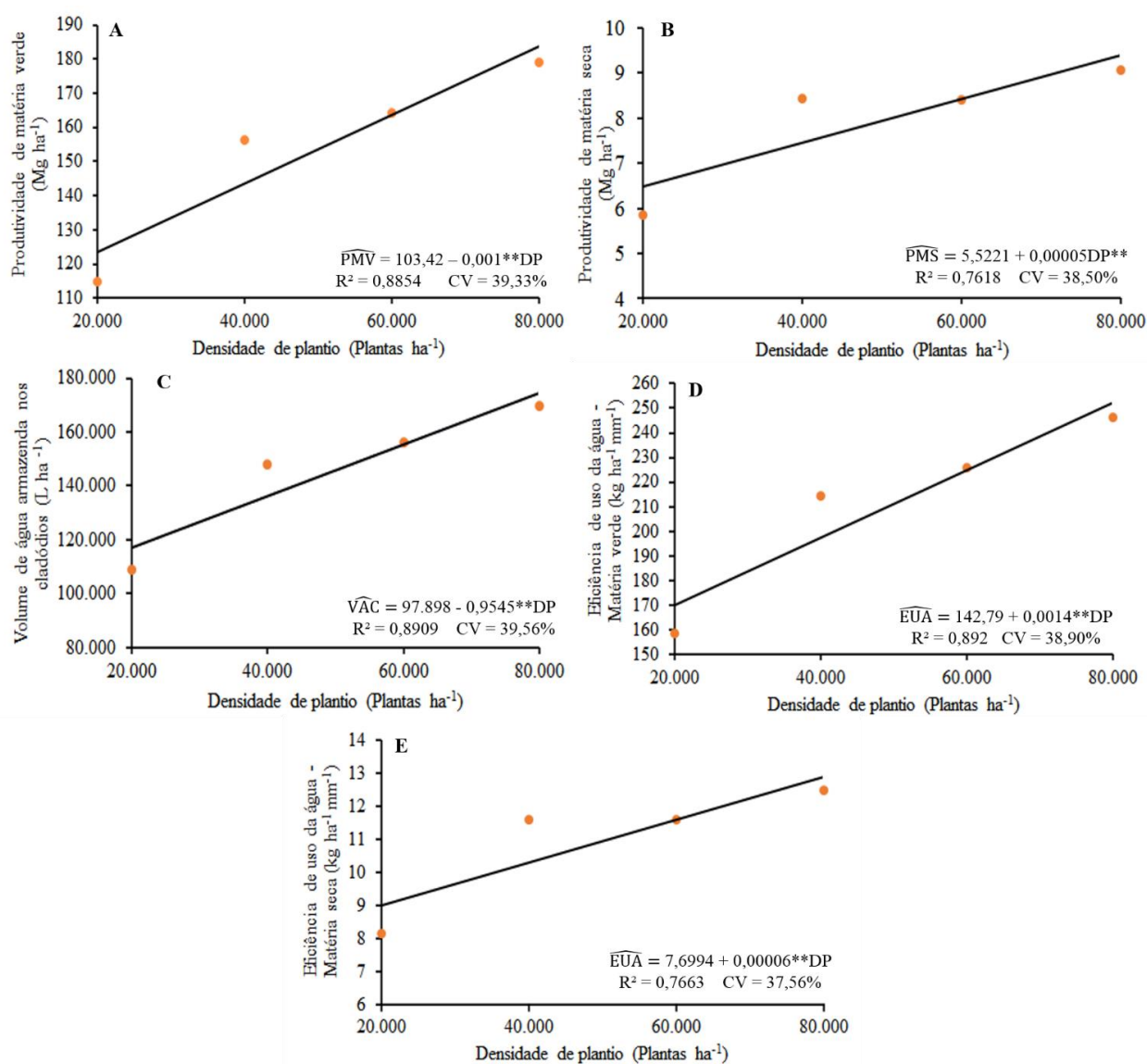
À medida que se aumenta a densidade de plantio, conseqüentemente aumenta a demanda por nutrientes, elevando a relação extração/exportação do mesmo no solo (NOVAIS et al., 2007), para que o aumento da densidade de plantio incremente a produtividade deve se integrar o manejo com o aporte de nutrientes proporcional a esse aumento (DONATO, P. et al., 2020). Para viabilizar o sistema de produção e torna-lo sustentável, deve-se analisar o quanto o aumento da densidade de plantio reflete numa maior produtividade, pois o elevado custo para se adensar pode não ser compensatório, quando se compara com as produtividades obtidas em palmais com menores densidades e que apresentam menores custos.

Ajustou-se um modelo linear crescente em função das densidades de plantio para o volume de água armazenada nos cladódios (Figura 5 C), com um incremento de 48,95% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹), estimando um aumento de 19.090 L ha⁻¹ a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹.

Ajustou-se um modelo linear crescente em função das densidades de plantio para a eficiência de uso da água com base na produtividade de matéria verde (Figura 5D), com um incremento de 49,18% da menor densidade de plantio (20.000 plantas) para maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹), onde a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ houve um acréscimo de 28

kg ha⁻¹ mm⁻¹. Para a eficiência de uso da água com base na produtividade de matéria seca em função das densidades de plantio, ajustou-se um modelo linear crescente (Figura 5E), com um incremento de 40,45% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹), onde a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ houve um acréscimo de 1,20 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Ramos et al. (2011) avaliando diferentes espaçamentos de plantio, verificou que o plantio mais adensado resultou numa maior EUA, assim como Cotrim Junior (2019) em seu estudo, que encontrou resposta positiva até 80.000 plantas ha⁻¹, esses resultados indicam que a palma forrageira tem grande potencial de resposta com um arranjo populacional adensado, com um maior aproveitamento da água ofertada.



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), volume de água armazenada nos cladódios (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) da palma forrageira ‘Gigante’ em função de densidades de plantio.

O teor de matéria seca ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6A), com uma redução de 12,02% do tratamento sem irrigação para o de 33% da ETo, onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 0,22% do teor de matéria seca. O teor de matéria seca para todos os tratamentos no geral foram baixos (aproximadamente 5%), o que pode ter sido pela grande capacidade de armazenamento de água da palma forrageira (SANTOS, DONATO & COTRIM JUNIOR, 2020).

A produtividade de matéria verde ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6B), com uma redução de 15,22% do tratamento sem irrigação para o de 33% da ETo, onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 8,43 Mg ha⁻¹. Para a produtividade de matéria seca ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6C), com uma redução de 22,12% do tratamento sem irrigação para o de 33% da ETo, onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 0,66 Mg ha⁻¹.

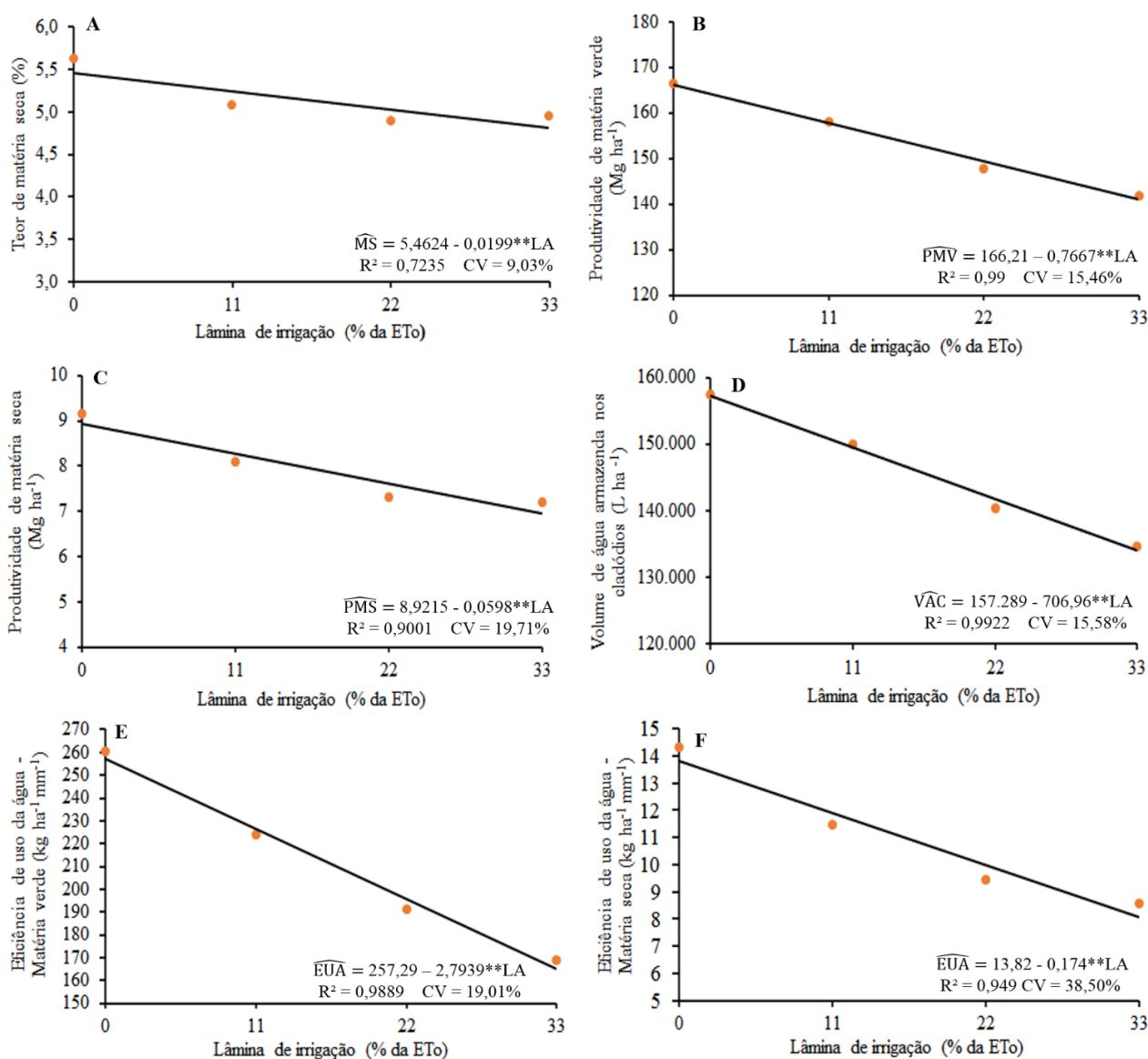
Silva, E. et al. (2020) avaliando o efeito da irrigação suplementar na palma ‘Orelha de Elefante Mexicana’ verificou que a produtividade não foi influenciada pelas diferentes lâminas de irrigação suplementar, assim como Cruz Neto et al. (2017) e Barbosa et al. (2017) não verificaram incremento no desempenho produtivo com a elevação da disponibilidade de água. Respostas contrárias ao estudo e aos citados foram verificadas por Campos et al. (2021) avaliando diferentes clones de palma forrageira sob irrigação com base solo, onde os tratamentos irrigados apresentaram respostas superiores para crescimento e produtividade em relação ao tratamento de sequeiro.

As características de crescimento estão diretamente ligadas ao rendimento produtivo, por serem um excelente indicativo de rendimento, a PMV e PMS apresentaram comportamento semelhante as variáveis ALT, LARP e NC, reduzindo à medida que se aumentou a lâmina de irrigação. Essa relação é evidenciada por alguns autores, comprovando respostas de crescimento e produtividade com o aumento da oferta hídrica (FONSECA et al., 2019; FONSECA, 2021), esses mesmos autores constataram aumento no rendimento produtivo utilizando água salina, sob as mesmas condições do presente estudo, verificando que a irrigação com água salina no primeiro e segundo ciclo produtivo não compromete a produtividade da cultura.

Ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação para o volume de água armazenada nos cladódios (Figura 6D), com uma redução de 14,83% do tratamento de sequeiro para maior lâmina de irrigação (33% da ETo), estimando um decréscimo de 7.776,56 L ha⁻¹ a cada aumento de 11% da ETo. Essa redução é influenciada pela elevada PMV na condição de sequeiro em relação as crescentes lâminas de irrigação (Figura 6B), uma

vez que a umidade dos cladódios ficou bem próxima nos tratamentos e com um pequeno aumento com os eventos de irrigação, com 94,54, 94,76, 94,97 e 95,19%, respectivamente, para 0, 11, 22 e 33% da ETo.

Esse alto teor de água é uma característica de grande importância, sendo uma reserva de água na planta, (SANTOS; DONATO; CONTRIM JUNIOR, 2020), essa característica pode ser uma alternativa estratégica nos períodos de estiagem, na qual, a palma pode ser oferecida aos rebanhos para suprir a necessidade hídrica dos animais (ALMEIDA, 2012), reduzindo o consumo direto de água. Essa estratégia foi comprovada por Pordeus Neto et al. (2016) avaliando alimentação de ovinos com diferentes quantidades de palma forrageira *in natura* e em farelo.



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), volume de água armazenada nos cladódios (D), eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria verde (E) e eficiência de uso da água considerando a produtividade de matéria seca (F) da palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

Ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação para eficiência de uso da água com base na produtividade de matéria verde (Figura 6E) com uma redução de 35,83% do tratamento de sequeiro para maior lâmina de irrigação (33% da ETo), onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 30,73 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Para a eficiência de uso da água com base na produtividade de matéria seca ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 6F), com uma redução de 41,55% do tratamento de sequeiro para maior lâmina de irrigação (33% da ETo), onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 1,91 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Silva, E. et al. (2020) em seu estudo encontraram uma redução na EUA com o aumento da reposição hídrica, os autores ressaltam que a EUA é a relação entre a produtividade e evapotranspiração, onde os sistemas de manejo deve promover a redução das perdas de água e/ou aumentar a produtividade das culturas, para que ocorra um aumento de EUA. Esses autores ainda expõem que a maior lâmina aplicada promoveu um aumento na evapotranspiração e assim diminuiu a EUA. Nobel (2001) explica que sob grande reposição hídrica as plantas MAC podem funcionar como C3, realizando todo o processo fotossintético durante o dia, o que pode justificar essa maior evapotranspiração.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elevação da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece o aumento do IAC, o rendimento produtivo da PMV, PMS, VAC, EUAPMV e EUAPMS e reduz a largura da planta e o número de cladódio por planta no terceiro ciclo de produção.

O aumento das lâminas de irrigação proporciona ganhos na espessura dos cladódios até a lâmina de 24% da ETo e promove redução nas variáveis morfológicas ALT, LARP, NC, CC, LC e IAC e de produtividade avaliadas no terceiro ciclo de produção.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no semiárido brasileiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 08-14, 2012.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 174p. 1985. Paper n.29. (Irrigation and drainage).
- BARBOSA, M. L.; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; MORAIS, J. E. F. de; ASSIS, M. C. de S. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus Yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.21, n.9, p.600-605, 2017.
- CAMPOS, A. R. F.; SILVA, A. J. P. da.; LIER, Q. de J. V.; NASCIMENTO, F. A. L. do; FERNANDES, R. D. M.; ALMEIDA, J. N. de; PAZ, V. P. da S. Yield and morphology of

forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal Of Arid Environments**, v. 193, p. 104564, 2021.

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

COTRIM JUNIOR, P. R. F. **Palma forrageira ‘Gigante’ submetida a diferentes reposições hídricas com água salobra e densidades de plantio** Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - Guanambi, Ba., p. 60, 2019.

CRUZ NETO, J. F. da; MORAIS, J. E. F. de; SOUZA, C. A. A. de; CARVALHO, H. F. de S.; RODRIGUES, C. T. A.; SILVA, T. G. F. da. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress** v. 02, n. 02, p. 98 - 106, 2017.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. (Eds.) **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 2012, 214.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014.

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; LONDE, L. N. C.; RODRIGUES, M. G. V. Implantação da lavoura. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 79 - 100.

DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; RODRIGUES, M. G. V. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para palma forrageira ‘Gigante’. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017.

DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; RODRIGUES, M. G. V.; Rufino, L. D. A.; Silva Junior, A. A. Exigências nutricionais e sugestões de adubação para palma forrageira ‘gigante’. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 101 - 127.

FELIX, E. dos S.; LIMA, W. B. de; SILVA, C. T. da; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D.D.; LIRA, E. C de. Cultivo de palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigada com água salinizada. **Brazilian Applied Science Review.**, Curitiba, v. 2, n. 6, p. 1869-1875, 2018.

FONSECA, V. A. **Estratégia de utilização de água salina no cultivo de palma forrageira ‘Gigante’**. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Guanambi, p. 52, 2017.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R. dos; SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, ed. 42631, p. 1 - 11, 2019.

FONSECA, V. A.; COSTA, L. C. SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S. ‘Gigante’ cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Campina Grande, PB, v.24, n.11, p.769-775, 2020.

FONSECA, V. A. **Palma forrageira ‘gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, p. 65, 2021.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G., INGLESE, P., BARRIOS, E. P. (Eds.). **Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira**. SEBRAE-PB/FAO, 2001. Cap. 5, p. 36 - 48.

NOVAIS, P. S. et al. **Fertilidades do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1017.

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

PEREIRA, M. de O; RAMOS, J. G.; TOMAZ, B. de A.; CABRAL, J. H. de A.; PEREIRA, M. C. de A.; AZEVEDO, C. A. V. de; LYRA, G. B.; SILVA, P. F. da. Growth of forage palm cultivars irrigated with saline waters. **Semina: Ciênc. Agrár.** Londrina, v. 42, n. 3, p. 1421-1434, 2021.

PETINARI, R.A.; SORATTO, R.P.; SOUZA-SCHLICK, G.D.; ZANOTTO, M.D.; BERGAMASCO, S.M. P.P. Custos de produção e lucratividade de cultivares de mamona em diferentes arranjos de plantas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.2, p.143149, 2012.

PINTO, M. S. C.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ANDRADE, A. P.; PIMENTA FILHO, E. C.; SILVA, I. F.; ANDRADE, M. V. M.; FIGUEREDO, M. V. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 39., Recife, 2002. Anais. Recife: SBZ, 2002. v.1, p.54-64.

PORDEUS NETO, J.; SOARES, P. C.; BATISTA, A. M. V.; ANDRADE, S. F. J.; ANDRADE, R. P. X.; LUCENA, R. B.; GUIM, A. Balanço hídrico e excreção renal de metabólitos em ovinos alimentados com palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, p. 322-328, 2016.

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

RAMOS, J. P. de F.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, E. M.; PIMENTA FILHO, E. C.; Lobato RIBEIRO, O. R. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista Eletrônica de Veterinária**, vol. 18, p. 1 - 12, 2017.

SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.1, p.33-41, 2016.

SANTOS, M. R. dos; SILVA, A. J. P. da; FONSECA, V. A.; CAMPOS, A. R. F.; LISBOA, M. de A. Irrigação na palma forrageira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 76-88, 2017.

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. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.75-86, 2020.

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.;

- MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria v.44, n.11, nov., 2014.
- SILVA, J. A. da.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; RODRIGUES, M. G. V. Cultivares e manejo da palma forrageira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n, 296, p. 34-45, 2017.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. de F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. de S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. de L. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n.6, p. 88-96, 2019.
- SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; RODRIGUES, M. G. V. Manejo cultural e da colheita. In: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 129 - 150.
- SILVA, E. C. B. da; LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. A. S. de; SOUZA, E. S. de; SOUZA, R. M. S.; SILVA, V. P. da; OLIVEIRA, C. L. de. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, p. 2744-2759, 2020.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture, **Natural Resources Conservation Service**, 2014.
- XAVIER, M. A.; BATISTA, M. C.; SANTOS, J. P. de O.; SILVA, J. L. C. da; CARTAXO, P. H. de A.; REGES, R. S.; PEREIRA, D. D. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Revista Agrarian**, v.13, n.47, p.74-81 , Dourados, 2020.

CAPÍTULO 2

PALMA FORRAGEIRA 'GIGANTE' IRRIGADA COM ÁGUA SALINA SOB DENSIDADES DE PLANTIO EM TRÊS CICLOS PRODUTIVOS

RESUMO

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, abril de 2022. **Palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio em três ciclos produtivos.** Orientador: Marcelo Rocha dos Santos. Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

RESUMO: A região semiárida é marcada por apresentar escassez e irregularidade de precipitação e elevada evaporação anual, impactando negativamente o setor agropecuário pela redução em quantidade e qualidade das forragens. A palma forrageira por apresentar uma alta adaptabilidade às condições adversas constitui fonte de alimentação estratégica para os rebanhos, em substituição a outras forragens no momento de escassez. Objetivou-se com o presente estudo avaliar a produtividade e a eficiência do uso da água da palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio, ao longo de três ciclos produtivos. O experimento foi realizado em área experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo alocadas nas parcelas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), nas subparcelas, três lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo) e o tratamento sem irrigação, e nas subsubparcelas, três ciclos de produção. As lâminas crescentes de irrigação promovem redução no teor de matéria seca (MS) independente do ciclo de produção. A maior produtividade de matéria verde (PMV) foi registrada no primeiro ciclo produtivo, com aplicação da lâmina de 33% da ETo. Para produtividade de matéria seca (PMS) a aplicação das maiores lâminas de irrigação foi refletida apenas no primeiro ciclo de produção. A lâmina de 33% da ETo promove redução da eficiência de uso da água. O aumento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece a PMV, PMS e a EUAPMV ao longo dos três ciclos produtivos. A EUAPMS, responde de forma positiva até uma população 50.000 plantas ha⁻¹. O aumento das lâminas de irrigação até 33% da ETo reduz o número de plantas mortas ao longo dos ciclos.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica*; anos consecutivos; estande, manejo da irrigação, salinidade.

ABSTRACT:

OLIVEIRA, Carlos Mendes, Instituto Federal Baiano - *Campus* Guanambi, April 2022. **'Gigante' forage cactus pear irrigated with saline water under planting densities in three production cycles.** Advisor: Marcelo Rocha dos Santos. Co-advisor: Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

The semi-arid region is marked by the scarcity and irregularity of precipitation and high annual evaporation, negatively impacting the agricultural sector due to the reduction in forage quantity and quality. Forage cactus pear, because it has a high adaptability to adverse conditions, is a strategic food source for herds, replacing other forages in times of scarcity. The objective of the present study was to evaluate the productivity and water use efficiency of 'Gigante' forage cactus pear irrigated with saline water under planting densities, over three production cycles. The experiment was carried out in an experimental area of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia – *Campus* Guanambi. The experimental design was in randomized blocks with three replications, in a split plot scheme in time, being allocated in the plots, four planting densities (20, 40, 60 and 80 thousand plants ha⁻¹), in the sub-plots, three irrigation depths (11, 22 and 33% of the ETo) and the treatment without irrigation, and in the subsubplots, three production cycles. Increasing irrigation depths promote a reduction in dry matter (DM) content regardless of the production cycle. The highest productivity of green matter (GMP) was recorded in the first production cycle, with application of the 33% ETo depth. For dry matter productivity (DMS) the application of the highest irrigation depths was reflected only in the first production cycle. The 33% ETo water depth reduces the water use efficiency. The increase in planting density up to 80.000 plants ha⁻¹ favors GMP, DMS and WUEGMP over the three production cycles. WUEDMS responds positively up to a population of 50.000 plants ha⁻¹. Increasing irrigation depths up to 33% of ETo reduces the number of dead plants over the cycles.

Keywords: *Opuntia ficus-indica*; consecutive years; stand, irrigation management, salinity.

1. INTRODUÇÃO

A imprevisibilidade dos períodos chuvosos na região semiárida, onde a época em que são elevados os índices pluviométricos varia ano a ano, dificulta às tomadas de decisões sobre o uso dos recursos hídricos (SOUZA et al., 2014). Essas características interferem na agropecuária, limitando o desenvolvimento deste setor, inviabilizando economicamente (DONATO et al., 2017). Diante desse cenário, se faz necessário a utilização de práticas resilientes nos sistemas agrícolas, que inclui o uso de plantas e cultivares adaptadas, aliado às práticas e manejo adequados (SENTELHAS & MONTEIRO, 2009).

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill), além de apresentar fatores de adaptabilidade, que a torna um dos cultivos de destaque no Semiárido brasileiro, é uma excelente forrageira, a sua composição química favorece a dieta dos ruminantes, com um alto valor energético e um alto coeficiente de digestibilidade da matéria seca (COSTA et al., 2012).

Apesar da sua grande importância, não é uma alternativa econômica, e sim, uma cultura de “salvação” nos momentos mais críticos de estiagem, pois vem sendo cultivada de forma inadequada pelos produtores, com baixa adoção de práticas agrícolas para um melhor desenvolvimento e rendimento, principalmente no que se refere ao manejo da cultura (CRUZ NETO et al., 2017). Tendo em vista a relevância da palma forrageira para suprir as necessidades nutricionais dos animais no período de baixa disponibilidade de outros alimentos, torna-se de grande importância a adoção de tecnologias que permitam uma produção mais eficiente desta forragem.

A utilização da técnica de irrigação pode ser viável para aumentar o desenvolvimento da palma forrageira nas propriedades rurais com atividade pecuária. Considerando a predominância de águas salinas na região semiárida, sua utilização na irrigação seria altamente viável para produção dessa forragem. A irrigação com água salina no cultivo da palma forrageira pode contribuir de forma significativa, em crescimento, produtividade, além da eficiência no uso da água (CASTRO et al., 2020; FONSECA et al., 2019), para alimentação animal e diminuir a dependência do agricultor com outras forragens.

Além da irrigação, a densidade de plantio influencia na morfologia e rendimento produtivo da palma forrageira (FONSECA et al., 2020; SILVA et al., 2019). O conhecimento do estande de plantas ideal que possibilite a otimização no uso dos recursos solo, água, nutriente e radiação solar, torna-se de extrema importância para obtenção de rendimentos satisfatórios e com qualidade nutricional da cultura.

De forma geral, estudos com utilização de água salina na irrigação da palma forrageira em diferentes densidades de plantio por anos consecutivos são escassos ou preliminares, o que torna a pesquisa nesta área imprescindível. Diante do exposto, objetivou-se com o presente

estudo avaliar a produtividade e a eficiência do uso da água da palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio ao longo de três ciclos produtivos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, localizado no Município de Guanambi, coordenadas 14°13’30” sul e 42°46’53” oeste, altitude de 525 m. O clima é semiárido quente e seco, com estação seca bem definida no inverno e período chuvoso entre os meses de outubro e março. A precipitação média anual é de 672,3 mm (média dos últimos 40 anos) e a temperatura média anual de 26 °C (média dos últimos 34 anos).

O solo da área foi originalmente caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2018), que corresponde a Oxisols (SOIL SURVEY STAFF, 2014). Antes da implantação, foram coletadas amostras de solo na área experimental nas camadas de 0 a 0,20 m de profundidade e realizada caracterização química e determinação da classe textural (Tabela 1).

A área abrangia duas áreas com histórico de usos distintos, sendo uma anteriormente cultivada com palma forrageira irrigada e a outra sem cultivos anteriores. Os valores estão dentro da mesma classe de fertilidade do solo (DONATO et al., 2017a), o que justifica a manutenção das mesmas estratégias de manejo. O cultivo anterior com palma forrageira irrigada promoveu um aporte de cloro no solo, o que contribuiu para as diferenças na salinidade.

Tabela 1. Atributos químicos, classe textural e condutividade elétrica do extrato de pasta de solo saturado antes e depois da condução do terceiro ciclo.

Atributos	Unidade	Áreas	
		Cultivo anterior com palma irrigada	Sem cultivos anteriores
pH (H₂O)		7,5	7,5
MO¹	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
Ca²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,7	1,3
Mg²⁺	cmol _c dm ⁻³	0,8	0,3
Al³⁺	cmol _c dm ⁻³	0	0
H+Al	cmol _c dm ⁻³	1,4	1,4
SB²	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
t³	cmol _c dm ⁻³	3,1	2,1
T⁴	cmol _c dm ⁻³	4,5	3,4
V⁵	%	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 somas de bases; ³ capacidades de troca catiônica efetiva, CTC efetiva; ⁴ CTC a pH 7,0; ⁵ saturações por bases; ⁶ condutividades elétrica.

Durante o período de condução, os principais elementos meteorológicos (temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa média do ar, velocidade média do vento, precipitação e evapotranspiração) foram obtidos da estação meteorológica localizada próxima da área experimental (Figura 1).

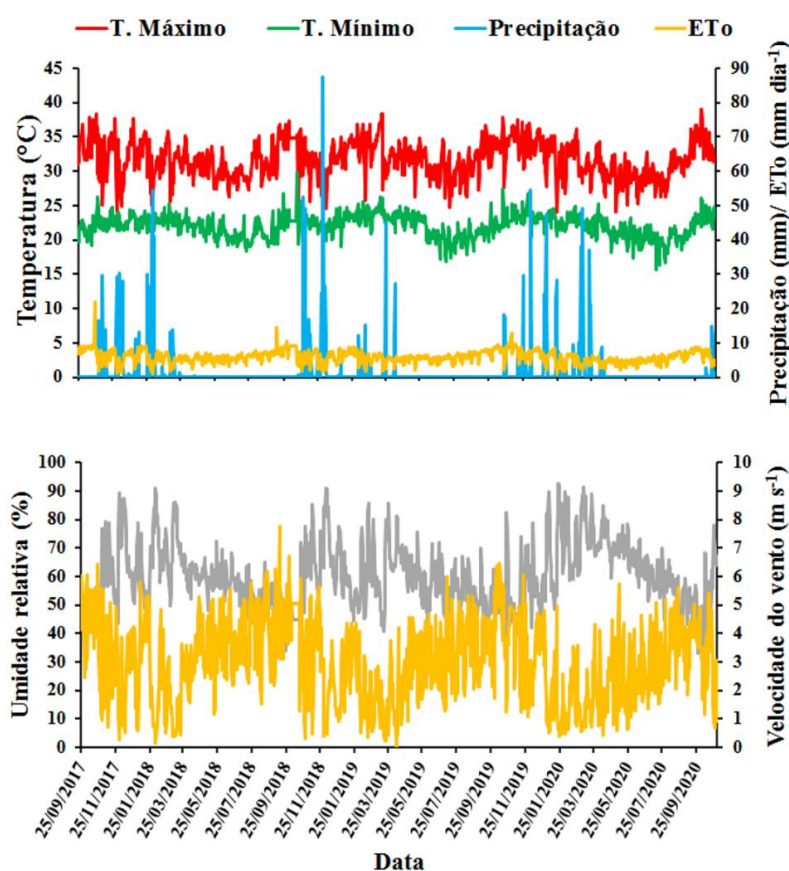


Figura 1. Temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento durante o período experimental.

Fonte: dados coletados na estação meteorológica automática instalada na área experimental do Instituto Federal Baiano - Campus Guanambi.

O palmar foi implantado em 2017 com a espécie *Opuntia ficus-indica* Mill ‘Gigante’ e conduzido por três ciclo produtivos. O período experimental compreendeu setembro de 2017 a outubro de 2020. A área recebeu uma aração e uma gradagem para posterior plantio. Os sulcos de plantio foram feitos com sulcador a uma profundidade de 0,2 m onde foram acomodados os cladódios. O plantio foi realizado nos espaçamentos de 0,30; 0,15; 0,10 e 0,075 m entre plantas e 1 m entre fileiras, dispostas em fileiras triplas, espaçadas 3,0 m uma da outra, equivalendo, respectivamente, às densidades de 20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare previstas nos

tratamentos.

A adubação foi baseada em Donato et al. (2017a). Foi realizada adubação orgânica de fundação com aplicação da dose de 30 Mg ha⁻¹ e química com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando como fonte superfosfato simples. A adubação orgânica de cobertura foi feita 70 dias após o plantio com a dose de 60 Mg ha⁻¹, totalizando 90 Mg ha⁻¹ na implantação da cultura, além da adubação química com a aplicação 300 kg ha⁻¹ de K₂O utilizando como fonte o cloreto de potássio, parcelado em duas vezes. No segundo e terceiro ciclo as adubações de cobertura foram repetidas com as mesmas dosagens do primeiro ciclo.

Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratos culturais necessários, a fim de evitar interferência 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 o estande da população de plantas original e realizar avaliações do segundo ciclo, o replantio para o terceiro ciclo não foi feito.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo alocadas nas parcelas, quatro densidades de plantio (20, 40, 60 e 80 mil plantas por hectare), nas subparcelas, três lâminas de irrigação (11, 22 e 33% da ETo) e o tratamento sem irrigação, e nas subsubparcelas, três ciclos de produção, perfazendo 48 tratamentos, com três repetições, totalizando 144 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída de três fileiras de plantas com 5,50 m de comprimento, em que as plantas úteis foram aquelas localizadas nos 3,5 metros centrais das três fileiras.

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.

Para aplicação das lâminas, a evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman-Monteith a partir dos dados da estação meteorológica e calculado o tempo de irrigação para cada tratamento, conforme equação 1 descrita por Santos & Brito (2016), para faixa contínua molhada. O sistema de irrigação foi constituído por linhas principais e de derivação de PVC com diâmetro de 50 mm. As linhas laterais foram mangueiras gotejadores de 16 mm, com emissores tipo labirinto, com vazão de 2,4 L h⁻¹, espaçados de 0,3 m no primeiro e segundo ciclos produtivos e com vazão de 3,2 L h⁻¹, espaçados de 0,5 m no terceiro ciclo produtivo. Com os dados de precipitação obtidos e das lâminas calculadas foram determinadas as lâminas brutas (precipitação + irrigação) para cada tratamento de irrigação em cada ciclo (Tabela 2).

$$T_i = \frac{\Sigma E_{To} \times E_l \times E_g \times K_l}{q \times E_a} \times L \quad (1)$$

em que,

TI é o tempo de irrigação (horas);

ETo é a evapotranspiração de referência (mm);

El é o espaçamento entre linhas (m);

Eg é o espaçamento entre gotejadores (m);

Kl é o coeficiente de localização;

q é a vazão do emissor (L h⁻¹);

Ea é a eficiência de aplicação (%);

L é a fração da lâmina a ser aplicada (decimal).

Tabela 2. Lâminas aplicadas ao longo dos três ciclos produtivos.

Lâminas de Irrigação	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo
	Lâminas aplicadas (mm ciclo ⁻¹)		
0% da ETo ¹	533,29	581,20	639,21
11% da ETo ²	673,19	729,50	705,79
22% da ETo ²	813,08	877,81	772,36
33% da ETo ²	952,98	1026,11	838,94

¹ Precipitação; ² Precipitação mais irrigação.

A água utilizada para irrigação foi proveniente de poço tubular, sendo classificada como C4S1, conforme a classificação de Richards (AYERS & WESTCOT, 1985), as características químicas encontram-se na Tabela 3. Com a caracterização da água utilizada para irrigação foi determinada a quantidade de elementos aportados com as lâminas de irrigação durante os ciclos (Tabela 4).

Tabela 3. 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	189,50
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

Tabela 4. Quantidade de elementos aportados com aplicação das lâminas de irrigação nos ciclos de produção.

Lâminas	Ciclos de Produção	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻
		kg ha ⁻¹					
11% da ETo	1 ^o	451,77	155,31	15,32	265,66	443,82	1.308,52
22% da ETo	1 ^o	903	310,63	30,63	531,32	887,65	2.617,04
33% da ETo	1 ^o	1.355,31	465,94	45,95	796,98	1.331,47	3.925,56

11% da ETo	2 ^o	478,92	64,65	16,24	281,62	470,49	1.387,15
22% da ETo	2 ^o	957,83	329,29	32,47	563,25	940,99	2.774,31
33% da ETo	2 ^o	1.436,75	493,94	48,71	844,87	1.411,48	4.161,46
11% da ETo	3 ^o	214,99	73,91	7,29	126,42	211,21	622,71
22% da ETo	3 ^o	429,99	147,82	14,58	252,85	422,42	1.245,43
33% da ETo	3 ^o	644,98	221,74	21,87	379,27	633,63	1.868,14

As avaliações do primeiro ciclo foram realizadas aos 386 DAP e antes do período chuvoso, que correspondeu o final do ciclo. Após o período chuvoso e início do período seco, as aplicações das lâminas foram retomadas, para o segundo e após o segundo, para o terceiro ciclo, as avaliações do segundo ciclo foram realizadas aos 368 dias após colheita do primeiro ciclo e as avaliações do terceiro ciclo foram realizadas aos 362 dias após colheita do segundo ciclo.

Ao final do ciclo foram avaliados, o teor de matéria seca (MS), as produtividades de matéria verde (PMV) e seca (PMS), a eficiência de uso da água (EUA) e o número de plantas mortas (PM).

O número de plantas mortas foi determinado por contagem direta em campo. Antes da colheita foram coletadas amostras de tecidos dos cladódios para determinação do teor de matéria seca, com secagem a estufa de ventilação forçada a 65° C (pré-secagem) e posteriormente a 105° C (secagem definitiva) (DETMANN et al., 2012). A coleta das amostras foi realizada com o auxílio de uma serra copo (5,00 cm de diâmetro por 4,00 cm de profundidade), adaptada a uma furadeira à bateria. As amostras foram retiradas em cladódios distribuídos nas diferentes posições da planta (DONATO, S. et al., 2020).

Para determinação da produtividade de matéria verde (Mg ha^{-1}) foi realizada a colheita e a pesagem de todas as plantas dentro da parcela útil ($17,5 \text{ m}^2$), realizando-se o corte de todos os cladódios e preservando somente o cladódio “mãe” (cladódio utilizado no plantio). A produtividade de matéria seca (Mg ha^{-1}) foi determinada em função do MS do tratamento multiplicado pela PMV.

A eficiência de uso da água 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 (Equação 2). Foi determinada a eficiência de uso da água com base nas PMV e PMS.

$$EUA = \frac{\text{PROD}}{\text{LBA} + \text{P}} \quad (2)$$

em que,

EUA é a eficiência de uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

PROD é a produtividade, (kg ha^{-1});

LBA é a lâmina bruta aplicada (mm);

P é a precipitação (mm).

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 do fator ciclos de produção foi feito teste de médias, para os 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.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis avaliadas não foram influenciadas pela interação tripla entre os fatores estudados, nem pela interação dupla entre densidades de plantio e ciclo ($p > 0,05$) (Tabela 5). O teor de matéria seca (MS), as produtividades de matéria verde (PMV) e seca (PMS), as eficiências de uso da água para produtividades de matéria verde (EUAPMV) e seca (EUAPMS) apresentaram efeito significativo ($p \leq 0,01$) para a interação entre os fatores lâminas de irrigação e ciclos de produção. Dessas variáveis, PMV, PMS e EUAPMS foram influenciadas também pelas densidades de plantio, lâminas de irrigação e ciclos de forma independente ($p \leq 0,01$), enquanto MS por lâminas e ciclos ($p \leq 0,01$) e EUAPMV por lâminas e densidades de plantio ($p \leq 0,01$). A variável plantas mortas (PM) variou de forma independente com ciclos e lâminas ($p \leq 0,01$).

Tabela 5. Resumo das análises de variância, com os respectivos quadrados médios e médias, para teor de matéria seca, produtividade de matéria verde e seca, eficiência de uso da água e plantas mortas em palma forrageira ‘Gigante’ cultivada em diferentes densidades de plantio e irrigada com água salina em três ciclo de produção.

Fontes de variação	GL	MS	PMV	PMS	EUAPMV	EUAPMS	PM
Bloco	2	0,81 ^{NS}	4.358,37 ^{NS}	3,55 ^{NS}	6.586,60 ^{NS}	7,40 ^{NS}	230.156.345,25 ^{NS}
Densidade (DENS)	3	0,88 ^{NS}	21.451,38**	661,82**	37.787,51**	115,53**	952.972.917,64 ^{NS}
Erro A	6	2,12	2.132,15	5,94	3.592,59	9,96	215.044.368,38
Lâmina (LAM)	3	60,82**	12.766,38**	12,79**	12.706,69**	386,93**	106.098.291,04**
DENS x LAM	9	0,32 ^{NS}	669,82 ^{NS}	1,22 ^{NS}	980,89 ^{NS}	3,87 ^{NS}	18.975.376,73 ^{NS}
Erro B	24	0,93	839,60	1,70	1.427,87	3,49	18.164.520,58
CICLO	2	11,54**	2.550,49**	23,97**	1.820,31 ^{NS}	46,36**	34.748.750,02**
DENS x CICLO	6	0,26 ^{NS}	897,03 ^{NS}	2,07 ^{NS}	1.595,82 ^{NS}	3,81 ^{NS}	9.483.087,23 ^{NS}
LAM x CICLO	6	8,82**	11.960,93**	25,00**	14.316,62**	49,80**	1.935.758,75 ^{NS}
DENS x LAM x CICLO	18	0,25 ^{NS}	162,08 ^{NS}	1,09 ^{NS}	298,76 ^{NS}	3,07 ^{NS}	6.034.709,11 ^{NS}
Resíduo	64	0,59	469,41	1,61	873,66	3,53	7.318.572,92
Média		5,55	161,90	8,67	214,64	11,88	10.023,81

GL - Grau de liberdade do resíduo; MS - Teor de matéria seca; PMV - Produtividade de massa verde; PMS - Produtividade de massa seca; EUAPMV - Eficiência de uso da água considerando a produtividade massa verde; EUAPMS - Eficiência de uso da água considerando a produtividade massa seca; PM - plantas mortas.

^{NS} Não significativo, * Significativo a 5%; **significativo a 1% pelo teste F.

Para a interação entre os fatores lâminas de irrigação e ciclos de produção foi ajustado

modelo linear decrescente para o teor de MS em função das lâminas em todos os ciclos (Figura 2A). Os modelos possibilitam uma estimativa de redução de 45,76%, 51,02% e 12,02%, respectivamente, para o primeiro, segundo e terceiro ciclo do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo). Esses resultados destacam a redução do MS independente do ciclo de produção com o aumento das lâminas de irrigação, o que colabora com os resultados encontrados por Cruz Neto et al. (2017).

Campos et al. 2021 ressaltam que o teor de matéria seca é reduzido sob irrigação devido ao maior grau de turgescência dos cladódios, pois são órgãos que apresentam tecido interno suculento com grande capacidade de armazenamento de água (DONATO S. et al., 2020a) e sob frequente reposição hídrica reflete numa menor conversão de matéria seca.

O teor de MS no tratamento de sequeiro diferiu entre todos os ciclos, reduzindo ao longo dos anos. No primeiro ciclo apresentou um valor de 7,94%, no segundo de 7,30% e no terceiro de 5,46%. Na lâmina de 11% da ETo não houve diferença entre os ciclos, já para os tratamentos de 22% da ETo o maior valor de MS foi encontrado no primeiro ciclo (5,48%), sendo similar ao terceiro (5,02%) e diferente do segundo (4,82%). Para o tratamento de 33% da ETo, o maior valor de MS foi encontrado no terceiro ciclo (4,81%), sendo similar ao primeiro (4,25%) e diferente do segundo (3,58) (Figura 2A).

Os resultados do teor MS (Figura 2A) refletem o conteúdo de água aplicada em cada lâmina (Tabela 2), que no geral foi bastante reduzido ao longo dos ciclos. Para o tratamento de sequeiro (0% da ETo) a reposição hídrica foi feita por meio das precipitações nos ciclos, que foram de 533,29, 581,20 e 639,21 mm ciclo⁻¹, para o primeiro, segundo e terceiro ciclo, respectivamente, o que justifica a redução do MS em cada ciclo com o aumento das chuvas ano a ano (Tabela 2). Para as lâminas de 22 e 33% da ETo no segundo ciclo por ter sido aplicada uma maior quantidade de água, apresentaram os menores valores de MS.

Para PMV em função das lâminas no primeiro e segundo ciclos de produção foi ajustado um modelo linear crescente (Figura 2B). No primeiro ciclo o modelo estima um incremento de 105,93% do tratamento de sequeiro para maior lâmina aplicada (33% da ETo) e no segundo de 24,54%. Os modelos ajustados estimam um aumento de 38,57 e 12,03 Mg ha⁻¹, respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo de produção a cada aumento de 11% da ETo. No terceiro ciclo de produção ajustou-se um modelo linear decrescente (Figura 2B), com uma redução de 15,22% do tratamento sem irrigação para o de 33% da ETo, onde a cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 8,43 Mg ha⁻¹.

O aumento crescente da PMV nos dois primeiros ciclos está associado ao maior volume de água aplicada via irrigação, e por consequência resultou num maior aporte de nutrientes no palmar (Tabela 4), comprovado por Fonseca et al. (2022) que constataram aumento das

concentrações de N, P, Ca, Mg, B, Cu, Mn e Zn até a lâmina 33% da ETo, e máximas concentrações de K, S e Na com lâminas entre 16 e 25% da ETo. Donato S. et al. (2020) ressaltam que a adubação orgânica testada até 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para alcançar elevada produtividade não atendeu a extração/exportação de K, Ca, Mg e B, sendo necessária atender a demanda com outras fontes. Dessa forma, os nutrientes presentes na água de irrigação contribuíram com esse aporte necessário nos dois primeiros anos, com maior lâmina aplicada, e favoreceu um maior rendimento. Do mesmo modo, Fonseca et al. (2019) avaliando irrigação com água salina no primeiro e segundo ciclo produtivo, constataram incremento com a aplicação das maiores lâminas de irrigação em comparação ao tratamento de sequeiro nos dois ciclos, com o maior valor obtido no segundo ciclo de produção (218,20 Mg ha⁻¹) com a aplicação de 100% da ETo diariamente.

A PMV em função dos ciclos de produção no tratamento de sequeiro não apresentou diferença entre o segundo (147 Mg ha⁻¹) e terceiro (166,21 Mg ha⁻¹), sendo ambos superiores ao primeiro (109,23 Mg ha⁻¹) (Figura 2B). Esse resultado para o tratamento sem irrigação se atribui as chuvas em cada ciclo, que favoreceu o maior rendimento no terceiro ciclo, ano que apresentou maior concentração (639,21 mm). No tratamento de 11% da ETo não houve diferença entre os ciclos (Figura 2B).

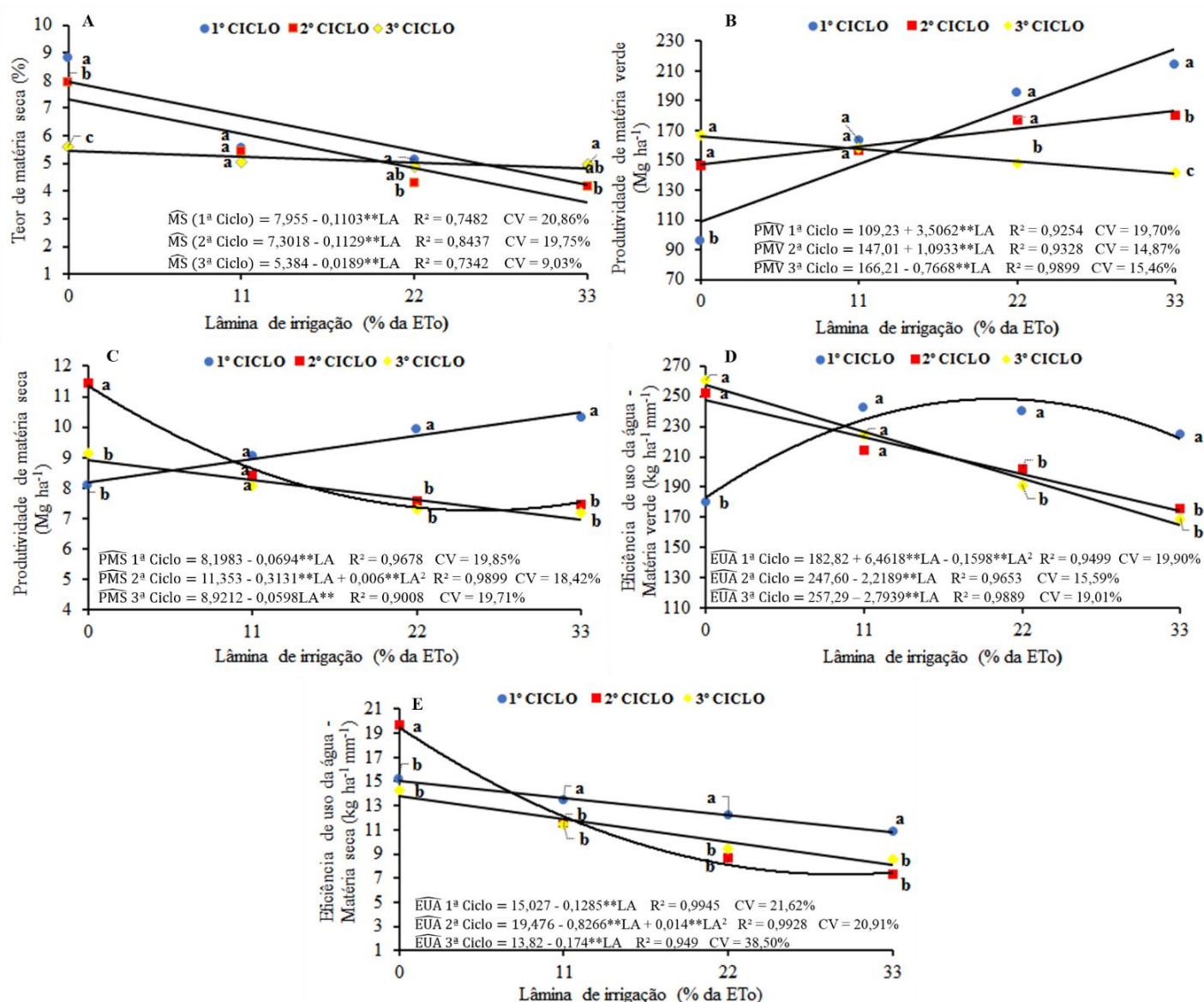
O efeito da aplicação das lâminas crescentes de irrigação sob o rendimento produtivo em cada ciclo, só foi favorecido a partir do tratamento de 22% da ETo, onde o primeiro e segundo ciclo foram similares entre si, com uma PMV de 187,37 e 171,06 Mg ha⁻¹, respectivamente, e foram superiores ao terceiro ciclo de produção, que proporcionou uma PMV de 149,34 Mg ha⁻¹ (Figura 2B). Na lâmina de 33% da ETo a PMV foi maior no primeiro ciclo de produção, com um rendimento de 224,93 Mg ha⁻¹, e reduziu com os ciclos seguintes, nos quais a PMV foi de 183,09 Mg ha⁻¹ para o segundo ciclo e 140,91 Mg ha⁻¹ para o terceiro ciclo (Figura 2B).

A PMV ao longo dos ciclos nas lâminas de 22 e 33% da ETo está associada ao maior volume de água aplicada via irrigação, que favoreceu um maior aporte de nutrientes durante o primeiro e segundo ciclo de produção (Tabela 4), proporcionando uma maior aplicação de nutrientes via irrigação em relação ao terceiro ciclo, pois as maiores lâminas foram aplicadas nesses anos e proporcionou um incremento produtivo.

Para PMS em função das lâminas de irrigação foram ajustados modelo linear crescente no primeiro ciclo, quadrático no segundo ciclo e linear decrescente no terceiro ciclo (Figura 2C). No primeiro ciclo houve incremento de 27,94% da PMS do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo), estimando um aumento de 0,76 Mg ha⁻¹ a cada aumento de 11% da ETo. O menor valor de PMS no segundo ciclo (7,27 Mg ha⁻¹) foi encontrado com

aplicação da lâmina 26% da ETo, com uma redução 35,98% em relação ao tratamento sem irrigação. No terceiro ciclo houve decréscimo de 22,12% da PMS do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo), estimando uma redução de 0,66 Mg ha⁻¹ a cada aumento de 11% da ETo.

A palma forrageira tem capacidade de armazenar grandes volumes de água em seus tecidos (DONATO S. et al., 2020; SANTOS, DONATO & COTRIM JUNIOR, 2020), o que resultou na redução do MS. Apenas no primeiro ciclo de produção o incremento no rendimento da PMV foi capaz de superar a redução da MS e proporcionar uma elevação na PMS com o aumento das lâminas de irrigação.



R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. NS não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t. Médias acompanhadas da mesma letra na mesma lâmina, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Figura 2. Interação entre os fatores lâmina de irrigação e ciclos e produção para 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) da palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

A PMS no tratamento de sequeiro foi maior no segundo ciclo de produção com 11,35 Mg ha⁻¹, diferindo do primeiro (8,20 Mg ha⁻¹) e terceiro (8,92 Mg ha⁻¹) (Figura 2C). No tratamento de 11% da ETo não houve diferença entre os ciclos (Figura 2C). Já nos tratamentos de 22% e 33% da ETo a PMS no primeiro ciclo foi de 9,72 e 10,49 Mg ha⁻¹, respectivamente, com valores superiores ao segundo e terceiro ciclo de produção, que foram similares entre si nas duas lâminas (Figura 2C).

Para EUAPMV em função das lâminas de irrigação, ajustou-se um modelo quadrático no primeiro ciclo e um modelo linear decrescente no segundo e terceiro ciclo de produção (Figura 2D). No primeiro ciclo, o maior valor de EUAPMV (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 e terceiro ciclo houve redução de 29,57 e 35,83% da EUAPMV do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo), respectivamente, estimando uma redução a cada aumento de 11% da ETo de 24,41 kg ha⁻¹ mm⁻¹ no segundo ciclo e 30,73 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para o terceiro.

Comportamento semelhante ao segundo e terceiro ciclo produtivo foi encontrado por Queiroz et al. (2016) e Silva et al. (2020), que constataram redução da eficiência do uso da água com o aumento das lâminas de irrigação. Fonseca (2021) explica que essa redução está associada ao grande volume de água aplicado quando comparado com o incremento no rendimento produtivo, o que aconteceu em todos os ciclos, diminuindo a eficiência com as maiores lâminas aplicadas.

A EUAPMV em função dos ciclos de produção no tratamento de sequeiro foi maior no terceiro (257,29 kg ha⁻¹ mm⁻¹) e segundo (247,60 kg ha⁻¹ mm⁻¹), sendo ambos superiores ao primeiro (182,82 kg ha⁻¹ mm⁻¹) (Figura 2D), esses resultados mostram que houve uma eficiência no aproveitamento da água com o aumento das chuvas ao longo dos ciclos. No tratamento de 11% da ETo não houve diferença entre os ciclos (Figura 2D). Já nos tratamentos de 22 e 33% da ETo o primeiro ciclo foi superior ao segundo e terceiro ciclo de produção, mostrando que o incremento na PMV no primeiro ciclo, refletiu numa maior eficiência com a água aplicada (Figura 2D), com EUAPMV de 247,64 e 222,04 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para os tratamentos de 22% e 33% da ETo, respectivamente.

Para EUAPMS em função das lâminas de irrigação no primeiro e terceiro ciclo ajustou-se um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação, e no segundo ciclo quadrático (Figura 2E). Houve redução de 28,22% e 41,55% da EUAPMS, respectivamente, para o primeiro e terceiro ciclo do tratamento sem irrigação para a maior lâmina aplicada (33% da ETo), correspondendo no primeiro ciclo, a um decréscimo de 1,41 kg ha⁻¹ mm⁻¹ a cada aumento de 11% da ETo e no terceiro de 1,91 kg ha⁻¹ mm⁻¹. No segundo ciclo houve redução

até a lâmina de 29% da ETo, com uma EUAPMS de 7,31 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

A EUAPMS da palma forrageira ‘Gigante’ sob sequeiro foi maior no segundo ciclo de produção, com um rendimento de 17,78 kg ha⁻¹ mm⁻¹, diferindo dos demais ciclos, com EUAPMS de 15,03 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para o primeiro e de 13,82 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para o terceiro (Figura 2E). Nas demais lâminas de irrigação o primeiro ciclo proporcionou os maiores valores, com EUAPMS de 13,61, 12,20 e 10,79 kg ha⁻¹ mm⁻¹, para as lâminas de 11, 22 e 33% da ETo, respectivamente (Figura 2E).

Ajustou-se um modelo linear crescente para a proutividade de matéria verde e seca em função das densidades de plantio (Figuras 3A e 3B), com um acréscimo de 35,42% e de 37,96%, respectivamente, da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para a maior (80.000 plantas ha⁻¹). Os modelos ajustados estimam um aumento de 16 Mg ha⁻¹ a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ para PMV e de 0,80 Mg ha⁻¹ para PMS.

O aumento da PMS nas maiores densidades de plantio está diretamente relacionado ao aumento da PMV, pois MS não apresentou diferença. Os resultados ao longo dos ciclos de produção reforçam os encontrados por Silva et al. (2014) e Cavalcante et al. (2014), que encontraram incremento positivo para PMV e PMS, com o aumento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹. Mas deve-se ter conhecimento detalhado sobre o valor do custo da atividade, pois a densidade de plantio é uma das variáveis que influenciam no custo de produção final (DONATO P. et al., 2020) e quanto mais elevado o adensamento, maior a exigência de manejo do palmar (MACÊDO et al., 2020).

Diante do elevado custo para se adensar, mesmo com o incremento produtivo na densidade máxima avaliada (80.000 plantas ha⁻¹) pode não ser viável quando se compara com a produtividade alcançada na densidade de 60.000 plantas ha⁻¹, que apresentou uma PMV de 167,52 Mg ha⁻¹ e uma PMS de 7,92 Mg ha⁻¹, que corresponde a uma redução na produtividade em relação a máxima densidade de plantio de 9,55% e 10,10%, respectivamente. Essa inviabilidade é influenciada pela disponibilidade e o preço das mudas, além do manejo com o aporte de nutrientes, que deve ser proporcional ao aumento da densidade de plantio (DONATO, P. et al., 2020a), e são fatores que elevam o custo de produção.

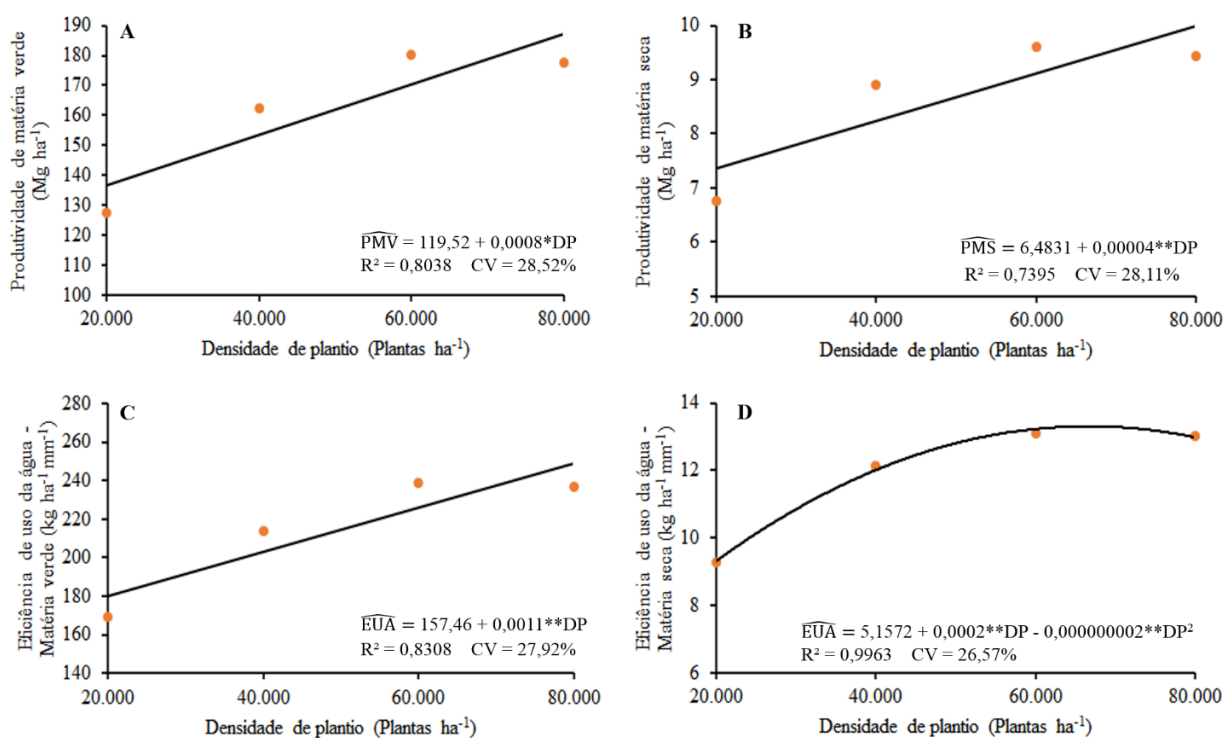
Fonseca et al. (2020) avaliando diferentes densidades de plantio em arranjo mecanizável encontraram produtividade máxima para PMV (159,52 Mg ha⁻¹) numa população de aproximadamente 69.112 plantas ha⁻¹ e PMS (13.74 Mg ha⁻¹) numa população de 64.446 plantas ha⁻¹, a partir destas densidades houve uma redução no rendimento produtivo, mostrando que densidades de plantio superiores podem não atingir máximas produtividades, além de inviabilizar a rentabilidade final com o aumento do custo de produção.

Ajustou-se um modelo linear crescente em função das densidades de plantio para a

EUAPMV (Figura 3C), com um incremento de 36,78% da menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹) para maior densidade (80.000 plantas ha⁻¹), onde a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ houve um acréscimo de 22 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Para a EUAPMS em função das densidades de plantio, ajustou-se um modelo quadrático (Figura 3D), com a maior eficiência (10,16 kg ha⁻¹ mm⁻¹) numa população de 50.000 plantas ha⁻¹, estimando um incremento de 21,54% em relação a menor densidade de plantio (20.000 plantas ha⁻¹).

A EUAPMV sofreu grande influência pela capacidade de armazenamento de água nos cladódios ao longo dos ciclos, que foi aumentando com a elevação do estande de plantas, esses altos teores de umidade na massa verde é um fator interessante nas regiões semiáridas e nos períodos de estiagem, tendo a palma forrageira como fonte de água e alimento a ser ofertada aos animais (SANTOS, DONATO & COTRIM JUNIOR, 2020; SILVA et al., 2014).

Com a resposta positiva para EUAPMS até a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, podemos apontar que o maior número de plantas nas densidades superiores, tornou o aproveitamento da água aplicada durante os ciclos negativa, necessitando de um maior incremento na PMV para aumentar essa eficiência, logo que, o teor de MS não apresentou diferença e PMS é dada pela multiplicação destas variáveis, onde os sistemas de manejo devem promover a redução das perdas de água e/ou aumentar a produtividade das culturas, para que a EUA seja positiva (SILVA et al., 2020).

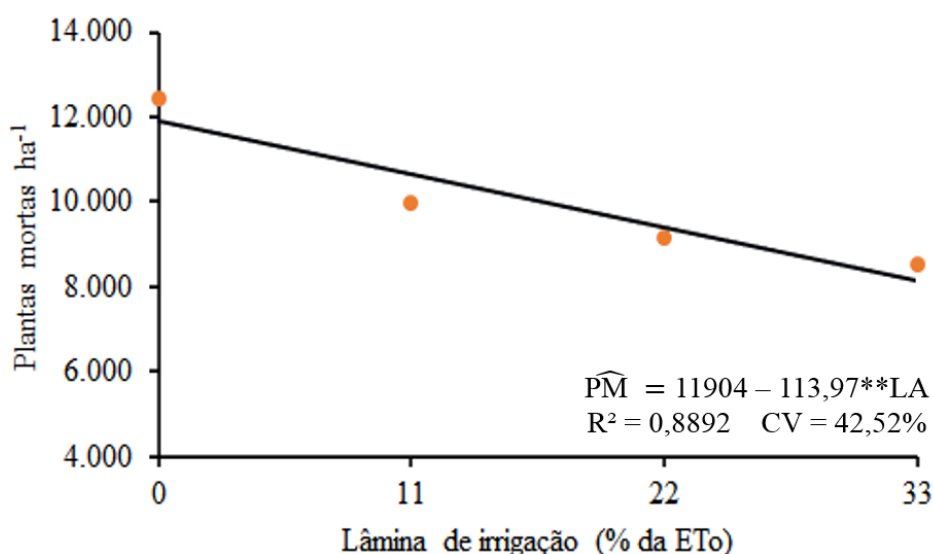


R² - Coeficiente de determinação; CV - Coeficiente de variação. NS não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

Figura 3. 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) da palma forrageira ‘Gigante’ em função de densidades.

Para o número de plantas mortas ha⁻¹ foi ajustado um modelo linear decrescente em função das lâminas de irrigação (Figura 4), com um decréscimo de 31,59% do tratamento de sequeiro para maior lâmina de irrigação (33% da ETo), em que para cada aumento de 11% da ETo houve uma redução de 1.254 plantas mortas. A mortalidade foi reduzida com a aplicação crescente das lâminas de irrigação com água salina. Suprir a necessidade hídrica, principalmente no primeiro ano da cultura, facilita o estabelecimento das plantas, pois elas necessitam acumular reservas para manter o crescimento e garantir sua sobrevivência (FONSECA, 2021).

Santos, Donato & Cotrim Junior (2020) sugerem o uso da irrigação em cultivos adaptados à seca para garantir a sua segurança produtiva, pois o aumento da variabilidade climática, reflete em ocorrência de longos períodos de estiagem e atraso no início da estação chuvosa. Outro fator importante destacado pelos autores e constatados por Fonseca et al. (2019) é a utilização de água de menor qualidade na irrigação, que é de suma importância frente as condições climáticas, proporcionando uma menor mortalidade e aumento da PMV com a elevação das lâminas de irrigação até 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 4. Número de plantas mortas da palma forrageira ‘Gigante’ em função de lâminas de irrigação.

O número de plantas mortas diferiu entre o segundo e o terceiro ciclo de produção (Tabela 6). A maior mortalidade plantas no terceiro ciclo comparada ao segundo está associada ao não replantio para condução naquele ciclo.

Tabela 6. Médias do número de plantas mortas da palma forrageira ‘Gigante’ em função dos ciclos de produção.

Ciclos	Plantas Mortas ha ⁻¹
1°	10.315 ab
2°	9.065 b
3°	10.690 a
Média	10.024
CV (%)	26,99

Nota: Média = média geral; CV = coeficiente de variação. Médias acompanhadas da mesma letra na coluna para cada ambiente, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lâminas crescentes de irrigação promovem redução no teor de MS da palma forrageira ‘Gigante’ independente do ciclo de produção. A maior PMV foi registrada no primeiro ciclo produtivo, com aplicação da lâmina de 33% da ETo. Para PMS a aplicação das maiores lâminas de irrigação foi refletida apenas no primeiro ciclo de produção. A lâmina de 33% da ETo promove redução da eficiência do uso da água.

O aumento da densidade de plantio até 80.000 plantas ha⁻¹ favorece a PMV, PMS e EUAPMV ao longo dos três ciclos produtivos. A EUAPMS, responde de forma positiva até uma população 50.000 plantas ha⁻¹.

O aumento das lâminas de irrigação até 33% da ETo reduz o número de plantas mortas ao longo dos ciclos.

5. REFERÊNCIAS

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 174p. 1985. Paper n.29. (Irrigation and drainage).
- CAMPOS, A. R. F.; SILVA, A. J. P. da.; LIER, Q. de J. V.; NASCIMENTO, F. A. L. do; FERNANDES, R. D. M.; ALMEIDA, J. N. de; PAZ, V. P. da S. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal Of Arid Environments**, v. 193, p. 104564, 2021.
- 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.; ARRUDA SANTOS, G. R. de A.; SILVA, L. M. da; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. da. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, out./dez. 2014.
- COSTA, R. G.; TREVIÑO, I. H; MEDEIROS, G. R. de; MEDEIROS, A. N.; PINTO, T. F.; OLIVEIRA, R. L. de. Effects of replacing corn with cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) on the performance of Santa Inês lambs. **Small Ruminant Research**, 102(1):p. 13-17, 2012.
- CRUZ NETO, J. F. da; MORAIS, J. E. F. de; SOUZA, C. A. A. de; CARVALHO, H. F. de S.; RODRIGUES, C. T. A.; SILVA, T. G. F. da. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress** v. 02, n. 02, p. 98 - 106, 2017.

- DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVEDO, J. A. G. (Eds.) **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 2012, 214.
- DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; RODRIGUES, M. G. V.; SANTOS, M. R. Indicadores técnicos, de produção e econômicos da cultura. *In*: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 203 - 232.
- DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; LONDE, L. N. C.; RODRIGUES, M. G. V. Implantação da lavoura. *In*: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020a. p. 79 - 100.
- DONATO, S. L. R.; ARANTES, A. de M.; BRITO, C. F. B.; RODRIGUES, M. G. V.; SILVA, J. A. da; DONATO, P. E. R. Considerações sobre clima semiárido e ecofisiologia da palma forrageira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 7-20, 2017.
- DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; RODRIGUES, M. G. V. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação para palma forrageira ‘Gigante’. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 38, n. 296, p. 46-58, 2017a.
- DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da; RODRIGUES, M. G. V.; Rufino, L. D. A.; Silva Junior, A. A. Exigências nutricionais e sugestões de adubação para palma forrageira ‘gigante’. *In*: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020. p. 101 - 127.
- DONATO, S. L. R.; BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; ARANTES, A. de M., SILVA, J. A. da.; DONATO, P. E. R. Aspectos ecofisiológicos. *In*: DONATO, S. L. R.; BORÉM, A.; RODRIGUES, M. G. V. **Palma forrageira do plantio à colheita**. Belo Horizonte: Epamig, 2020a. p. 43 - 77.
- FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R. dos; SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v. 41, ed. 42631, p.1-11, 2019.
- FONSECA, V. A.; COSTA, L. C. SILVA, J. A. da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S. ‘Gigante’ cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.11, p.769-775, 2020.
- FONSECA, V. A. **Palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água salina sob densidades de plantio**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, p. 65, 2021.
- FONSECA, V. A.; DONATO, S. L. R.; SANTOS, M. R.; OLIVEIRA, C. M.; KONDO, M. K. COTRIM, C. E. Nutrients in ‘Gigante’ forage cactus pear under different saline water irrigation depths and planting densities. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.26, n.5, p.381-389, 2022.
- MACÊDO, A. J. da S.; CESAR NETO, J. M.; OLIVEIRA, L. B. de; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 62967-62987, 2020.
- QUEIROZ, M. G. de; SILVA, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S. e; SOUZA, C. A. A. de; CARVALHO, H. F. De S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 141-154, 2016.

- SANTOS, M. R.; BRITO, C. F. B. Irrigação com água salina, opção agrícola consciente. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.7, n.1, p.33-41, 2016.
- 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. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v.11, n.1, p.75-86, 2020.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. de A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, Brasília, Brasil: Inmet. 2009.
- SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria v.44, n.11, nov., 2014.
- SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. de F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. de S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. de L. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n.6, p. 88-96, 2019.
- SILVA, E. C. B. da; LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. A. S. de; SOUZA, E. S. de; SOUZA, R. M. S.; SILVA, V. P. da; OLIVEIRA, C. L. de. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.13, n.6, p. 2744-2759, 2020.
- SOIL SURVEY STAFF. Keys to soil taxonomy. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture, **Natural Resources Conservation Service**, 2014.
- SOUZA, M.T. de C.; SILVA, M. E. F.; PAULO, P. E. M. de; RIBEIRO, A. B.; ANDRADE, A. P. de; CASSUCE, M. R. Caracterização climática e o efeito do estresse hídrico sob as plantas nativas da caatinga. **PUBVET**, v. 8, n. 1, Art. 1655, 2014.