



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Palma Forrageira ‘Miúda’, ‘Orelha De Elefante Mexicana’ e ‘Gigante’ sob Diferentes Densidades de Plantio

Rômulo Souza Soares¹, Sérgio Luiz Rodrigues Donato², João Abel da Silva², Cleiton Fernando Barbosa Brito³, Paulo Emílio Rodrigues Donato²

¹Estudante de Engenharia Agrônoma, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi, zona rural – Distrito de Ceraíma, CEP 46430-000, Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: romulo.udi@hotmail.com – ORCID: 0000-0003-1697-1891 (autor correspondente); ²Professor Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Guanambi, zona rural – Distrito de Ceraíma, CEP 46430-000, Guanambi, Bahia, Brasil. E-mail: sergio.donato@ifbaiano.edu.br – ORCID: 0000-0002-7719-4662; joao.silva@ifbaiano.edu.br – ORCID: 0000-0001-5358-356X; paulo.donato@ifbaiano.edu.br – ORCID: 0000-0001-8696-8378; ³Eng. Agrônomo, D.Sc. E-mail: cleiton.ibce@hotmail.com – ORCID: 0000-0001-9423-4980.

Artigo recebido em 12/05/2024 e aceito 27/10/2024

RESUMO

A escolha e manejo de cultivares de palma forrageira em microclimas específicos no semiárido são essenciais devido às variações climáticas que afetam seu crescimento e produtividade. Objetivou-se avaliar o desempenho de cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio nas condições do semiárido baiano, região de Guanambi-BA. O ensaio foi conduzido em delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas com três cultivares (Cv) nas parcelas (Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda e Gigante) e quatro densidades de plantio (DP) (20.000, 40.000, 60.000, 80.000 plantas ha⁻¹) nas subparcelas, totalizando 12 tratamentos experimentais. Após 600 dias, foram medidas características morfológicas e produtivas. As variáveis, altura da planta, índice de área de cladódio e número de plantas mortas apresentaram interação ($p < 0,05$) entre os fatores. Com efeito, linear positivo para índice de área do cladódio e número de plantas mortas, a ‘Miúda’ e a ‘OEM’ apresentaram maior IAC, com valores de 25,6 e 21,5 m² m⁻² respectivamente na DP de 80.000 plantas ha⁻¹. A ‘Miúda’ apresentou perdas superiores a 50% do estande em todas as DP. As cultivares OEM e Gigante apresentam produtividades de matéria verde e seca semelhantes. Quando as condições ambientais e de manejo propiciam índices de área de cladódios acima de 5 m² m⁻² o aumento da densidade de plantio acima de 20.000 plantas ha⁻¹ não influencia o teor de matéria seca, as produtividades de massa de matéria verde e matéria seca nas cultivares de palma forrageira Gigante, OEM e Miúda.

Palavras-chave: *Opuntia*; *Nopalea*; cultivares; população de plantas; semiárido.

Cactus Pear ‘Miúda’, ‘Orelha De Elefante Mexicana’ and ‘Gigante’ under Different Planting Densities

ABSTRACT

The choice and management of cactus cultivars in specific microclimates in the semi-arid region are essential due to climatic variations that affect their growth and productivity. The objective was to evaluate the performance of cactus cultivars under different planting densities in the semi-arid conditions of Bahia in the region of Guanambi-BA. The trial was conducted in a randomized block design with four replications, in a split-plot scheme with three cultivars (Cv) in the plots (Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda and Gigante) and four planting densities (DP) (20,000, 40,000, 60,000, 80,000 plants ha⁻¹) in subplots, totaling 12 experimental treatments. After 600 days, morphological and productive characteristics were measured. The variables, plant height, cladode area index and number of dead plants showed interaction ($p < 0.05$) between the factors. In effect, positive linear for cladode area index and number of dead plants, ‘Miúda’ and ‘OEM’ presented higher IAC, with values of 25.6 and 21.5 m² m⁻² respectively in the DP of 80,000 plants ha⁻¹. ‘Miúda’ presented losses of more than 50% of the stand in all DPs. The OEM and Gigante cultivars have similar green and dry matter productivity. When environmental and management conditions provide cladode area rates above 5 m² m⁻², increasing planting density above 20,000 plants ha⁻¹ does not influence dry matter content, the productivity of green matter and dry matter mass in the forage palm cultivars Gigante, OEM and Miúda.

Keywords: *Opuntia*; *Nopalea*; cultivars; plant population; semiarid.

Introdução

Diante do cenário atual de mudanças climáticas, a incerteza sobre o comportamento futuro do clima no planeta é constante. No Semiárido brasileiro, esta situação é um fator agravante dos problemas já existentes nessa região, devido ao histórico de secas (Santos et al., 2023). O setor agropecuário é um dos mais impactados diante desta situação, uma vez que dependem das estações chuvosas para implantação de lavouras e pastagens, dificultando ainda mais a subsistência dos agricultores familiares. Com o agravamento dos períodos de seca, a agricultura torna-se uma atividade de alto risco, visto que a distribuição espaço-temporal das chuvas é irregular (Castro et al., 2021).

Neste contexto, a pecuária configura-se como uma atividade resiliente, sendo a principal fonte de renda dessa região (Castro, 2024), porém o baixo nível tecnológico empregado no sistema de criação, tornando-a vulnerável perante as mudanças do clima. A maioria dos sistemas de criação são de forma extensiva, com forragem oriunda da vegetação nativa (Pinheiro et al., 2021), que apresenta uma produção instável e que frequentemente não supre as exigências nutricionais do rebanho, forçando o produtor a comprar forragem para manter o seu rebanho durante o período de estiagem.

Estudos apontam que a região semiárida será impactada pelas mudanças climáticas, com o aumento da temperatura do ar, diminuição dos períodos chuvosos e aumento da intensidade das secas (IPCC, 2021). Diante desse cenário desolador, a implantação de tecnologias na produção de forragem para os animais faz-se necessária para otimizar os recursos disponíveis, aumentar a eficiência produtiva e garantir alimento para o rebanho, mesmo em condições adversas. Dentre as tecnologias voltadas para o semiárido, a escolha de plantas forrageiras adaptadas às condições supracitadas é essencial para o sucesso do sistema de produção.

Dentre as forrageiras adaptadas a região semiárida, a palma forrageira se destaca por sua rusticidade, facilidade de propagação, longevidade e elevada produção de massa de matéria verde, cerca de 200 – 400 t ha⁻¹ ano⁻¹, o que contradiz que plantas com processo fotossintético CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) não apresentam produtividade significativa (Donato, S., et al., 2017c). Essa forrageira é sinônimo de segurança alimentar nas propriedades pela sua adaptação às condições edafoclimáticas e por perdurar seus valores nutricionais de um ano ao

outro (Rufino; Donato; Rodrigues, 2020), atuando como estoque de forragem *in natura* para condições mais severas.

Espécies de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea* possuem características xerófilas e fisiológicas que lhe permitem suportar estiagens prolongadas com manutenção da atividade fotossintética, portanto, possuem adaptação às condições de déficit hídrico e irregularidade de chuvas (Brito et al., 2021). Assim, destacam-se como forrageiras tolerantes à seca e eficientes no uso da água, sendo utilizadas na alimentação em sistemas de produção animal de várias zonas áridas e semiáridas do mundo (Pastorelli et al., 2022), com ampla aceitação e desempenho satisfatório dos animais (Borges et al., 2019; Santos et al., 2022; Nobre et al., 2023).

Devido a essas características e sua importância no semiárido, o Brasil é o país com maior área plantada no mundo, com mais de 500 mil hectares de palma forrageira, com destaque para o gênero *Opuntia* (Fonseca et al., 2023), sendo essa área predominante no Nordeste. Por ser a pecuária, a principal fonte de renda familiar dessa região (Santos et al., 2021) e com o aumento da sazonalidade das chuvas (Veimrober Júnior et al., 2019; Fonseca et al., 2023), as áreas de cultivo dessa forrageira tem se expandido e o nível de tecnificação tem melhorado os índices produtivos, sendo que em 2017 foram contabilizadas uma produção de 3.581,5 mil toneladas, sendo a Bahia a maior produtora, com 1.500,36 mil toneladas (IBGE, 2017).

No semiárido brasileiro existem microclimas específicos com variação de precipitação, umidade relativa, temperaturas e altitude que influenciam de forma diferente o crescimento e produtividade das principais cultivares de palma forrageira, tais como, Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), Miúda (*Nopalea cochenilifera*) e Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill). Neste contexto, torna-se fundamental avaliar a existência e relevância da interação cultivar x ambiente para seleção de plantas superiores para determinada região (Borém et al., 2021), visto que, o mesmo genótipo pode apresentar respostas diferentes quando cultivado em diferentes locais, épocas ou condições.

Diversos estudos demonstram esse tipo de interação e podem ser verificados em trabalhos realizados nas regiões semiáridas de Alagoas (Amorim et al., 2015), Bahia (Teles et al., 2024) Pernambuco (Pereira et al., 2015; Barbosa et al., 2018), Paraíba (Lopes et al., 2010; Ramos et al., 2021), Sergipe (Cavalcante et al., 2014; Silva, L., et al., 2014).

Essas pesquisas indicam diferenças morfofisiológicas e de produtividade das diferentes cultivares avaliadas. Salienta-se ainda que exista exigência ambiental diferenciada entre os gêneros *Nopalea* e *Opuntia* de palma forrageira, pois, o gênero *Opuntia* apresenta menor sensibilidade à variação da temperatura do ar quando comparado ao gênero *Nopalea* (Edvan et al., 2020). As maiores intensidades de radiação solar global afetam mais os clones do gênero *Nopalea* do que do gênero *Opuntia* (Barbosa et al., 2018).

Dessa forma, fazem-se necessárias novas pesquisas relacionadas a escolha de cultivares associado às densidades de plantio para elucidar o comportamento vegetal em diferentes ambientes produtivos, a fim de contribuir com práticas específicas para a região e alcançar altos tetos produtivos (Donato, S., et al., 2017a). Na Bahia, Teles et al. (2024), trabalhando com as cultivares Gigante e Orelha de Elefante Mexicana, constataram que a modificação da configuração de plantio e o aumento da densidade de plantio resultam em maiores níveis de produtividades. Sendo assim, a busca por cultivares e densidades populacionais que permitam superar as intempéries bióticas e abióticas fazem-se necessárias para ajustes às especificidades locais de cada região de cultivo.

Neste contexto, devido ao fato que na Bahia os estudos foram principalmente com a palma forrageira ‘Gigante’ e se tem uma boa base de dados e informações acerca do sistema produtivo desta cultivar. Contudo, salienta-se que pesquisas com outras cultivares, em especial, resistentes a cochonilha-do-carmim, uma praga que recém-chegada na região, fazem-se necessárias

para diversificar o ambiente produtivo, promover segurança alimentar e contribuir para melhoria do manejo da palma forrageira no semiárido com a disponibilização de mais informações aos produtores.

Dessa forma objetivou-se avaliar o desempenho e a produtividade de biomassa das cultivares de palma forrageira, Gigante, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes densidades de plantio nas condições ambientais do semiárido baiano, região de Guanambi-BA.

Material e métodos

Localização da área experimental

A pesquisa foi conduzida em área experimental no setor de Agricultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, localizada no Distrito de Ceraíma no Município de Guanambi, Sudoeste da Bahia, com latitude de 14° 13' S, longitude de 42° 46' W, altitude de 545 m (Figura 1). O clima é semiárido quente e seco, com estação seca bem definida no inverno, a precipitação anual média é de 664,1 mm, com período chuvoso entre novembro a março e, a temperatura média de 26,0 °C, médias dos últimos 42 anos.

O período experimental foi de outubro de 2019 a agosto de 2021, correspondente ao primeiro ciclo de produção. Neste período, foram coletadas as variáveis meteorológicas: temperatura máxima e mínima, precipitação, umidade relativa, velocidade média do vento e evapotranspiração de referência por meio de uma estação meteorológica automática instalada próxima ao local do experimento (Figura 2).

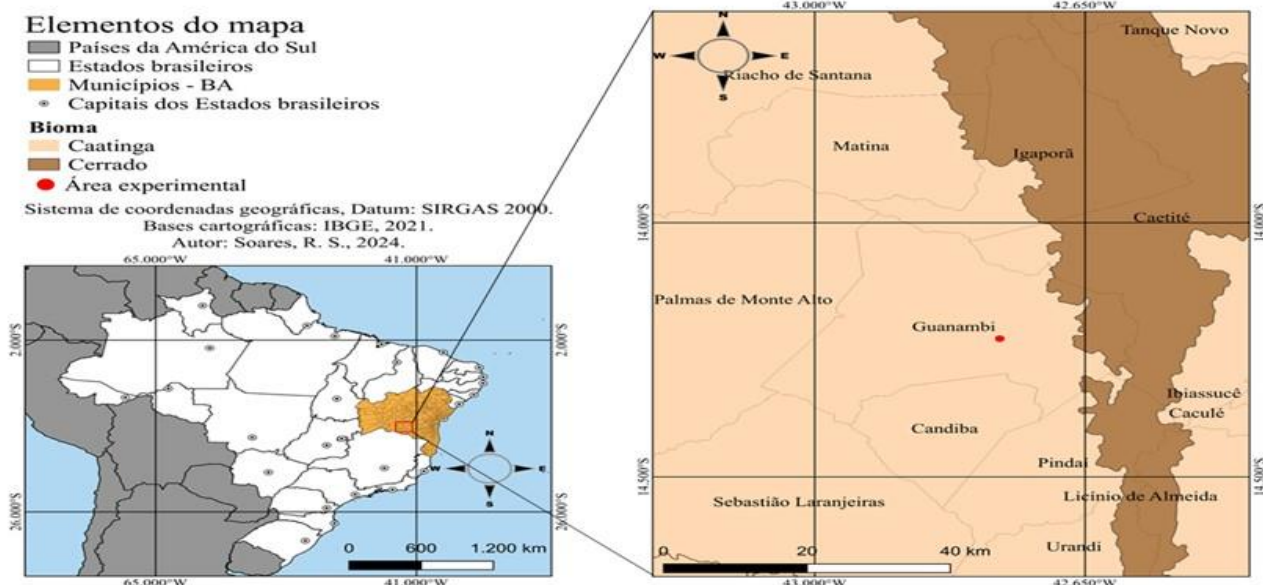


Figura 1. Localização da área experimental no município de Guanambi – BA.

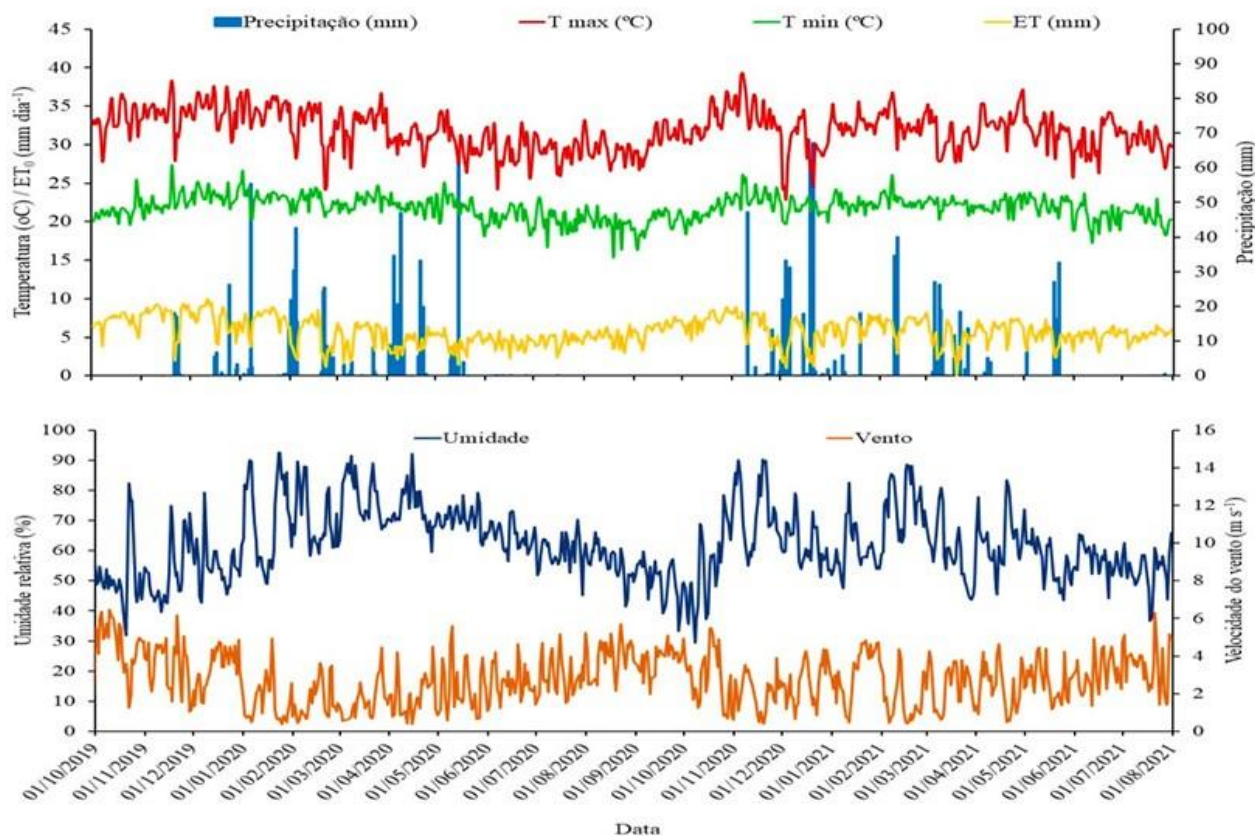


Figura 2. Temperatura máxima e mínima, evapotranspiração de referência, precipitação, umidade relativa e velocidade do vento durante o período experimental, Guanambi – BA.

Dados básicos Estação meteorológica automática do Instituto Federal Baiano *Campus* Guanambi.

Implantação e delineamento experimental

O preparo do solo foi realizado com uma aração seguido de gradagem. Posteriormente, os sulcos de plantio foram feitos com sulcador a uma profundidade de 20 cm e com espaçamento de 1 m onde foram acomodados os cladódios.

O plantio das cultivares de palma forrageira foi realizado na segunda quinzena de outubro de 2019, utilizando como referência as recomendações de Donato, P., et al. (2017c) para a seleção e tratamento dos cladódios utilizados como mudas, a adubação de fundação e o plantio. Os sulcos de plantio receberam a adubação de fundação com 150 kg ha⁻¹ de N na forma de sulfato de amônia dividido em duas aplicações, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em dose única, 300 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio dividido em duas aplicações e 90 Mg ha⁻¹ de esterco bovino, sendo 1/3 aplicado no plantio e 2/3 após o pegamento. Foram implantadas as cultivares Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e

Gigante (Figura 3A), onde os espaçamentos utilizados foram de 0,30; 0,15; 0,10; 0,075 m entre plantas e 1 m entre fileiras, dispostas em fileiras triplas, proporcionando populações com 20.000, 40.000, 60.000 e 80.000 plantas ha⁻¹ para cada cultivar.

O experimento foi constituído em blocos casualizados com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas com três cultivares nas parcelas (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Gigante) e quatro densidades de plantio (20.000, 40.000, 60.000, 80.000 plantas ha⁻¹) nas subparcelas, totalizando 12 tratamentos experimentais e 48 unidades amostrais. A unidade experimental foi constituída de uma fileira tripla de plantas com seis metros de comprimento, em que as plantas úteis estavam localizadas nas três fileiras e nos quatro metros centrais, retirando-se um metro de cada lado como bordadura, resultando em área útil de 20 m² (Figura 3B).

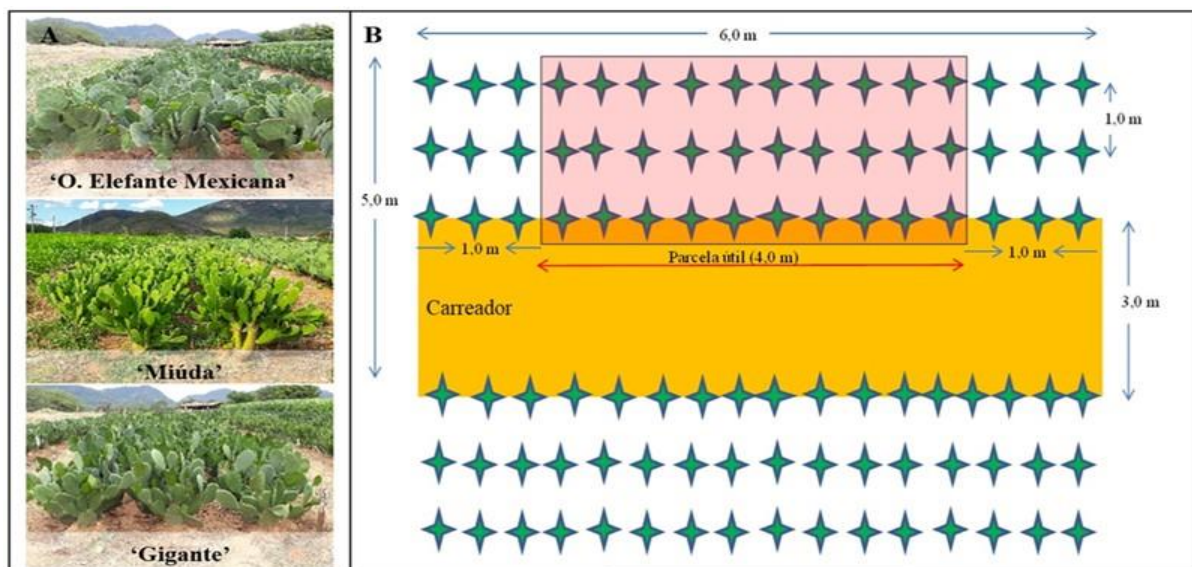


Figura 3. Cultivares Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Gigante (A) e disposição do croqui da unidade experimental (B).

Ao decorrer do experimento, todos os tratamentos culturais foram realizados, com o intuito de proporcionar as melhores condições de desenvolvimento para a cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado com uma capina com arado movido por tração animal, capina com enxada e herbicida. Não houve incidência de ataque de lagartas ou de cochonilha durante o estudo, não sendo necessário pulverizações com inseticidas. Aos 360 DAP foi realizada coleta de solo para análise química (Tabela 1), foram coletadas quatro amostras simples por parcela na

camada de 0 a 20 cm, nos quatro blocos, totalizando 16 amostras simples para formação de uma amostra composta. As amostras foram embaladas, etiquetadas e encaminhadas para laboratório de solos da EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS (EPAMIG) Nova Porteirinha, MG. A adubação de cobertura foi realizada quinze dias antes do período chuvoso, onde foram aplicados 90 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e 300 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental sob cada cultivar aos 360 dias após o plantio, Guanambi –BA.

Atributos	Unidade	Cultivar		
		OEM	Gigante	Miúda
pH ¹		5.7	5.7	5.6
MO ²	dag kg ⁻¹	0.9	1	1.1
P ³	mg dm ⁻³	76.6	88.1	83.1
K ³	mg dm ⁻³	219	335	315
Na ³	cmol _c dm ⁻³	0.1	0.1	0.1
Ca ⁴	cmol _c dm ⁻³	1.4	1.4	1.4
Mg ⁴	cmol _c dm ⁻³	0.6	0.5	0.5
Al ⁴	cmol _c dm ⁻³	0	0	0
H+Al ⁵	cmol _c dm ⁻³	1.7	1.7	1.7
SB	cmol _c dm ⁻³	2.6	2.9	2.8
t	cmol _c dm ⁻³	2.6	2.9	2.8
T	cmol _c dm ⁻³	4.3	4.6	4.5
V	%	60	62	62
m	%	0	0	0
B ⁶	mg dm ⁻³	0.3	0.3	0.4
Cu ³	mg dm ⁻³	0.4	0.4	0.4
Fe ³	mg dm ⁻³	28.3	33.2	31.5
Mn ³	mg dm ⁻³	48.9	49.5	50.1
Zn ³	mg dm ⁻³	40.3	44.3	26.3
P-rem ⁸	mg L ⁻¹	40.4	41.7	40.8
CE	dS m ⁻¹	0.4	0.6	0.6

¹pH em água; ²Colorimetria; ³Extrator: Mehlich⁻¹; ⁴Extrator: KCl 1 mol⁻¹L; ⁵pH SMP; ⁶Extrator: CaCl₂; ⁷Extrator: Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P em HOAc 2 mol L⁻¹; ⁸Solução equilíbrio de P, SB, Soma de bases; t, CTC efetiva; T, CTC a pH 7; V, Saturação por bases; m, Saturação por alumínio; P-rem, Fósforo remanescente; CE, Condutividade elétrica. dag kg⁻¹ = %; mg dm⁻³ = ppm; cmol_c dm⁻³ = meq 100 cm⁻³

Utilizando como base a composição química do esterco descrita por Donato et al. (2014a, b) tem-se: K, P e N com 5,2; 4,7; 2,5 em g kg⁻¹ nesta ordem. Foram aportados ao solo nas duas adubações (plantio e cobertura) 780-816-450 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente. Acrescentando a adubação química, houve um aporte de 930-966-1050 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente.

Variáveis analisadas

Ao final do ciclo, momentos antes da colheita, foram selecionadas quatro plantas dentro da parcela útil para a avaliação das seguintes variáveis: altura da planta, número de cladódios por planta, comprimento, largura e área dos cladódios. Para determinação da altura, largura da planta, comprimento e largura de cladódio foi utilizada uma trena milimetrada. Na medição de altura da planta considerou-se desde o solo até a extremidade do artícuo mais alto. A largura e comprimento dos cladódios considerou-se a região que apresenta maior valor, enquanto a espessura foi avaliada com uso de paquímetro digital, medindo a região mediana dos cladódios.

Com as medidas morfométricas dos cladódios, foi obtido o índice de área do cladódio (IAC), estimado pela multiplicação da área média do cladódio (considerando os dois lados) pelo número de cladódios da planta, obtendo-se a área total dos cladódios da planta e em seguida dividindo-a pela área ocupada por planta no solo (m² de área de cladódio m⁻² de solo). A área do cladódio foi obtida conforme adotado por Donato et al. (2014b) e Silva et al. (2016a) para a cultivar Gigante (Equação 1) e Silva, T., et al. (2014b) para as cultivares Orelha de Elefante Mexicana (Equação 2) e Miúda (Equação 3).

$$AC = CC*LC*0,693 \quad (1)$$

$$AC = \frac{0,7086*(1-\exp(-0,000045765*CC*LC))}{0,00004576} \quad (2)$$

$$AC = 0,7198*(CC*LC) \quad (3)$$

Onde:

AC = área do cladódio cm²;

CC = comprimento do cladódio cm;

LC = largura do cladódio cm;

0,693 = fator de correção para a forma de elipse do cladódio;

0,7086 e 0,7198 = fatores de correção.

Também foi realizada a pesagem de cada cladódio da planta avaliada, com auxílio de uma balança de campo, em seguida, foram somadas as massas dos cladódios, obtendo assim a massa total da parte colhida da planta.

Aos 600 DAP, época da colheita, foram avaliadas a produtividade de massa de matéria verde (PMV) (Mg ha⁻¹) e de matéria seca (PMS) (Mg ha⁻¹). Para a determinação da PMV, os cladódios da parcela útil foram colhidos inteiros, preservando os primários, e posteriormente pesados com o auxílio de uma balança de campo em quilogramas para obtenção da PMV. A PMS foi calculada em função do teor de matéria seca do tratamento (g kg⁻¹), determinado após secagem em estufa, multiplicado pela PMV.

Conforme a metodologia descrita por Donato et al. (2014b) para determinação do teor de matéria seca (MS), foram colhidas com o auxílio de uma serra copo (5,00 cm de diâmetro por 4,00 cm de profundidade) acoplada a uma furadeira à bateria, cerca de 45 amostras de 25 a 30 g em cada tratamento. Das amostras coletadas, foram pesados 1.000 g que, em seguida, foram segmentadas e depositadas em bandejas de alumínio devidamente pesadas e identificadas. Para determinar o peso das amostras antes de depositá-las na estufa foi utilizada uma balança analítica com precisão de duas casas decimais. Em seguida as bandejas foram depositadas em estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingir massa constante, após esse período realizou-se a pesagem das bandejas novamente (Figura 4). Por meio da razão entre massa seca e massa verde obteve-se o teor de matéria seca.



Figura 4. Coleta e preparo das amostras de tecido vegetal para determinação do teor de matéria seca das cultivares de palma forrageira.

Fonte: Soares, 2020.

Nota: A – Cladóídios de palma forrageira após retirada das amostras de tecido vegetal; B – Amostras pesadas, identificadas e encaminhadas ao laboratório; C – Segmentação e preparo das amostras; D – pesagem das amostras antes de levá-la a estufa; E – Material depositado para secagem em estufa à 65 °C por 72 horas; F – Pesagem das amostras após secagem para determinação do teor de matéria seca.

A produtividade da água de chuva (PAC) foi obtida pelo quociente entre a produtividade da cultura e a precipitação ocorrida durante o ciclo de produção (Equação 4). Foi determinada a produtividade da água de chuva com base na produtividade de matéria seca. Para calcular o volume de água acumulada fez-se a subtração da produtividade de massa de matéria verde pela produtividade de matéria seca e multiplicado por 1000 (Equação 5).

$$PAC = PMS/P \quad (4)$$

Onde:

PAC = produtividade da água de chuva kg MS ha⁻¹ mm⁻¹;

PMS = produtividade de matéria seca kg ha⁻¹;

P = precipitação mm.

$$VAC = (PMV - PMS)*1000 \quad (5)$$

Onde:

VAC = volume de água acumulada L ha⁻¹;

PMV = produtividade de massa de matéria verde kg ha⁻¹;

PMS = produtividade de matéria seca kg ha⁻¹.

Ao final da colheita foi contabilizado de forma direta o número de plantas mortas em cada tratamento.

Análise estatística

Os dados foram submetidos inicialmente ao teste de normalidade e homogeneidade e em seguida à análise de variância. Para as interações significativas foram ajustados modelos de regressão para o fator densidades de plantio dentro do fator cultivares. Na ausência de interações foram estudados os efeitos dos fatores principais com análise de regressão para as densidades de plantio e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância para as cultivares, por se tratar de três níveis qualitativos. A escolha dos modelos considerou a significância dos

coeficientes beta pelo teste t; a magnitude do coeficiente de determinação; a significância do quadrado médio da regressão, o melhor R² e a adequação do modelo ao fenômeno biológico estudado. As análises foram realizadas com auxílio do pacote "ExpDes.pt" (Ferreira et al., 2018) do programa estatístico "R" versão 4.2.1 (R CORE TEAM, 2022).

Resultados e discussão

Dentre as variáveis analisadas, altura da planta, plantas mortas e índice de área de cladódio apresentaram efeito da interação Cultivar x

Densidade (p≤0,05) (Tabela 2). As variáveis comprimento do cladódio, área do cladódio, número de cladódios, área total de cladódios, massa de matéria verde do cladódio e da planta e massa de matéria seca da planta foram influenciadas pela cultivar e densidade de plantio de forma independente (p≤0,05). Enquanto largura do cladódio e da planta, espessura do cladódio, massa de matéria seca do cladódio, teor de matéria seca, produtividade de massa de matéria verde, produtividade de matéria seca, eficiência de uso da água para produção de matéria seca e volume de água acumulado foram influenciadas apenas pela cultivar (p≤0,05).

Tabela 2. Resumo das análises de variância, com os respectivos quadrados médios, para variáveis morfológicas e produtivas para as cultivares Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e Gigante sob diferentes densidades de plantio, Guanambi – BA.

	Fonte de variação					
	Cultivar (C)	Bloco	Erro a	Densidade (D)	C x D	Erro b
GL	2	3	6	3	6	27
AP	4.034,90**	88,80 ^{NS}	122,60	483**	261,70*	102,70
LP	4.004,70**	214,20 ^{NS}	231,10	777,60 ^{NS}	321,30 ^{NS}	283,90
CC	379,84**	3,10 ^{NS}	3,98	3,85**	1,35 ^{NS}	0,57
LC	436,03**	1,68 ^{NS}	2,18	1,48 ^{NS}	0,68 ^{NS}	0,69
EC	104,09**	1,54 ^{NS}	4,05	2,75 ^{NS}	4,08 ^{NS}	2,65
AC	263.400**	2.291 ^{NS}	2.304	2.305*	1.009 ^{NS}	571
NC	37.333**	1.228 ^{NS}	891	3.049**	1.003 ^{NS}	470
ATC	8,63**	0,85 ^{NS}	0,67	8,77**	0,92 ^{NS}	0,62
IAC	212,97**	25,98 ^{NS}	11,99	336,01**	42,26**	11,98
PM	4,4x10 ⁹ **	9,6x10 ⁷ ^{NS}	9,1x10 ⁷	8,5x10 ⁸ **	4,1x10 ⁸ **	10x10 ⁶
MVC	981.704**	9.453 ^{NS}	9.969	19.660**	10.132 ^{NS}	4.989
MSC	3.095,96**	18,50 ^{NS}	33,11	62,79 ^{NS}	45,03 ^{NS}	21,75
MVP	458,89*	64,89 ^{NS}	43,00	741,76**	76,70 ^{NS}	49,51
MSP	2,15*	0,245 ^{NS}	0,23	2,87**	0,34 ^{NS}	0,21
MS	316,91**	139,84*	26,73	1,79 ^{NS}	7,87 ^{NS}	7,49
PMV	203.780**	29.651 ^{NS}	16.050	5.901 ^{NS}	5.871 ^{NS}	6.969
PMS	660,17*	240,86 ^{NS}	66,58	23,49 ^{NS}	26,29 ^{NS}	23,05
PACPMS	347,28*	126,72 ^{NS}	35,03	12,36 ^{NS}	13,83 ^{NS}	12,13
VAC	1,82x10 ¹¹ **	2,46x10 ¹⁰ ^{NS}	1,41x10 ¹⁰	5,13x10 ⁹ ^{NS}	5,09x10 ⁹ ^{NS}	6,2x10 ⁹

Nota: GL – graus de liberdade; AP – altura da planta; LP – largura da planta; CC – comprimento do cladódio; LC – largura do cladódio; EC – espessura do cladódio; AC – área do cladódio; NC – número de cladódios; ATC – área total de cladódios; IAC – índice de área de cladódio; PM – plantas mortas; MVC – massa de matéria verde do cladódio; MSC – massa de matéria seca do cladódio; MVP – massa de matéria verde da planta; MSP – massa de matéria seca da planta; MS – teor de matéria seca; PMV – produtividade de massa de matéria verde; PMS – produtividade de matéria seca; PACPMS – produtividade da água de chuva para produção de matéria seca; VAC – volume de água acumulado.

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

A altura da planta (Figura 5A) na cultivar Miúda foi similar entre as densidades de plantio, com valor médio de 126,95 cm. Isso pode ser justificado pelo alto índice de mortalidade dessa

cultivar, proporcionando às plantas que sobreviveram, condições satisfatórias de água, luz e nutrientes para seu pleno crescimento. Para a cultivar OEM não houve ajuste de modelo que

explicasse o fenômeno biológico, sendo observado uma oscilação da altura com o aumento da densidade, resultado semelhante ao encontrado por Carvalho et al. (2021) e Pereira et al. (2022). Por ser uma planta de hábito de crescimento lateral, mais prostrado e porte baixo (Silva et al., 2017), é justificado sua indiferença ao adensamento.

Para a cultivar Gigante a altura decresceu de forma linear com o aumento da densidade de plantio, com redução de 16,46% da menor para a maior densidade. Estudos semelhantes, Silva, L., et al. (2014), Silva et al. (2016) e Pereira et al. (2022) demonstram que palmais menos adensados promovem maior altura da planta em virtude da maior área de exploração das raízes.

Conforme o incremento no estande de plantas, a competição por água, luz e nutrientes aumenta devido ao confinamento a um determinado volume de solo a ser explorado, onde há uma maior disputa por nutrientes móveis, e quando ocorre o contato entre raízes de plantas distintas, essas competem pelo nutriente pouco móvel, a exemplo do fósforo (Araújo et al., 2023), o que reflete em menor crescimento da planta. Dentre as cultivares, a Gigante apresentou maior altura independente da densidade de plantio, característica marcante desse genótipo com porte ereto, quando comparado com a Miúda e OEM.

A largura da planta não sofreu influência com o aumento populacional (Tabela 3), onde se encontrou maior valor para a cultivar Miúda com 19,66 e 14,68% superior a Gigante e a OEM, respectivamente. Uma das razões para esse resultado está na sua arquitetura com caule ramificado (Silva et al., 2017), devido à constante emissão de cladódios ao longo ciclo, o que proporciona sua expansão lateral em relação às demais cultivares (Santos et al., 2024a). Assim como, a redução do estande devido ao alto índice de mortalidade, o que proporcionou maior espaço para seu crescimento lateral e absorção de água e nutrientes.

A quantidade de plantas mortas (Figura 5B), não diferiu entre as cultivares para a população de 20.000 plantas ha⁻¹, porém com o aumento no estande de plantas observou-se efeito linear crescente para as cultivares OEM e Miúda, o que permite estimar um aumento de 2.816 e 16.484 plantas mortas, respectivamente, a cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹. A mortalidade para a cultivar Gigante não foi influenciada pela densidade de plantio, o que representa maior adaptação a condições ambientais e maior tolerância a problemas bióticos causados por *Fusarium* e *Pectobacterium* que contribuíram para redução do estande na área.

O aumento da mortalidade, conforme o incremento da densidade, está relacionado a competição por nutrientes, luz e água, elementos essenciais para manutenção do vigor da planta, além do efeito sombreamento que reduz a atividade fotossintética, aumenta o número de plantas sufocadas e demanda da planta gasto de reservas para se manter, chegando a um ponto de exaustão. Junto a esse fator, está a qualidade e vigor das mudas, onde o conteúdo de reserva é indispensável à planta durante o período de pegamento e início das chuvas, onde serão emitidas raízes durante o período seco, tendo o cladódio como fonte de sustentação a esse dreno (Ruths et al., 2021).

A cultivar Miúda apresentou mortalidade superior em detrimento as demais. Isso se justifica, devido ao fato que o gênero *Nopalea* não se adaptar as condições estressante (Barbosa et al., 2018; Edvan et al., 2020). Dentre essas, as altas temperaturas e o déficit hídrico, resultam em menor abertura estomática, taxa de transpiração e assimilação de gás carbônico, afetando seu metabolismo com considerável dano ao aparelho fotossintético (Jardim, et al., 2021), visto que não há uma taxa considerável de transpiração para dissipar o calor gerado pelo excesso de radiação fotossinteticamente ativa (Alves et al., 2020). Os elevados índices produtivos dessa cultivar em áreas irrigadas (Castro et al., 2020) está relacionado a uma maior taxa de transpiração, que é uma estratégia de resfriamento da planta em ambientes de elevadas temperaturas (Aparecido et al., 2020).

Além disso, esse gênero é considerado susceptível ao ataque de patógenos de solo, como *Fusarium* e *Pectobacterium* (Macêdo et al., 2020), uma vez que o adensamento promove sobreposição de raízes e maior facilidade de transmissão do patógeno, o que foi verificado em campo, sendo possível afirmar que este foi o principal fator de mortalidade, visto que as demais plantas que sobreviveram apresentavam pleno vigor.

Para índice de área de cladódio houve ajuste de modelo linear crescente (Figura 5C). Foi observado um aumento para as cultivares Orelha de Elefante Mexicana e Miúda de 139,38% e 144,20%, respectivamente da menor para a maior densidade de plantio. O modelo permite estimar um acréscimo de 4 m² e 6 m² m⁻² para cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ para as cultivares Orelha de Elefante Mexicana e Miúda, respectivamente. O aumento da densidade não influenciou o IAC na cultivar Gigante.

Nas populações de 20.000 e 40.000 plantas ha⁻¹ os IACs não diferiram entre as cultivares. A cultivar OEM apresentou maior IAC na população de 60.000 plantas ha⁻¹ seguida pela Miúda,

enquanto na população de 80.000 plantas ha⁻¹ a Miúda foi superior as demais. Essa duas cultivares lideraram pelo fato da cultivar OEM possuir maior área de cladódio e a Miúda maior número de cladódios, característica que compensa sua área de cladódio diminuta.

O IAC é resultante da área total de cladódio pelo espaço ocupado pela planta no solo, observado nesse estudo a redução das características morfológicas, sendo atribuído o aumento do IAC ao incremento na densidade de plantio, conforme observado em diversos estudos (Cavalcanti et al., 2014; Silva, L., et al., 2014; Fonseca et al., 2020, 2023). Apesar da ocorrência de redução das características morfométricas da planta (Figura 6B e 7B) os valores encontrados de IAC são muito superiores aos citados na literatura, onde a justificativa se encontra no número médio de cladódios e a área total por planta.

O aumento no índice de área de cladódio tem demonstrado efeito significativo na produção

de massa de matéria verde e matéria seca (Silva et al., 2020), devido à maior interceptação da radiação fotossintética ativa e conversão em fotoassimilados pela planta. Nobel (2001), relata que IAC em torno de 4 a 5 m² m⁻², que representa interceptação de 95% da radiação solar, proporcionam maior produtividade, enquanto valores de IAC superiores promovem sua redução, ocasionado por maior sombreamento entre plantas e redução no desenvolvimento e ganho de massa, o que pode ser comprovado no presente estudo e em trabalhos como os Fonseca et al. (2019; 2021). Em síntese, significa que aumentos de IAC acima de 5 não traduzem necessariamente em aumentos de produtividades, então não se justifica aumentos de densidades de plantio quando densidades menores já propiciam valores de IAC dessa magnitude, o que resultaria apenas em aumento de custos com maior quantidade de mudas para implantação de lavoura.

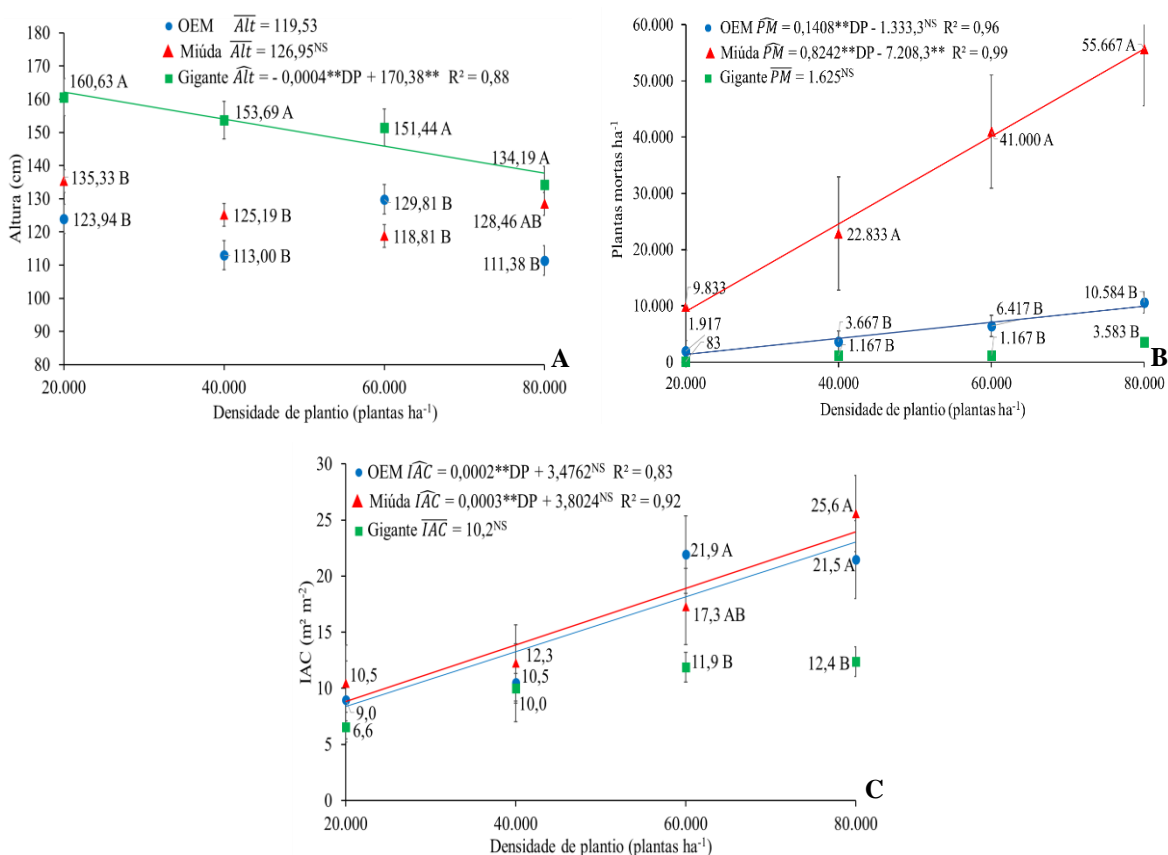


Figura 5. Altura da planta (A), número de plantas mortas (B) e índice de área de cladódios em cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio, Guanambi – BA. Letras iguais na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. R² - Coeficiente de determinação; ^{NS} não significativo, *significativo a 5% pelo teste t, **significativo a 1% pelo teste t.

A massa de matéria verde do cladódio apresentou uma redução linear, com a massa

decrecendo da menor para a maior densidade de 591,70 para 501,91 g, com uma redução estimada

de 26 g para cada aumento de 20.000 plantas ha⁻¹ (Figura 6A). A cultivar Gigante foi a que apresentou a maior média, o que é justificado pelo maior comprimento e espessura do cladódio, proporcionando maior capacidade de armazenamento de água (Tabela 3). Com uma média de 271,11 g, a Miúda foi inferior as demais cultivares em virtude da dimensão de seu cladódio (Tabela 3). A redução na massa de matéria verde dos cladódios resulta em menor capacidade de acúmulo de água, devido aos menores valores de área e espessura do cladódio, alteração utilizada pela planta para intensificar a eficiência de uso da água (Silva et al., 2021), assim como, a disputa interespecífica com as plantas vizinhas por esse elemento.

A cultivar Gigante expressou maior massa de matéria seca do cladódio, com 15 e 61,58% superior a OEM e Miúda, respectivamente (Tabela 3).

O número de cladódios por planta se ajustou a um modelo linear, com uma redução de 35,95% da menor para maior densidade (Figura 6B), o que representa um decréscimo de 10 cladódios para cada aumento de 20.000 plantas no estande. A redução do número de cladódios é resultado da restrição espacial na qual a planta está submetida (Fonseca et al., 2020), tanto da parte aérea, como luz e sombra, como também do sistema radicular, o qual é limitado a certa quantidade de água e nutrientes. Apesar de ocorrer redução no número de cladódios, percebe uma certa estabilidade a partir de 40.000 plantas ha⁻¹, isso pode ser uma estratégia que a planta utiliza para aumentar a captação de luz, uma vez que a alongação do cladódio é pouco eficiente e limitada geneticamente. Dessa forma, modificar a orientação e emitir novos cladódios permite a planta sair da zona de sombreamento e captar a radiação solar incidente (Drezner, 2020; Pereira et al., 2022).

Apesar da diminuição no número de cladódios por planta, a quantidade avaliada no presente estudo é superior à relatada em trabalhos semelhantes (Cavalcanti et al., 2014; Silva, L., et al., 2014; Silva et al., 2015; Silva et al., 2019; Fonseca et al., 2020), isso se deve ao longo período de cultivo para a primeira colheita, 600 dias, o que em uma maior exposição ao volume de chuva (1.378,81 mm), além da realização da adubação de cobertura aos 360 DAP proporcionando maior aporte de nutrientes às plantas.

A presença da chuva proporcionou um solo úmido, condição ideal para os microrganismos decomporem a matéria orgânica e mineralizarem os nutrientes, tornando-os prontamente disponíveis

para a absorção pelas plantas. Devido ao fato de a palma forrageira apresentar alta densidade de raízes na profundidade de 0,15 m e a curtas distâncias da planta (Castro et al., 2021; Fonseca et al., 2022), houve um melhor aproveitamento da adubação, contribuindo para o desenvolvimento vigoroso da planta.

Dentre as cultivares, a Miúda apresentou maior número de cladódios por planta (Tabela 3), com 178,24 e 286,49% a mais que os clones OEM e Gigante, respectivamente. O número expressivo de cladódios é característico do gênero *Nopalea* (Ramos et al., 2021), com predominância de cladódios superiores à terceira ordem (Nunes et al., 2021). Em razão da morfologia do cladódio, um maior número de cladódios em diferentes ordens fora emitido como estratégia da planta para interceptar a radiação solar incidente, acrescido da taxa de mortalidade nas parcelas, o que proporcionou maior espaço para desenvolvimento e captação de luz, absorção de nutrientes e água. As demais cultivares não se diferiram estatisticamente.

A massa de matéria verde da planta, reflexo do conteúdo de água armazenada, se ajustou a um modelo linear (Figura 6C), apresentando uma redução de 40,29%, da população de 20.000 para 40.000 plantas ha⁻¹, porém alcançando uma certa estabilidade a partir dessa população, o que é justificado pela baixa variação do número de cladódios a partir dessa densidade e da área total de cladódios, resultando em maior acúmulo de reserva pela planta, sendo justificado pela diminuição da massa de matéria seca da planta (Figura 6D). A cultivar Miúda apresentou maior massa de matéria verde (Tabela 3), em virtude do maior número de cladódios, o que resulta em maior espaço para acúmulo de água. As demais cultivares não se diferiram.

Matos et al. (2020) observaram diferença entre a massa de matéria verde do cladódio conforme a mudança dos agroecossistemas, onde a densidade de plantio teve influência na massa do cladódio, assim como as características edafoclimáticas de cada sistema de produção.

A massa de matéria seca da planta, se comportou de forma semelhante, com uma redução de 40,69%, da população de 20.000 para 40.000 plantas ha⁻¹ (Figura 6D). A redução da massa de matéria seca por planta, entre muitas variáveis, está relacionada ao déficit hídrico, onde ocorre uma redução da parte aérea, como pode ser justificado pela redução das variáveis morfológicas, e translocação de fotoassimilados para as raízes com o intuito de se expandir e buscar água em maiores distâncias (Manikanta et al., 2020). Aliado a esse fator, tem-se que a palma forrageira tem como

característica o acúmulo de água nos tecidos parenquimáticos de seus cladódios sob condições

favoráveis de umidade para posterior utilização na estação seca.

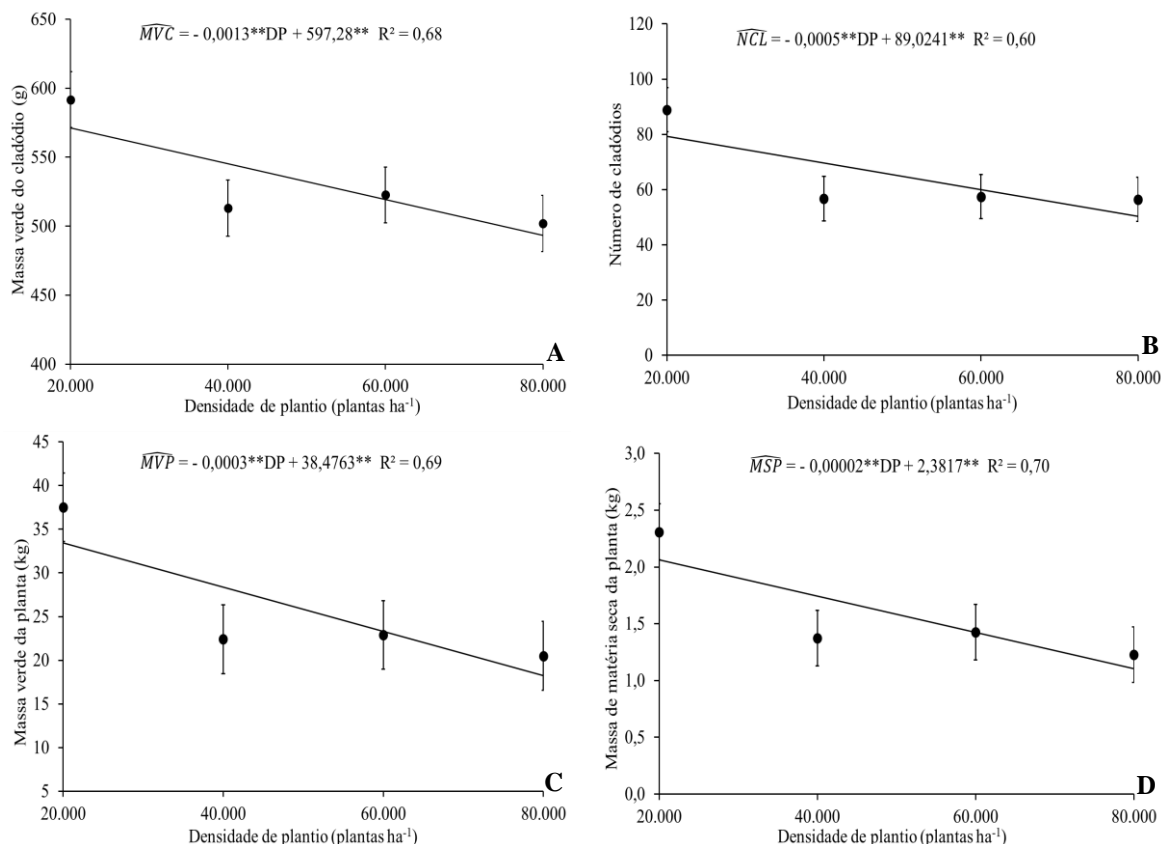


Figura 6. Massa de matéria verde do cladódio (A), Número de cladódios (B), Massa de matéria verde da planta (C) e Massa de matéria seca da planta (D) de cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio, Guanambi – BA.

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

Com o aumento da densidade de plantio houve decréscimo na área do cladódio, com uma redução 32,48 cm² da menor para a maior população (Figura 7A). Foi observado uma pequena elevação na população de 60.000 plantas ha⁻¹, que apesar de ter sofrido influência do aumento populacional, esses cladódios podem ter se expandido em direção à luz devido a sua menor incidência (Rocha et al., 2017), como também a taxa de interceptação de luz entre as populações de 40.000 e 60.000 plantas pode ter se tornado semelhante devido à redução no porte da planta, o número de cladódios e taxa de mortalidade. As cultivares Orelha de Elefante Mexicana e Gigante apresentaram maior área (Tabela 3), o que já era de se esperar devido as maiores dimensões dos cladódios do gênero *Opuntia*.

A área total de cladódios apresentou resposta linear negativa ao aumento populacional (Figura 7B). Com um estande de 80.000 plantas ha⁻¹

¹ houve uma redução de 42,85% da área total de cladódios em relação a 20.000 plantas ha⁻¹ onde a maior queda foi até a população de 40.000 plantas ha⁻¹ com decréscimo de 1,63 m², a partir desse ponto a redução foi pouco expressiva. Essa estabilidade está relacionada ao número de cladódios que se comportou de forma semelhante, associado a estabilidade na largura dos cladódios.

A Orelha de Elefante Mexicana com maior largura de cladódios e com um número expressivo de cladódios possibilitou maior área total de cladódios, o que resulta em maior área de captação de luz (Tabela 3). De forma semelhante, a cultivar Miúda apresentou maior área total de cladódios, isso foi possível devido ao elevado número de cladódios na planta. O menor valor foi encontrado para a Gigante em virtude do menor número de cladódios.

Nunes et al. (2021), encontraram os maiores índices de cobertura do solo, variável que

está relacionado com o IAC, nas cultivares Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, em virtude do maior número (Castro et al., 2020) e dimensões do cladódio (Lima et al., 2020).

O comprimento do cladódio sofreu redução de 1,35 cm da menor para a maior densidade, onde se comportou de forma linear (Figura 7C). Uma das possíveis explicações para

uma baixa redução está relacionada com o regime hídrico e as adubações realizadas, o que proporcionam condições ótimas ao seu desenvolvimento (Xavier et al., 2020). A cultivar Gigante apresentou maior comprimento de cladódio, com 5,20 cm e 9,70 cm superior aos genótipos Orelha de Elefante Mexicana e Miúda, respectivamente.

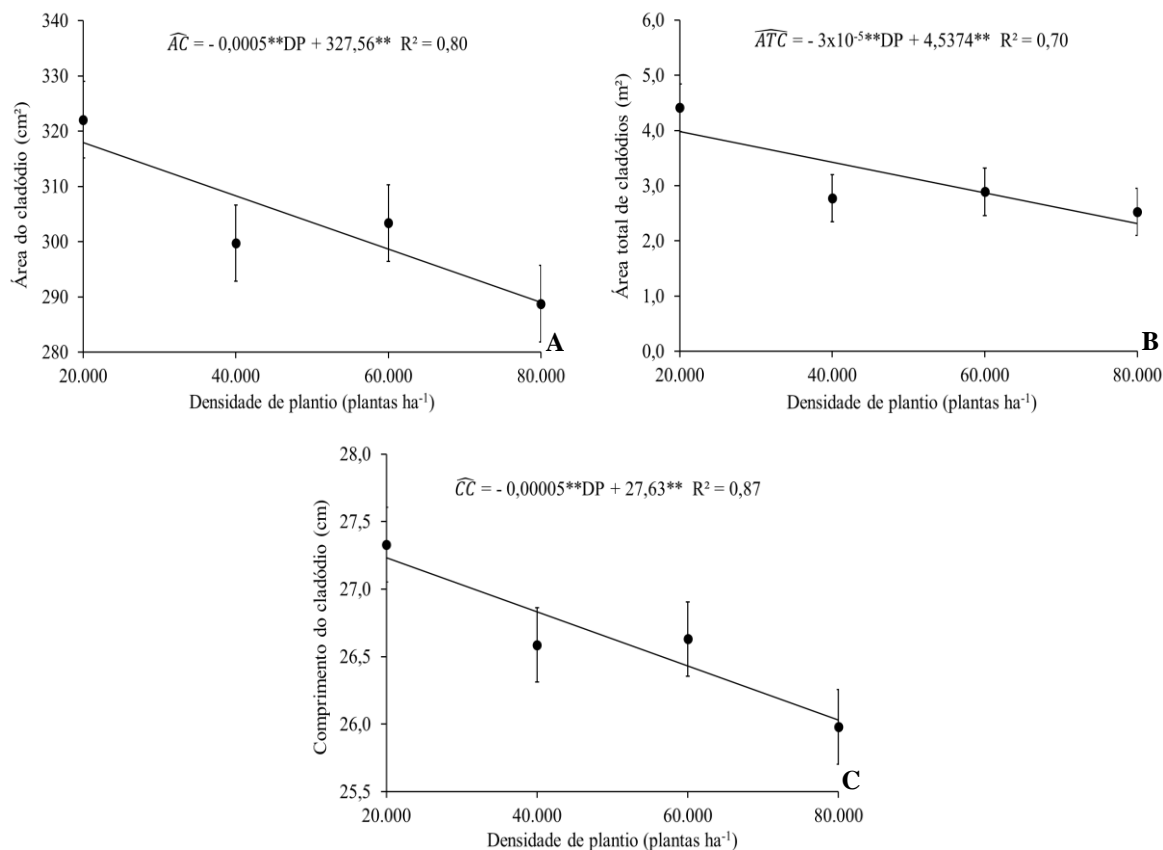


Figura 7. Área do cladódio (A), Área total de cladódios (B), Comprimento do cladódio (C) de cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio, Guanambi – BA.

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

A largura do cladódio não foi influenciada pelo aumento populacional, onde a Orelha de Elefante Mexicana apresentou maior largura de cladódios com 19,50 e 52% superior a Gigante e Miúda, respectivamente (Tabela 3), sequência semelhante à encontrada por Rocha, Voltolini & Gava (2017). A espessura do cladódio também não apresentou variação ao adensamento (Tabela 3), onde a cultivar Gigante se destacou com a maior espessura e por consequência maior capacidade de armazenamento de água, uma vez que essa variável é reflexo do estado de hidratação da planta (Fonseca et al., 2023), o que lhe permite suportar extensos períodos de estiagem com atividade fotossintética e ganho de biomassa (Zañudo-Hernandez et al., 2010).

O teor de matéria seca não apresentou alterações com o aumento da densidade de plantio, tendo apenas diferenças entre as cultivares, com a Orelha de Elefante Mexicana e Miúda com maior percentual, porém teores baixos quando comparados aos da literatura por se tratar de cultivo em sequeiro (Pessoa et al., 2020; Rocha Filho et al., 2021; Matos et al., 2024). Para a OEM esse valor se dá pelo menor conteúdo de água em seus cladódios juvenis, onde foi observado certa flacidez em suas raquetes, porém a espessura média dos cladódios é superior à encontrada nos experimentos de Xavier et al. (2020) e Pereira et al. (2021) onde trabalharam com a cultivar OEM em sistema irrigado. Para a cultivar Miúda esse valor se justifica em virtude do maior número de cladódios por planta (Tabela 3), onde há a

necessidade de depositar lignina em seus feixes vasculares para suporte de novas estruturas vegetativas. A Gigante, por apresentar menos cladódios, uma área relativamente grande e maior espessura dentre as demais, expressou pleno potencial de acúmulo de água.

Dentre os fatores que contribuem para a variação do teor de matéria seca na palma, estão, porte da planta, idade, disponibilidade hídrica e a adubação. A oferta hídrica durante o período experimental foi razoável com uma boa distribuição ao longo do tempo (Figura 2), o que permitiu uma absorção gradativa da água no solo. Junto a esse fator está a decomposição do material orgânico adicionado, esterco, de forma gradual ao longo do período chuvoso, seja pela ação física da gota de chuva como também pela ação de microrganismos, o que permitiu a mineralização e oferta progressiva de nutrientes as plantas e certas melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (Holanda et al., 2021), como maior aeração, retenção de água, estruturação e em especial a CTC efetiva, o que permite maior disponibilidade de nutrientes para a planta ao longo do ciclo, promovendo assim maior crescimento e desenvolvimento da planta.

Barros et al. (2016), verificaram decréscimo no teor de matéria seca com o aumento nas doses de esterco, tendo um decréscimo de 0,88% de 0 para 90 Mg ha⁻¹, alcançando para a maior dose, um teor de 58,8 g kg⁻¹ de MS. A adubação aplicada neste estudo foi suficiente para proporcionar a planta condições ideais para o seu crescimento e desenvolvimento, com maior acúmulo de água em seus cladódios. Vale acrescentar, que a adubação potássica influencia, dentre inúmeras funções na planta, o controle osmótico, que causa uma redução do potencial hídrico da planta, provocando maior absorção e acúmulo de água em seus tecidos (Farahani et al., 2019; Freire et al., 2021; Fang et al., 2022), o que é justificado pela maior concentração e exportação em seus cladódios (Lédo et al., 2020; 2021).

Para a produtividade de massa de matéria verde, houve efeito apenas de cultivar, onde a Gigante e Orelha de Elefante Mexicana apresentaram produção similar estatisticamente. Teles et al. (2024), trabalharam com essas cultivares e observam efeito da densidade de plantio sobre a produtividade de massa de matéria verde. Fonseca et al. (2020; 2023), conduziram ensaio com a cultivar Gigante, na mesma região, e observaram incremento na produtividade de massa de matéria verde com o aumento da densidade de plantio, com máxima produção entre 60.000 e 70.000 plantas ha⁻¹. A diferença entre os resultados

deste trabalho com os da literatura envolve fatores como condições ambientais e de manejo, fertilidade do solo, adubação com maior aporte de nutrientes e implantação da lavoura com mudas vigorosas.

Uma das possíveis justificativas para a ausência de variação na produtividade em função das densidades de plantio está na redução das características morfológicas, número de cladódios (Figura 6B), área total de cladódios (Figura 7B), redução da altura (Figura 5A), massa de matéria verde dos cladódios (Figura 6A) e por consequência da planta (Figura 6C). Junto a esses fatores, está o tempo de cultivo, uma vez que a colheita foi realizada aos 600 DAP, na qual as plantas sob densidades maiores reduziram seu desenvolvimento devido à competição interespecífica, ao passo que plantas mais espaçadas obtiveram maior aproveitamento da água e dos nutrientes disponibilizados via adubação possibilitando maior crescimento e acúmulo de reservas (Pereira et al., 2022).

A cultivar Miúda apresentou a menor produtividade em virtude da sua alta taxa de mortalidade (Figura 5B), o que deve ser investigado de forma mais criteriosa a causa de suas mortes, tendo com hipótese a alta incidência de *Fusarium* na área experimental, uma vez que estudos realizados no setor de agricultura comprovam a sua existência (Carvalho et al., 2021).

A produtividade de matéria seca foi liderada pelas cultivares Gigante e Orelha de Elefante Mexicana, uma vez que esta variável está associada a produtividade de massa matéria verde e teor de matéria seca. Não houve efeito na produtividade conforme o aumento da densidade de plantio. Dessa forma, é possível afirmar que palméis menos densos podem apresentar produção semelhante aos de elevada população, ao contrário de muitos estudos, onde o aumento no estande de plantas proporciona maiores produtividades, em virtude do efeito quantidade de plantas por metro (Cavalcanti et al., 2014; Lemos et al., 2021; Pereira et al., 2022; Santos et al., 2024b; Silva 2024).

Vale ressaltar que a disposição das plantas foi em arranjo mecanizável, com espaçamento entre linhas fixo, onde foi alterado apenas o espaço entre plantas. Dessa forma, agravou-se o efeito do adensamento, com uma maior restrição de espaço entre plantas, mesmo com densidades elevadas, o que impossibilitou o pleno desenvolvimento, devido à restrição dos recursos essenciais. Donato et al. (2014b) verificaram redução na produção de matéria seca quando alteraram o arranjo de plantas e mantiveram a população fixa, com menor

produção para o arranjo que proporcionou o menor espaçamento entre plantas.

Apesar dos resultados mostrarem semelhança entre as densidades, para a produção de matéria verde e de matéria seca, indicando que uma população menor tem maior eficiência econômica (Santos et al., 2024b), é necessário avaliar mais ciclos produtivos, pois as condições ambientais favoreceram a produção, porém em condições de má distribuição de chuvas e déficit hídrico, pode ocorrer efeito da densidade de plantio sobre a produção, devido à menor desenvolvimento das plantas, onde o efeito quantidade será significativo sob a produtividade.

Com apenas efeito de cultivar, a OEM e Gigante lideraram a produtividade da água de chuva (PAC) para produção de matéria seca, com 37,56 e 36,12% superior à Miúda, respectivamente. Como justificado, a Miúda permaneceu inferior as demais devido às mortes no estande de plantas. Léo et al. (2019) encontraram PAC média de 18,4 e 20,8 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para a cultivar Gigante conduzida sob sequeiro nos ciclos II e III para adubações com maior aporte de nutrientes, enquanto Ramos et al., (2021) verificaram diferentes valores de PAC para 34 genótipos de palma forrageira em sistema de sequeiro aos 330 DAP com genótipos apresentando de 3 a 52,6 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹.

Em sistema irrigado, Rocha, Voltolini & Gava (2017) encontraram produtividade da água de Irrigação (PAI) de 160,59, 126,42 e 124,22 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹ para intervalos de corte de 4, 12 e 16 meses respectivamente. Valores elevados são consequência do menor estresse provocado à planta, com fornecimento de água e adubos via fertirrigação, o que permitem a planta condições ideais para seu desenvolvimento. Castro et al., (2020) encontraram PAI de 19,50 kg ha⁻¹ mm⁻¹ com suprimento hídrico de 15,65% da evapotranspiração de referência para a cultivar Miúda. Sob diferentes sistemas de irrigação, Reis

Filho et al. (2022) encontraram para a cultivar OEM com frequência de colheita aos 18 meses PAI de 8,2 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹.

A produtividade da água consiste na conversão da água precipitada ou transpirada em biomassa, o que se torna uma variável de suma importância para as plantas de regiões semiáridas, onde as chuvas são irregulares e de baixa intensidade, tendo as plantas condições limitantes ao seu desenvolvimento. Os valores de produtividade da água podem oscilar conforme o volume precipitado ou irrigado (Fonseca et al., 2019), cultivar e intervalo de corte (Rocha, Voltolini; Gava, 2017), densidade de plantio (Fonseca et al., 2023), adubação (Léo et al., 2019), dentre outros fatores, além do método de estimativa. Vale ressaltar que o método utilizado para quantificar a PAC neste trabalho não considerou a água perdida por escoamento superficial, drenagem profunda e evaporação, o que contribui para a subestimação dessa variável.

O volume de água acumulado (VAC) não foi influenciado pelas densidades de plantio, apenas pelas cultivares, onde a Gigante e OEM lideraram com volume estatisticamente similar, com 42,16 e 33,31% superior à Miúda, respectivamente. Esse resultado é consequência de uma alta produtividade de massa de matéria verde e baixo teor de matéria seca. Os resultados encontrados foram superiores aos relatados por Souza et al., (2019) que trabalharam com seis genótipos de palma forrageira, onde a maior média foi de 210.875 L ha⁻¹ aos 360 DAP com volume de precipitação de 451,60 mm.

A adição de palma forrageira na dieta de ruminantes reduz o consumo de água pelos animais (Albuquerque et al., 2020; Sá et al., 2021), dessa forma, quantificar o volume de água armazenada permite estimar o suprimento hídrico do rebanho em estações secas, onde a quantidade e a qualidade da água fornecida a esses animais são reduzidas.

Tabela 3. Médias da largura da planta, comprimento, largura, espessura, área, área total e número de cladódios, teor de matéria seca, produtividade de massa de matéria verde e matéria seca, eficiência no uso da água e volume de água acumulada nas cultivares de palma forrageira Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e Gigante sob diferentes densidades de plantio, Guanambi – BA.

Variáveis	Cultivares			
	O.E.M	Miúda	Gigante	CV (%)
Largura da planta (cm)	131,92 b	154,62 a	124,18 b	11,1
Comprimento cladódio (cm)	26,37 b	21,91 c	31,64 a	7,48
Largura cladódio (cm)	19,95 a	9,62 c	16,11 b	9,69
Espessura cladódio (mm)	16,42 b	18,74 ab	21,52 a	10,65
Área do cladódio (cm ²)	385,85 a	155,66 b	368,97 a	15,81
Área total cladódio (m ²)	3,38 a	3,73 a	2,32 b	46,03
Nº de cladódios	43,25 b	120,18 a	31,11 b	26,04
Massa de matéria verde do cladódio (g)	562,06 b	271,11 c	763,83 a	18,75
Massa de matéria seca do cladódio (g)	36,82 b	16,64 c	43,32 a	17,83
Massa de matéria verde planta (kg)	23,67 b	31,93 a	21,90 b	25,38
Massa seca da planta (kg)	1,54 ab	1,96 a	1,24 b	30,17
Matéria seca (g kg ⁻¹)	65,71 a	61,41 ab	56,81 b	8,43
Prod. de massa de matéria verde (Mg ha ⁻¹)	460,27 a	305,76 b	525,50 a	29,43
Produtividade de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	30,47 a	19,02 b	29,78 a	30,87
PACPMS (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	22,11 a	13,8 b	21,60 a	30,87
VAC (L ha ⁻¹)	429.933,2 a	286.732,5 b	495.714,3 a	29,43

PACPMS – Produtividade da água para produtividade de matéria seca; VAC – volume de água acumulada. Letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Conclusões

O aumento da densidade de plantio em interação com as cultivares proporciona decréscimo na altura das plantas e incrementos no índice de área de cladódios e na mortalidade das plantas.

As cultivares Orelha de Elefante Mexicana e Gigante apresentam produtividades de massa de matéria verde e matéria seca semelhantes.

A cultivar Miúda é menos produtiva nas mesmas condições ambientais e de manejo por limitações bióticas e abióticas que resultam em falhas no estande.

Quando as condições ambientais e de manejo propiciam índices de área de cladódios acima de 5 m² m⁻² o aumento da densidade de plantio acima de 20.000 plantas ha⁻¹ não influencia o teor de matéria seca, as produtividades de massa de matéria verde e matéria seca nas cultivares de palma forrageira Gigante, Orelha de Elefante Mexicana e Miúda.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa da Bahia e à PROPES IF Baiano.

Referências

- Albuquerque, I., Araújo, G., Santos, F., Carvalho, G., Santos, E., Nobre, I., Bezerra, L., Silva-Júnior, J., Silva-Filho, E., Oliveira, R., 2020. Performance, body water balance, ingestive behavior and blood metabolites in goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) silage subjected to an intermittent water supply. Sustainability [Online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12072881>. Acesso em: 17 mar. 2024.
- Alves, F. A. L., Santos, D. C. dos., Silva, S. M. S., Silva, M. da C., Mello, D. R. de., 2020. Metabolismo fotossintético de variedades de

- palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. Pesquisa Agropecuária Pernambucana [Online] 25. Disponível em: <https://doi.org/10.12661/pap.2020.009>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- Amorim, P. L., Martuscello, J. A., Araújo Filho, J. T., Cunha, D. N. F. V., Jank, L., 2015. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. Revista Caatinga [Online] 28. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n326rc>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- Aparecido, L. M. T., Woo, S., Suazo, C., Hultine, K. R., & Blonder, B., 2020. High water use in desert plants exposed to extreme heat. Ecology Letters [Online] 23. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.13516>. Acesso em 11 mar. 2024.
- Araújo, C. de A., Araújo, G. G. L. de., Novaes, J. J. da S., Campos, F. S., Lima, D. O., Borges, E. N., Gois, G. C., Silva, C. de S., da Silva, T. G. F., Sá, J. M. de., 2023. Influence of cactus pear cultivation density on the physicochemical characteristics of the soil. Soil and Tillage Research [Online] 232. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105771>. Acesso em 10 mar. 2024.
- Barbosa, M. L., Silva, T. G. F. da., Zolnier, S., Silva, S. M. S. e, Ferreira, W. P. M., 2018. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. Revista Ciência Agronômica [Online] 49. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180045>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- Barros, J. L. de., Donato, S. L. R., Gomes, V. M., Donato, P. E. R., Silva, J. A. da., Padilha Júnior, M. C., 2016. Palma forrageira ‘Gigante’ cultivada com adubação orgânica. Revista Agrotecnologia [Online] 7. Disponível em: <https://doi.org/10.12971/5051>. Acesso em: 03 mar. 2024.
- Borém, A., Miranda, G. V., Fritsche-Neto, R., 2021. Melhoramento de plantas, 8 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Borges, L. D. A., Rocha Júnior, V. R., Monção, F. P., Soares, C., Ruas, J. R. M., Silva, F. V., Rigueira, J. P. S., Costa, N. M., Oliveira, L. L. S., Rabelo, W. O., 2019. Nutritional and productive parameters of Holstein/Zebu cows fed diets containing cactus pear. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS) [Online] 32. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0584>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- Brito, C. F. B., Donato, S. L. R., Arantes, A. M., Donato, P. E. R., Silva, J. A., 2018. Photochemical efficiency in cladodes of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online] 22. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n5p338-343>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Brito, C. F. B., Donato, S. L. R., Arantes, A. M., Silva, J. A., Donato, P. E. R., Santos, A. J., 2021. Eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e adubação mineral. Nativa [Online] 9. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.10587>. Acesso em: 01 mar. 2024.
- Carvalho, J. S. de., José, A. R. S., Arantes, A. de M., José, A. R. S., Kurfis, M. De. A., 2021. Sobrevivência de espécies de maracujazeiro com ou sem exposição parcial das raízes, em área com histórico de *Fusarium solani*. Revista Agroecossistemas, [Online] 13. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v13i1.7651>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Carvalho, W. F. de, Abreu, F. E. R. de., Albuquerque, D. M. de N., Lopes, M. N., Menezes, M. do S. de S., Sousa, K. R. F., Holanda, Á. N., Silva, T. S. B. da., 2021. Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana em função da densidade de plantas no semiárido piauiense. ILPF - Integração Lavoura Pecuária Floresta: Desafios, Perspectivas, Retrocessos e Avanços [Online] 3. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/211106637>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Castro, I. N., de Santos, S. R. Dos., Kondo, M. K., Maia, V. M., Santos, C. C. R. dos., 2020. Agronomic performance and water use efficiency of irrigated cactus pear cultivars. Revista Caatinga [Online] 33. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n225rc>. Acesso em: 11 mar. 2024.
- Castro, I. N. de., Santos, S. R. dos., Santos, M. R. dos., Oliveira, P. M. de., Aspiázú, I., Godinho, F. L., 2021. Root distribution of cactus pear genotypes under different soil water replacement levels. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental/Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering [Online] 25. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n12p819-825>. Acesso em: 02 out. 2024.

- Castro, C. N. de., 2024. Texto para Discussão 2999. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) [Online]. Disponível em: <https://doi.org/10.38116/td2999-port>. Acesso em 04 out. 2024.
- Cavalcante, L. A. D., Santos, G. R. S., Silva, L. M., Fagundes, J. L., Silva, M. A., 2014. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. Pesquisa Agropecuária Tropical [Online] 44. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632014000400010>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Donato, P. E. R., Pires, A. J. V., Donato, S. L. R., da Silva, J. A., Aquino, A. A., 2014a. Valor nutritivo da palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. Revista Caatinga 27, 163-172.
- Donato, P. E. R., Pires, A. J. V., Donato, S. L. R., Bonomo, P., da Silva, J. A., Aquino, A. A., 2014b. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. Revista Brasileira de Ciências Agrárias [Online] 9. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252>. Acesso em 09 mar. 2024.
- Donato, P. E. R., Donato, S. L. R., da Silva, J. A., Londe, L. C. N., Rodrigues, M. G. V., 2017c. Implantação da lavoura. Informe Agropecuário 38, 21-33.
- Donato, S. L. R., Arantes, A. de M., Brito, C. F. B., Rodrigues, M. G. V., da Silva, J. A., Donato, P. E. R., 2017a. Considerações sobre clima semiárido e Ecofisiologia da palma forrageira. Informe Agropecuário 38, 7-20.
- Donato, S. L. R., da Silva, J. A., Donato, P. E. R., Rodrigues, M. G. V., Rufino, L. D. A., Silva Junior, A. A., 2017c. Exigências nutricionais e manejo da adubação em palma forrageira. Informe Agropecuário 38, 62-75.
- Drezner, T. D., 2020. The importance of microenvironment: *Opuntia* plant growth, form and the response to sunlight. Journal of Arid Environments [Online] 178. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104144>. Acesso em: 13 out. 2024.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Santos, D. C., Farias, I., Lima, L. E., Ferreira, R. L. C., 2006. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. Journal of Arid Environments [Online] 67. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.02.015>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Edvan, R. L., Mota, R. R. M., Dias-Silva, T. P., do Nascimento, R. R., de Sousa, S. V., da Silva, A. L., Araújo, M. J. de, Araújo, J. S., 2020. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. Scientific Reports [Online] 10. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66972-0>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Fang, S., Yang, H., Wei, G., Shen, T., Wan, Z., Wang, M., Wang, X., Wu, Z., 2022. Potassium application enhances drought tolerance in sesame by mitigating oxidative damage and regulating osmotic adjustment. Frontiers in Plant Science [Online] 13. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1096606>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Farahani, S., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohammadi, G., 2019. Effect of potassium sulfate on quantitative and qualitative characteristics of canola cultivars upon late-season drought stress conditions. Journal of Plant Nutrition [Online] 42. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1628987>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Ferreira, E. B., Cavalcanti, P. P., Nogueira, D. A., 2018. ExpDes.pt: Pacote experimental designs (Portuguese). R package version 1.2.0. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>.
- Fonseca, V. A., Santos, M. R. dos, da Silva, J. A., Donato, S. L. R., Santos Rodrigues, C., Brito, C. F. B., 2019. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. Acta Scientiarum Agronomy [Online] 41. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagrion.v41i1.42631>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Fonseca, V. A., Costa, L. C., Silva, J. A. da, Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Souza, E. dos S., 2020. ‘Gigante’ cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online] 24. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n11p769-775>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Fonseca, V. A., Rodrigues, C. S., Alvarenga, R. R., Santos, D. B. dos., Bebé, F. V., Pina, D. S., 2021. Yield of ‘Gigante’ cactus pear cultivated under biofertilizer doses and application intervals. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [Online] 25. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n9p633-640>. Acesso em: 12 mar. 2024.

- Fonseca, V. A., Dos Santos, M. R., Donato, S. L. R., da Silva, J. A., Brito, C. F. B., 2022. Root distribution, nutrient concentration and accumulation in ‘Gigante’ cactus pear irrigated with saline water. *Revista Caatinga* [Online] 35. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252022v35n222rc>. Acesso em 06 out. 2024.
- Fonseca, V. A., Donato, S. L. R., Silva, J. A., Oliveira, C. M., Batista, R. S., 2023. Morphometry and yield of ‘Gigante’ forage cactus pear under irrigation and different planting densities. *Revista Caatinga* [Online] 36. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n321rc>. Acesso em 07 mar. 2024.
- Freire, J. D. L., Santos, M. V. F. dos., Dubeux Júnior, J. C. B., Bezerra Neto, E., Lira, M. D. A., Da Cunha, M. V., Dos Santos, D. C., De Mello, A. C. L., Oliveira, C. G. d. S., 2021. Evaluation of cactus pear clones subjected to salt stress. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* [Online] 9. Disponível em: [https://doi.org/10.17138/tgft\(9\)235-242](https://doi.org/10.17138/tgft(9)235-242). Acesso em: 15 mar. 2024.
- Holanda, F. S. R., Dias, K. L. L. D., Santos, L. D. V., Brito, C. R. D. M., Melo, J. C. R. D., Santos, L. S., 2021. Development and morphometric characteristics of vetiver grass under different doses of organic fertilizer. *Revista Caatinga* [Online] 34. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n103rc>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. Censo Agropecuário 2017: Resultados preliminares. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br> Acesso em: 08 de mar. 2024.
- IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2021: the physical science basis. Cambridge University Press: New York, 2021. (Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change).
- Jardim, A. M. da R. F., Santos, H. R. B., Alves, H. K. M. N., Ferreira-Silva, S. L., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, Souza, C. A. A. de., Silva, T. G. F. da., 2021. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. *Plant Physiology and Biochemistry* [Online] 162. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>. Acesso em: 10 out. 2024.
- Lédo, A. A., Donato, S. L. R., Aspiazu, I., Silva, J. A. da., Donato, P. E. R., Carvalho, A. J., 2019. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 23. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p413-418>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- Lédo, A. A., Donato, S. L. R., Aspiazu, I., Silva, J. A. da., Donato, P. E. R., Carvalho, A. J., 2020. Nutrient concentration and nutritional efficiency in ‘Gigante’ cactus pear submitted to different spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n3p154-161>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- de Lemos, M., Ferreira Neto, M., Santos Fernandes, C. dos, Bezerra de Lima, Y., Dias, N. S., Medeiros, J. F. de, Brito, R. F., Sá, F. V. da S., 2021. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. *Journal of Arid Environments* [Online] 185. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104372>. Acesso em: 05 out. 2024.
- Lima, A. S. de, Silva, P. F. da, Matos, R. M. de., Bonou, S. I., Dantas Neto., J., 2020. Determinação da área de cladódios e fator de correção da palma forrageira sob fertirrigação nitrogenada. *Revista brasileira de agricultura irrigada* [Online] 14. Disponível em: <https://doi.org/10.7127/rbai.v14n1001017>. Acesso em: 01 out. 2024.
- Lopes, E. B., Brito, C. H., Albuquerque, I. C., Batista, J. L. 2010. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp.) e (*Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. *Engenharia Ambiental - Pesquisa e Tecnologia* 7, 204-215.
- Macêdo, A. J. d. S., Cesar Neto, J. M., Oliveira, L. B. d., Edvan, R. L., & Santos, E. M. (2020). A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. *Brazilian Journal of Development* [Online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-652>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Manikanta, C. L. N., Beena, R., Stephen, R., Manju, R., Viji, M., Alex, S., 2020. Physio morphological plasticity of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes exposed to water-stress. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(1). Disponível em:

- <https://jtropag.kau.in/index.php/ojs2/article/view/889>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Matos, L. V., Donato, S. L. R., Silva, B. L. D. A., Kondo, M. K., Lani, J. L., 2020. Structural characteristics and yield of Gigante cactus pear in agroecosystems in the semi-arid region of Bahia, Brazil. *Revista Caatinga*, [Online] 33. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n426rc>. Acesso em: 03 out. 2024.
- Matos, L. V., Donato, S. L. R., Silva, B. L. D. A., Kondo, M. K., Lani, J. L., 2024. In what proportions to semi-arid agroecosystems and production systems modify the bromatology of the ‘Gigante’ cactus pear? *Nativa* [Online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.16507>. Acesso em: 03 out. 2024.
- Nobel, P. S., 2001. *Biologia ambiental*, in: Barbera, G., Inglese, P., Pimienta Barros, E. (Eds.). *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. SEBRAE-PB/FAO, Paraíba, pp. 36-48.
- Nobre, I. S., Araújo, A. G. L., Santos, E. M., Carvalho, G. G. P., Albuquerque, I. R. R., Oliveira, J. S., Ribeiro, O. L., Turco, S. H. N., Gois, G. C., Silva, T. G. F., Perazzo, A. F., Zanine, A. M., Ferreira, D. J., Sousa, F. N. S., Campos, F. S., 2023. Cactus pear silage to mitigate the effects of an intermittent water supply for feedlot lambs: intake, digestibility, water balance and growth performance. *Ruminants* [Online] 3. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ruminants3020011>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Nunes, J. da S. L., Silva, T. G. F. da., Souza, L. S. B., Araújo Junior, G. N., Salvador, K. R. S., 2021. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira sob diferentes ambientes de crescimento. *Archivos de zootecnia* [Online] 70. Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v70i271.5503>. Acesso em: 05 out. 2024.
- Pastorelli, G., Serra, V., Vannuccini, C., Attard, E., 2022. *Opuntia* spp. as alternative Fodder for Sustainable Livestock Production. *Animals* [Online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12131597>. Acesso em: 05 mar. 2024
- Pereira, P. de C., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Morais, J. E. F., Santos, D. C. dos., 2015. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga* [Online] 28. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>. Acesso em: 05 mar. 2024.
- Pereira, J. de S., Figueirêdo, P. I. de., Anjos, J. S. dos., Campos, F. S., Araújo, G. G. L. de., Voltolini, T. V., 2022. Forage yield and structural responses of spineless cactus ‘Orelha de Elefante Mexicana’ at different planting densities. *Acta Scientiarum Agronomy* [Online] 44. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.53016>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- Pessoa, D. V., Andrade, A. P., Magalhães, A. L. R., Teodoro, A. L., Santos, D. C., Araújo, G. G. L., Medeiros, A. N., Nascimento, D. B., Valença, R. L., Cardoso, D. B., 2020. Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. *Journal of Arid Environments* [Online] 181. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>. Acesso em: 02 out 2024.
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B. de., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Souza, C. A. A. de., Leite, R. M. C., Silva, T. G. F., 2021. Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira – Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física* 14, 2403-2426.
- R CORE TEAM. 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- Ramos, J. P. F., Macêdo, A. J. S., Santos, E. M., Edvan, R. L., Sousa, W. H., Perazzo, A. F., Silva, A. S., Cartaxo, F. Q., 2021. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. *Acta Scientiarum Agronomy* [Online] 43. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v43i1.51214>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Reis, R. J. C. d., Carneiro, M. S. d. S., Pereira, E. S., Furtado, R. N., Morais, L. B. d., Magalhães, J. A., Alves, F. G. d. S., Lopes, M. N., 2022. Biomass components and water use efficiency in cactus pear under different irrigation systems and harvest frequencies. *Revista Brasileira de Zootecnia* [Online] 51. Disponível em: <https://doi.org/10.37496/rbz5120210093>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Rocha, R., Voltolini, T., Gava, C., 2017. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de Zootecnia* [Online] 66. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49553112007>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- Rufino, L. D. A., Donato, S. L. R., Rodrigues, M. G. V. Aspectos Gerais Da Cultura. In: Donato, S. L. R., Borém, A., Rodrigues, M. G. V. (Org.).

- Palma Forrageira: do plantio à colheita. 1. ed. Belo Horizonte: EPAMIG, 2020a. cap. 3, p. 43-77.
- Ruths, R., Bonome, L. T. da S., Tomazi, Y., Siqueira, D. J., Moura, G. S., Lima, C. S. M., 2021. Produção de mudas de pitaya com diferentes segmentos de cladódio e reguladores de crescimento vegetal. *Research, Society and Development* [Online] 10. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13230>. Acesso em 06 out. 2024.
- Sá, M. K. N., Andrade, A. P. de., Magalhães, A. L. R., Valença, R. de L., Campos, F. S., Araújo, F. dos S., Araújo, G. G. L. de., 2021. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. *Research, Society and Development* [Online] 10. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Santos, D. S., Macedo, A. V. M., Conceição, M. G., Siqueira, M. C. B., Mora-Luna, R. E., Vasconcelos, E. Q. L., Oliveira, J. P. F., F. Monteiro, C. C. F., Silva, J. L., Ferreira, M. A. 2022. Sugarcane replaced by cactus cladodes improves the ruminal dynamics of sheep. *Small Ruminant Research* [Online] 209. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106649>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Santos, J. P. A. S., Araújo Júnior, G. N., Jardim, A. M. d. R. F., Souza, C. A. A., Silva, J. O. N., Salvador, K. R. d. S., Souza, L. S. B., Silva, T. G. F., 2022. Técnicas de manejo sustentável para o aporte forrageiro da agricultura familiar no semiárido brasileiro: palma forrageira, irrigação e FonDren. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online] 14. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgi.v14.7.p3910-3931>. Acesso em 07 mar. 2024.
- Santos, Y. C. dos, Pessoa, Z. S., Carvalho, E. F., Dias, E. M. S., Teixeira, R. L. P., 2023. Enfrentamento aos riscos das mudanças climáticas no semiárido brasileiro: a adaptação climática como uma nova agenda governamental. *Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa* [Online] 22. Disponível em: <https://doi.org/10.12660/rgplp.v22n1.2023.85670>. Acesso em: 03 out. 2024.
- Santos, M. R. dos., Araújo, J. S., Donato, S. L. R., de Souza, J. A. A., de Lira, E. C., Aspiazú, I., 2024a. Forage cactus pear cultivars irrigated with wastewater in a semi-arid region. *Water* [Online] 16. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16182632>. Acesso em: 06 out 2024.
- Santos, M. R. dos., Oliveira, C. M., Donato, S. L. R., Fonseca, V. A., Cotrim, C. E., Batista, R. S., 2024b. Palma forrageira irrigada com água salina sob densidades de plantio em três ciclos produtivos. *Nativa* [Online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.31413/nat.v12i3.16356>. Acesso em 06 out. 2024.
- Silva, L. M. D., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. D. A., Moreira, A. L., Backes, A. A., 2014. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural* [Online] 44. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Silva, T. G. F., Miranda, K. R., Santos, D. C., Queiroz, M. G., Silva, M. C., Cruz Neto, J. F., Araújo, J. E. M., 2014b. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* [Online] 9. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agrariav9i4a4553>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- Silva, P., Matos, R., Borges, V., Melo Júnior, A., Dantas Neto, J., 2015. Características morfológicas de três cultivares de palma forrageira sob fertilização mineral em Campina Grande–PB. *Enciclopédia Biosfera* [Online] 11. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1759/1683>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Silva, J. A., Donato, S. L., Donato, P. E., Souza, E. D. S., Padilha Júnior, M. C., Júnior, S., 2016a. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [Online] 20. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>. Acesso em: 09 mar. 2024.
- Silva, J. A. da., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Rodrigues, M. G. V., 2017. Cultivares e manejo da palma forrageira. *Informe Agropecuário* 38, 34-45.
- Silva, A. L. da., Sousa, D. B. de., Amorim, D. S., Santos, M. da S., Silva, K. B. da., Nascimento, R. R. do., 2019. Caracterização morfológica, frequência de colheita e ensilagem de palma forrageira: Uma revisão. *Nucleus Animalium* [Online] 11. Disponível em: <https://doi.org/10.3738/21751463.2958>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- Silva, A. S., Santos, E. M., Pinto, I. M. Y. P., & Ramos, J. P. D. F., 2020. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas sob correlações canônicas. *Agrarian* [Online] 13. Disponível

- em:
<https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.10621>.
Acesso em: 10 out. 2024.
- Silva, M. V. da., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P. de, Lima, R. P. de, Santos, A. dos, Jardim, A. M. da R. F., Rolim, M. M., Silva, J. L. B. da, Batista, P. H. D., Silva, R. A. B. da, Lopes, P. M. O., Silva, D. C. da., 2021. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences* [Online] 107. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>. Acesso em: 11 out 2024.
- Silva, G. I. N. da., Morais, J. E. F. de., Souza, C. A. A. de., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., Salvador, K. R. da S., Souza, L. S. B. de., Simões, A. do N., Campos, F. S., Steidle Neto, A. J., Silveira, A. V. M., Montenegro, A. A. de A., Silva, T. G. F. da., 2024. Do different densities and planting orientations of forage cactus alter agronomic, morphophysiological characteristics, and soil water dynamics in a semiarid region? *European Journal of Agronomy: The Journal of the European Society for Agronomy* [Online] 159. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127271>. Acesso em: 08 out 2024.
- Souza, J. T. A., Ribeiro, J. E. da S., Ramos, J. P. F.; Sousa, W. H., Araújo, J. S., Lima, G. F. C., Dias, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. *Archivos de Zootecnia* [Online] 68. Disponível em: <https://doi.org/10.21071/az.v68i262.4146>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Teles, E. B. de Sá., Arantes, A. de M., Rodrigues Donato, S. L., Soares, R. S., da Silva, J. A., Rodrigues Donato, P. E., 2024. Cultivares de Palma Forrageira sob Diferentes Arranjos e Densidades de Plantio. *Revista Brasileira De Geografia Física* [Online] 17. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1>. Acesso em: 30 mar. 2024.
- Veimrober Junior, L. A. A., Silva, N. D. da., Silva, A. J. P. da., Santos, D. B. dos., Gheyi, H. R., Nascimento, F. A. L. do., 2019. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o Estado da Bahia. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* [Online] 13. Disponível em: <https://doi.org/10.7127/rbai.v13n4001087>. Acesso em: 07 mar. 2024.
- Xavier, M. A., Batista, M. C. Santos, J. P. de O., Silva, J. C. L. da., Cartaxo, P. H. A., Regis, R. S., Pereira, D. D., 2020. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. *Revista Agrarian* [Online] 13. Disponível em: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.9206>. Acesso em: 13 mar. 2024.
- Zañudo-Hernández, J., Aranda, E. G. C., Ramírez-Hernández, B. C., Pimienta-Barrios, E., Castillo-Cruz, I., 2010. Ecophysiological responses of *Opuntia* to water stress under various semi-arid environments. *Journal of the Professional Association for Cactus Development* [Online] 12. Disponível em: <https://doi.org/10.56890/jpacd.v12i.95>. Acesso em: 13 mar. 2024.