

JOÃO PEDRO ALVES DE SOUZA SANTOS

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES E
INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS POR CLONES DE PALMA
FORRAGEIRA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO SEMIÁRIDO

Serra Talhada-PE

2023

S
A
N
T
O
S

J
P
A
S

E
X
I
G
Ê
N
C
I
A
N
U
T
R
I
C
I
O
N
A
L

·
·
·
2
0
2
3

JOÃO PEDRO ALVES DE SOUZA SANTOS

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES E
INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS POR CLONES DE PALMA
FORRAGEIRA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Campelo de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Serra Talhada-PE

2023

S237e

Alves de Souza Santos, João Pedro

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES E INDICADORES
AGROMETEOROLÓGICOS POR CLONES DE PALMA FORRAGEIRA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO
NO SEMIÁRIDO / João Pedro Alves de Souza Santos. - 2023.

137 f. : il.

Orientador: Alexandre Campelo de Oliveira.

Coorientador: Thieres George Freire da Silva.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal
, Serra Talhada, 2023.

1. Irrigação. 2. Macronutrientes. 3. Opuntia spp.. 4. Nopalea.. I. Oliveira, Alexandre Campelo de, orient. II. Silva,
Thieres George Freire da, coorient. III. Título

JOÃO PEDRO ALVES DE SOUZA SANTOS

EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES E
INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS POR CLONES DE PALMA
FORRAGEIRA EM DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADA em 24/02/2023

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE CAMPELO DE OLIVEIRA
Data: 14/04/2023 15:33:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. DSc. Alexandre Campelo de Oliveira - UAST/UFRPE

Orientador

Documento assinado digitalmente
 JOSE EDSON FLORENTINO DE MORAIS
Data: 13/04/2023 23:09:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. DSc. José Edson Florentino de Moraes - UAST/UFRPE

Examinador Extern

Documento assinado digitalmente
 MARIO ADRIANO AVILA QUEIROZ
Data: 15/04/2023 15:54:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. DSc. Mario Adriano Avila Queiroz - UNIVASF

Examinador Externo

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA
Data: 14/04/2023 16:15:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. DSc. Alexandre Tavares da Rocha - UFAPE

Examinador Externo

À minha mãe, Sheila Jaqueline, a minha avó, Maria Cícera, ao meu tio,
Alessandro, aos meus irmãos, Gustavo, Lucas Gabriel e Miguel
Alexandre e, aos meus sobrinhos, Isabella, Isaac e Theo, com
todo o amor, carinho e respeito que tenho por vocês.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a Deus é um ato de respeito e, principalmente, amor. Entretanto, não posso gratificar como um devoto ortodoxo ou protestante. Nunca me prendi a um seguimento religioso, embora tenha sido criado como um católico e ter cultivado em mim uma gratidão enorme por Jesus Cristo. Assim, não seria eu, se agradece-se apenas a um símbolo, por isso, agradeço a cada ser divino que tenha me ajudado nessa trajetória.

Ao longo da minha vida, sempre tive como base duas mulheres fortes e amorosas, minha mãe (Sheila Jaqueline) e minha avó (Maria Cícera). Sabia que poderia contar com elas em qualquer momento, principalmente nos mais difíceis e tinha como meta devolver cada suor, sangue e lágrimas que elas derramaram por mim. Graças a elas, pude estudar e trilhar essa jornada tão cansativa e instigante, porém, muito gratificante. Sem elas, certamente, eu não seria nada, amo muito vocês duas.

Aos meus tios e tias, irmãos, sobrinhos e afilhados, agradeço cada momento compartilhado, todo o amor, carinho e paciência que tiveram por mim, obrigado por me fortalecer, por todos os conselhos e exemplos, palavras e incentivos, os quais me fizeram sempre seguir em frente de cabeça erguida e nunca desistir dos meus objetivos.

A minha querida e amada noiva, Thamila Meneses Guerra, nunca pude imaginar que encontraria uma pessoa tão bondosa, especial e amorosa. Você é um presente maravilhoso, eu devo ter feito algo muito bom para “Nosso Senhor” pra ele ter colocado você na minha vida (😊). Obrigado pelo amor que você tem por mim, pelo afeto e parceria que tem me tornado mais forte. Eu te amo.

Aos meus orientadores Prof. Alexandre Campelo de Oliveira e Prof. Thieres George Freire da Silva, pela oportunidade, conselhos e orientações, tanto pessoais quanto na vida acadêmica, agradeço e me orgulho de ter tido a chance de trabalhar ao lado de pessoas especiais. Foi um prazer aprender com grandes profissionais, muito obrigado.

Aos professores do programa de Pós-graduação em Produção vegetal, agradeço pelos ensinamentos passados durante todo o curso, sem vocês não teria chegado até esse ponto. Aos funcionários da UFRPE-UAST, agradeço pela ajuda em todos os processos de desenvolvimento da minha pesquisa.

Aos profissionais, George Araújo Júnior, Alexandre Jardim, José Edson Morais, Marcelo Silva e Cleber Alves pela amizade, por terem sido referências como profissionais e, principalmente, por serem grandes seres humanos. Agradeço à dedicação às nossas

atividades acadêmicas, à disponibilidade em tirar minhas dúvidas sempre que precisei, à disposição de ensinar. Além das conversas, sempre animadas e esclarecedoras.

À todos os meus colegas de turma, em especial à Kaique Salvador, José Orlando, Renan Leite e Wagner Martins, obrigado pela parceria nos momentos de dúvidas e por terem trilhado comigo essa trajetória tão linda e gratificante. Ressalto os dias de estudo que atravessaram noites a fim de entregar o melhor que poderíamos fazer. Vocês estarão sempre comigo.

Aos membros do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido, em especial à Franciê Carvalho, Wilma Roberta, Lázaro Diniz, Agda Raiany e Gabriel Novaes por todas as oportunidades que me proporcionaram ao longo desse período. Me orgulho de ter conhecido pessoas maravilhosas como vocês. Agradeço ainda, por todo o aprendizado construído.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), pela oportunidade e por toda a qualidade do ensino oferecido e infraestrutura cedida durante as pesquisas.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco - FACEPE (APQ-1159-1.07/14, APQ-0300-5.03/17, APQ-0639-5.01/21), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (421003/2018-9, 309421/2018-7, 402622/2021-9, 309558/2021-2), à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido (10.18.03.039.00.02.00) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2017/22269-2) pelos auxílios financeiros e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudo (Finance Code 001).

Meus sinceros agradecimentos!

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie
cada um de acordo com o seu trabalho e
realizações. O presente pertence a eles,
mas o futuro pelo qual eu sempre
trabalhei pertence a mim.”

Nikola Tesla

RESUMO GERAL

Fatores bióticos e abióticos causa efeitos negativos no desenvolvimento agrícola nas regiões semiáridas. Nessas áreas, os longos períodos de estiagem reduzem o fornecimento de forragem, tornando-se um problema na alimentação animal. Com isso, é preciso compreender com mais eficiência os processos químicos, físicos e biológicos das plantas forrageiras. O presente estudo investigou as respostas morfo-produtivas, desempenho hídrico e nutricional de diferentes clones de palma forrageira em diferentes sistemas de cultivo. O estudo contou com dois experimentos cultivados com palma forrageira. O primeiro foi conduzido em blocos casualizados com seis clones de palma, Orelha de Elefante Mexicana [OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], Orelha de Elefante Africana [OEA, *Opuntia undulata* Griffiths], V19 (*Opuntia larreyi* F.A.C. Weber ex Coult.), F8 (*Opuntia atropes* Rose), Miúda [MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] e IPA-Sertânia [IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck], considerando cada clone como tratamento, e três repetições. No segundo experimento, conduzido em blocos casualizados, o clone de palma OEM foi submetida a diferentes doses de nitrogênio (50; 150; 300; 450 kg ha⁻¹ de N), e quatro repetições. Os dados de análises de crescimento (biometria e biomassa) coletados foram utilizados para a determinar a fenologia, taxas morfofisiológicas, momento ideal de corte e rendimentos de matéria fresca (MF) e seca (MS). A partir de dados de umidade do solo, propriedades físico-hídricas e produtividade foram calculados os componentes do balanço hídrico, eficiência do uso da água (WUE) e o ganho econômico da cultura. Foram realizadas análises dos tecidos vegetais da palma a fim de determinar as concentrações, coeficiente de utilização biológica (CUB) e eficiência no uso dos nutrientes (N, P, K, Ca e Mg). No primeiro experimento, o clone OEM exibiu, em média, maior rendimento de matéria fresca (300 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e matéria seca (24 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), enquanto a Miúda a maior emissão de cladódios (média de 33 unidades planta⁻¹). A WUE não apresentou diferenças entre os clones. Já as eficiências de produtividade econômica líquida e bruta da água total aplicada no sistema e da água de irrigação variaram conforme o clone. O coeficiente de utilização biológica foi inversamente proporcional as concentrações dos nutrientes dos cladódios e a OEM foi mais eficiente no uso dos nutrientes com base na evapotranspiração real (ET_r). Os rendimentos de MF e MS apresentaram respostas positivas ao aumento da dosagem de nitrogênio. A área do cladódio específica (ACE) e a taxa de assimilação líquida (TAL) tiveram melhores respostas nas menores doses de N (50 e 150 kg ha⁻¹) e a taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), fenologia e momento de corte sofreram baixa influência dos níveis de N. As concentrações e o CUB dos nutrientes apresentaram resposta quadrática. Para as concentrações, o nitrogênio, fósforo e potássio apresentaram significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e o modelo quadrático respondeu 99% da variabilidade dos dados. Conclui-se que, os clones do gênero *Opuntia* apresentam os maiores rendimentos de MF e MS e a adição de N influenciou positivamente o rendimento da OEM. As taxas morfofisiológicas sofreram mais influência das características dos clones que o aumento da adubação nitrogenada. O consumo hídrico e o ganho econômico da palma forrageira ao uso de irrigação dependem do tipo de clone. As menores doses de N foram mais eficientes na produção de MS do que as maiores doses. Com base na ET_r, a eficiência no uso do N aumentou conforme o incremento das doses e para os demais nutrientes (P, K, Ca e Mg) as maiores eficiências ocorreram nos períodos de cultivos com a menor quantidade de água inserida no sistema.

Palavras-chave: Irrigação; Macronutrientes; *Opuntia* spp.; *Nopalea*.

GENERAL ABSTRACT

Biotic and abiotic factors have been causing negative effects on agricultural development in semi-arid regions. In these areas, the long periods of drought with the supply of forage, becoming a problem in animal feed. With this, it is necessary to understand more efficiently the chemical, physical and biological processes of forage plants. The present study investigated the morpho-productive responses, water and nutritional performance of different cactus pear clones in different cropping systems. The contour study with two experiments cultivated with cactus pear. The first was treated in randomized blocks with six cactus clones, Orelha de Elefante Mexicana [OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], Orelha de Elefante Africana [OEA, *Opuntia undulata* Griffiths], V19 (*Opuntia larreyi* F.A.C. Weber ex Coult.), F8 (*Opuntia atropes* Rose), Miúda [MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] e IPA-Sertânia [IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck], considering each clone as a treatment, and three replicates. In the second experiment, conducted in randomized blocks, the OEM cactus clone was submitted to different nitrogen doses (50; 150; 300; 450 kg ha⁻¹ of N) and four replications. The collected growth analysis data (biometry and biomass) were used to determine the phenology, morphophysiological indices, ideal cutting time and fresh (MF) and dry (DM) yields. Based on data on soil moisture, physical-hydric properties and productivity, the components of the water balance, water use efficiency (WEU) and the economic gain of the crop were calculated. Analyzes of cactus plant tissues were carried out to determine the concentrations, coefficient of biological utilization (CUB) and efficiency in the use of nutrients (N, P, K, Ca and Mg). In the first experiment, the OEM clone exhibited, on average, a higher yield of fresh matter (300 Mg ha⁻¹ yr⁻¹) and dry matter (24 Mg ha⁻¹ yr⁻¹), while Miúda showed the highest emission of cladodes (average of 33 plant⁻¹ units). WUE showed no differences between clones. The net and gross economic productivity efficiencies of the total water applied in the system and the irrigation water varied according to the clone. The biological utilization coefficient was inversely proportional to the cladode nutrient concentrations and the OEM was more efficient in nutrient utilization based on true evapotranspiration (ET_r). The MF and DM yields showed a positive response to the increase in nitrogen dosage. Specific cladode area (ACE) and net assimilation rate (TAL) had better responses at lower N doses (50 and 150 kg ha⁻¹) and absolute (TCA) and relative growth rate (TCR), phenology and cutting time were under low influence of N levels. Nutrient concentrations and CUB showed a positive response to the quadratic model. For the concentrations, nitrogen, phosphorus and potassium were significant at 5% probability ($p < 0.05$) and the quadratic model responded for 99% of the data variability. It was concluded that clones of the genus *Opuntia* had the highest MF and DM yields and the addition of N positively influenced the OEM yield. The morphophysiological rates were more influenced by the characteristics of the clones than the increase in nitrogen fertilization. The water consumption and the economic gain of cactus pear to the use of irrigation depend on the type of clone. The lowest doses of N were more efficient in producing DM than the highest doses. Based on the ET_r, the efficiency in the use of N increased with the increment of the doses and for the other nutrients (P, K, Ca and Mg) the highest efficiencies occurred in the periods of cultivations with the smallest amount of water inserted in the system.

Keywords: Irrigation; Macronutrients; *Opuntia* spp.; *Nopalea*.

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 1 – SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA (Opuntia spp. e Nopalea spp.) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA REVISÃO SOBRE MANEJO HÍDRICO E NUTRICIONAL

- Figura 1.** Mapa da nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Fonte: SUDENE (2021)..... 24
- Figura 2.** Representação simplificada do Metabolismo Ácido das Crassuláceas em plantas de palma forrageira. Adaptado de Borland et al., (2014)..... 26

CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS MORFO-PRODUTIVAS, HÍDRICAS E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO

- Figura 1.** Mapa de localização da área experimental – UFRPE/UAST, Serra Talhada – PE, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor..... 46
- Figura 2.** Design experimental da área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, Serra talhada – PE, Brasil. Fonte: Elaborado pelo Autor..... 47
- Figura 3.** Evapotranspiração de referência (ET_0), umidade do solo, precipitação e lâmina de irrigação aplicada no cultivo de diferentes clones de palma forrageira no período de: (A) primeiro ciclo; (B) segundo ciclo; (C) terceiro ciclo; (D) quarto ciclo..... 49
- Figura 4.** Área do cladódio específica – ACE ($Mg\ ha^{-1}\ ^\circ Cdia$), taxa de assimilação líquida – TAL ($Mg\ ha^{-1}\ ^\circ Cdia$), taxa de crescimento absoluto – TCA ($Mg\ ha^{-1}\ ^\circ Cdia$) e taxa de crescimento relativo – TCR ($Mg\ ha^{-1}\ ^\circ Cdia$) de diferentes clones de palma forrageira cultivadas no semiárido..... 58
- Figura 5.** Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no primeiro ciclo de cultivo..... 61
- Figura 6.** Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no segundo ciclo de cultivo..... 62
- Figura 7.** Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no terceiro ciclo de cultivo..... 64

Figura 8. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no quarto ciclo de cultivo.....	65
---	----

CAPÍTULO 3 - RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS, DESEMPENHO HÍDRICO E NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA (*Opuntia stricta* (Haw.) SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

Figura 1. Mapa de localização da área experimental – UFRPE/UAST, Serra Talhada – PE, Brasil.....	95
Figura 2. Design experimental da área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, Serra talhada – PE, Brasil.....	97
Figura 3. Evapotranspiração de referência (ET_0), umidade do solo, precipitação e lâmina de irrigação aplicada no cultivo de diferentes clones de palma forrageira no período de: (A) -15 de outubro de 2018 a 20 de maio de 2020; (B) - 10 de setembro de 2020 a 24 de agosto de 2021; (C) – 25 de agosto de 2021 a 14 de setembro de 2022.....	98
Figura 4. Índices morfofisiológicos da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana cultivada sob diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	108
Figura 5. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do primeiro ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	110
Figura 6. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do segundo ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	111
Figura 7. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do terceiro ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	112

Figura 8.	Número total de cladódio (NTC), altura da planta (AP) e largura da planta (LP) de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	113
Figura 9.	Comprimento do cladódio (CC, cm), largura do cladódio (LC, cm), espessura do cladódio (EC, mm) e perímetro do cladódio (PC, cm) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	115
Figura 10.	Rendimento de matéria fresca (MF) e seca (MS) de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio T1 (50 kg ha ⁻¹ de N), T2 (150 kg ha ⁻¹ de N), T3 (300 kg ha ⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha ⁻¹ de N).....	116

LISTA DE TABELAS

CAPITULO 1 – SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA REVISÃO SOBRE MANEJO HÍDRICO E NUTRICIONAL

Tabela 1.	Produtividade de massa verde de clones de palma forrageira em condições de sequeiro.....	28
Tabela 2.	Produtividade de clones de palma forrageira irrigada.....	30
Tabela 3.	Valores clássicos dos teores de macro e micronutrientes em clones de palma forregria do gênero <i>Opuntia</i> e <i>Nopalea</i>	33

CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS MORFO-PRODUTIVAS, HÍDRICAS E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADOS NO SEMIÁRIDO

Tabela 1.	Datas de início e término dos 7 períodos em que foram acumulados os componentes do balanço de água no solo, durante o período de 20 de fevereiro de 2017 a 12 setembro de 2022, Serra Talhada-PE.....	53
Tabela 2.	Rendimento de matéria fresca e seca, teor de matéria seca e variáveis biométricas de diferentes clones de palma forrageira cultivadas em quatro ciclos consecutivos no município de Serra Talhada – PE.....	67
Tabela 3.	Componentes do balanço hídrico do solo em quatro ciclos de cultivo de diferentes clones de palma forrageira em ambiente semiárido.....	69
Tabela 4.	Eficiência do uso da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água de irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água de irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água da irrigação (EWPI) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	72
Tabela 5.	Concentrações de N, P, K, Ca e Mg e Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes dos diferentes clones de palma forrageira, em quatro ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	75

Tabela 6. Eficiência do uso de macronutrientes (EUN, g mm ⁻¹) com base na evapotranspiração (ET _r) de área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, em quatro ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	77
--	----

CAPÍTULO 3 - RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS, DESEMPENHO HÍDRICO E NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA (*Opuntia stricta* (Haw.) SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

Tabela 1. Datas de início e término dos 7 períodos em que foram acumulados os componentes do balanço de água no solo, durante o período de 16 de janeiro de 2019 a 9 setembro de 2022, Serra Talhada-PE.....	102
Tabela 2. Componentes do balanço hídrico em solo cultivado com clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes doses nitrogênio em ambiente semiárido.....	118
Tabela 3. Eficiência do uso da água da cultura (WUE _c , *WUE _c), produtividade da água da cultura (WP _c , *WP _c), produtividade da água de irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água de irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água da irrigação (EWPI) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	120
Tabela 4. Concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	122
Tabela 5. Eficiência do uso de macronutrientes (EUN, g mm ⁻¹) com base na evapotranspiração (ET _r) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.....	124

Sumário

CAPITULO 1 – SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA (<i>Opuntia</i> spp. e <i>Nopalea</i> spp.) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA REVISÃO SOBRE MANEJO HÍDRICO E NUTRICIONAL	21
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB).....	23
3. ESPÉCIE ADAPTADA AO SEMIÁRIDO: PALMA FORRAGEIRA.....	25
4. USO DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA	28
5. EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, ACÚMULO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS MACROS E MICRONUTRIENTES PELA PALMA FORRAGEIRA	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS MORFO-PRODUTIVAS, HÍDRICAS E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DE CLONES IRRIGADOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	42
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Local do Estudo	46
2.2 Arranjo experimental, material vegetal e tratamento aplicado	46
2.3 Manejo da irrigação	48
2.3.1 Variáveis meteorológicas	49
2.4 Variáveis analisadas.....	49
2.4.1. Análise de crescimento	49
2.5 Balanço de Água no Solo	51
2.6 Índices de eficiência hídrica	54
2.7 Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e eficiência do uso de nutrientes	56
2.8 Análises estatísticas	57
3. RESULTADOS	58
3.1 Índices morfofisiológicos de diferentes clones de palma forrageira.....	58
3.2 Fenofases, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte da palma forrageira	60
3.3 Rendimentos de produtividade em massa fresca e seca e biometria final.....	66
3.4 Balanço hídrico do solo	68
3.5 Índices hídricos.....	72
3.6 Concentrações e coeficiente de utilização biológica dos macronutrientes	74
3.7 Eficiência no uso dos macronutrientes	77

4. DISCUSSÃO	79
4.1 Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte de diferentes clones de palma forrageira	79
4.2 Crescimento e performance produtiva de massa fresca e seca	81
4.3 Balanço hídrico do solo e índices de eficiência do uso da água	82
4.4 Concentrações dos nutrientes, coeficiente de utilização biológicas dos nutrientes e eficiência no uso dos nutrientes	83
5. CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
CAPÍTULO 3 - RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS, DESEMPENHO HÍDRICO E NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA (<i>Opuntia stricta</i> (Haw.) SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO	
91	
1. INTRODUÇÃO	93
2. MATERIAL E MÉTODOS	95
2.1 Local do Estudo	95
2.2 Arranjo experimental, material vegetal, e tratamento aplicado	96
2.3 Manejo de irrigação	97
2.3.1 Variáveis meteorológicas	98
2.4 Variáveis analisadas	99
2.4.1 Análise de crescimento	99
2.5 Balanço de água no solo	100
2.6 Índices de eficiência hídrica	103
2.7 Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e eficiência do uso de nutrientes	105
2.8 Análises estatísticas	106
3. RESULTADOS	107
3.1 Índices morfofisiológicos de palma forrageira	107
3.2 Fenofases, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte da palma forrageira	109
3.3 Biometria final e rendimentos de produtividade em massa fresca e seca	112
3.4 Balanço hídrico do solo	117
3.5 Índices hídricos	119
3.6 Concentrações e coeficiente de utilização biológica dos macronutrientes ...	121
3.7 Eficiência no uso dos macronutrientes	123
4. DISCUSSÃO	125

4.1	<i>Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte de palma forrageira</i>	125
4.2	<i>Crescimento e rendimentos de produtividade em massa fresca e seca</i>	127
4.3	<i>Balanço hídrico do solo</i>	127
4.4	<i>Índices hídricos.....</i>	129
4.5	<i>Concentrações dos nutrientes, coeficiente de utilização biológicas dos nutrientes e eficiência no uso dos nutrientes.....</i>	130
5.	CONCLUSÕES	132
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

APRESENTAÇÃO

O Brasil é uma grande potência agropecuária, suas regiões possuem grande importância no desenvolvimento econômico do país. O semiárido, presente majoritariamente na região Nordeste, ocupa mais de 18% da área territorial e suas atividades agrícolas são diversificadas, desde a produção de plantas ornamentais até o melhoramento de culturas forrageiras essenciais para o aumento da produção animal.

Diante disso, é de suma importância que o aperfeiçoamento de tecnologias capazes de aumentar o aporte forrageiro de determinadas culturas seja pauta prioritária para o desenvolvimento de novas estratégias. A produção de plantas destinada a alimentação animal pode ser prejudicada pelos equívocos ocorridos nas aplicações de manejos agrícolas, somando isso as características encontradas nas regiões semiáridas, como: baixos índices pluviométricos, alta temperatura do ar e evapotranspiração elevada.

Com isso, é importante o alinhamento de culturas adaptadas ao ambiente, além de uma maior eficiência na aplicação dos manejos capazes de potencializar tal cultura. A Caatinga apresenta diversas culturas adaptadas ao ambiente, entretanto, é conhecido que a vegetação nativa não suporta a alta exigência imprimida pela pecuária, principalmente, nos períodos de estiagem. Assim, surge como opção a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), cultura eficiente no uso da água, com alta capacidade de rebrota, altos índices de rendimento e com características morfofisiológicas que beneficiam seu crescimento e desenvolvimento em ambientes com déficit hídrico.

Os manejos mais utilizados nos cultivos dessa cultura são o consórcio com outras culturas, uso da irrigação, aplicação de adubação mineral ou orgânica e uso de cobertura morta. Ainda existe uma certa resistência a utilização de irrigação no cultivo da palma. Entretanto, estudos relacionando a produtividade da palma ao fornecimento hídrico controlado descrevem como vantajosa tal associação.

Embora seja bastante utilizado e gere resultados expressivos, o uso de fertilizantes, principalmente na palma, ainda necessita de estudos mais aprofundados sobre a eficiência de utilização dos nutrientes por essa cultura. Dito isso, a escassez de estudos que trabalhem a associação da irrigação com a utilização eficiente dos nutrientes no cultivo de diferentes clones de palma forrageira em diferentes sistemas de cultivo surge como necessária, a fim de identificar qual o melhor cenário que a palma pode proporcionar a atividade agrícola e pecuária.

CAPITULO 1 – SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA REVISÃO SOBRE MANEJO HÍDRICO E NUTRICIONAL

1. INTRODUÇÃO

Déficit hídrico, mudanças climáticas e tomadas de decisões equivocadas são fatores que podem dificultar o desenvolvimento de várias culturas, especialmente em ambientes áridos e semiáridos. Dentre esses, os efeitos das mudanças climáticas podem ser considerados como os mais prejudiciais, afetando o desenvolvimento socioeconômico das áreas agrícolas e, promovendo reduções na oferta de alimentos, ao mesmo tempo em que o aumento da população mundial e da demanda por alimentos ocorrem de maneira exponencial. Por isso, se faz necessário o uso práticas agrícolas sustentáveis que possam diminuir os impactos dos estresses abióticos (e.g., estresse hídrico, térmico e salino) e incrementar a produtividade das culturas (JARDIM et al., 2021; QUEIROZ et al., 2016; SALVADOR et al., 2021; ZHANG; FLOTTMANN, 2018)

Devido as alterações no ambiente e gerenciamento equivocado dos sistemas agrícolas, a atividade agropecuária vem sofrendo com a diminuição do aporte forrageiro, que por consequência, provocam perdas econômicas significativas (SILVA et al., 2021b; WANG et al., 2021). Assim, culturas que possuam tolerância às condições encontradas no Semiárido e, que forneçam elevados rendimentos de biomassa, são de grande valia para o desenvolvimento da região (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b).

Nesse sentido, a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) destaca-se devido a sua elevada produção de biomassa em períodos de estiagem, quando comparada a outras forrageiras. Sendo uma cultura economicamente viável e de fácil propagação, além de possuir um metabolismo do tipo ácido das crassuláceas (CAM), que lhe confere uma maior eficiência no uso da água e elevada capacidade de adaptação a ambientes adversos (AMORIM et al., 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; JARDIM et al., 2021; QUEIROZ et al., 2015).

A palma pode ser considerado um importante recurso para a mitigação dos problemas relacionados escassez de forragem para à alimentação animal (MOURA et al., 2011; SILVA et al., 2015). No entanto, mesmo adaptada ao ambiente Semiárido, as condições edafoclimáticas encontradas na região podem reduzir o potencial produtivo da

palma e, consequentemente, diminuir a oferta de forragem (CAMPOS et al., 2017; GEBRU; HOLDEN; ALFNES, 2021).

Além disso, práticas como a adubação mineral pode elevar a quantidade e qualidade da forragem, fazendo com que o alimento fornecido ao animal tenha maior valor nutritivo. Porém, para melhor eficiência de utilização biológica, é preciso fornecer quantidades ideais de nutrientes baseado na deficiência do solo e na exigência nutricional da planta. Com isso, uma maior capacidade produtiva por área plantada poderá ser alcançada, com ótimos resultados, produtivos e econômicos, na atividade agrícola (DEUS et al., 2015; DUBEUX JÚNIOR et al., 2021; SANTANA et al., 2021).

Os nutrientes incorporados desempenham uma função de extrema importância no desenvolvimento das plantas. Além disso, exercem funções de grande valia na manutenção das propriedades químicas dos solos (SANTANA et al., 2021). Solos com teores de sais solúveis elevados apresentam altos valores de pH, condutividade elétrica e porcentagem do sódio (Na^+) trocável. Essas condições interferem na relação solo-planta, principalmente, na diminuição da absorção de nutrientes pelo sistema radicular (AHMAD et al., 2020; YIN et al., 2021). Nesse sentido, é fundamental a utilização de técnicas de manejo como, por exemplo, a lixiviação ou uso de melhoradores químicos como o cálcio (Ca^+) e enxofre (S), de modo a favorecer a aptidão do solo para o cultivo eficiente (ARAUJO et al., 2015).

Além de corrigir o solo, o Ca^+ age em vários processos fisiológicos da palma (e.g., abertura e fechamento estomático, alongamento e divisão celular, ativador enzimático), aumentando a sua capacidade de adaptação a ambientes extremos. Porém, os níveis de Ca^+ devem ser mantidos numa quantidade ideal para que não ocorra a abertura excessiva dos estômatos (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021). Outros macronutrientes (e.g., nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio) atuam com grande importância no desenvolvimento vegetal da planta (SOUZA et al., 2017).

Um estudo realizado por Souza et al. (2017) na região do Agreste pernambucano indicou influência positiva da adubação mineral no aumento do rendimento de forragem e nas concentrações de nitrogênio, fosforo e potássio presentes nos cladódios de palma forrageira Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck).

A maximização da produtividade e do conteúdo nutricional da palma forrageira, passa pelo entendimento do processo de absorção de nutrientes pela planta, eficiência de utilização e o equilíbrio entre os nutrientes. Portanto, essa revisão passa uma visão geral

da utilização dos nutrientes por diferentes clones de palma forrageira em diferentes sistemas de cultivo, buscando entender a sua influência no desenvolvimento e rendimento final da palma forrageira em ambiente Semiárido.

2. SEMIÁRIDO BRASILEIRO (SAB)

As alterações climáticas vêm sendo estudadas há algumas décadas por vários setores sociais, e ao longo dos anos tem surgido fortes evidências que a ação antropogênica, principalmente, a queima de combustíveis fósseis, irá causar danos severos as condições climáticas devido as grandes taxas de emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (GUIMARÃES et al., 2016; SALES et al., 2015). Por mais que ocorra em todo o globo terrestre, essas mudanças severas afetam, com mais contundência, as regiões menos favorecidas social e economicamente, provocando desastres naturais, a redução da produção agrícola, a alteração da vegetação e até influenciando na saúde pública (JARDIM et al., 2020; KUMAR; SHARMA, 2022; SANTOS et al., 2017).

Ocupando, praticamente, toda a região Nordeste, o Semiárido brasileiro (SAB) é caracterizado por apresentar grande variabilidade climática de uma ponta a outra da sua extensão (JARDIM et al., 2020). Compreendendo nove Estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe) (Figura 1), o SAB possui 1.427 municípios com extensão territorial de 1,2 km² (12% do território brasileiro) e cerca 27 milhões de habitantes (Ministério da Integração Nacional, 2021; SUDENE, 2021). O SAB apresenta três regimes pluviométricos por toda a sua extensão geográfica: Na zona Norte da região, a precipitação máxima ocorre no mês de março, na costa Leste, a máxima precipitação em maio e no Sul, a precipitação máxima é concentrada no mês de dezembro (SALES et al., 2015).

A região é caracterizada por apresentar longos períodos de seca, baixos índices pluviométricos (200-800 mm ano⁻¹) e temperatura do ar elevada (23 a 27° C), proporcionando elevada demanda atmosférica (média de 2000 mm ano⁻¹) e umidade relativa média do ar em torno de 50% (CUNHA et al., 2015; PAREDES-TREJO; BARBOSA; LAKSHMI KUMAR, 2017). A soma desses fatores reduz a disponibilidade de água, deixando população presente nessa região em total estado de vulnerabilidade (BHERING et al., 2021).

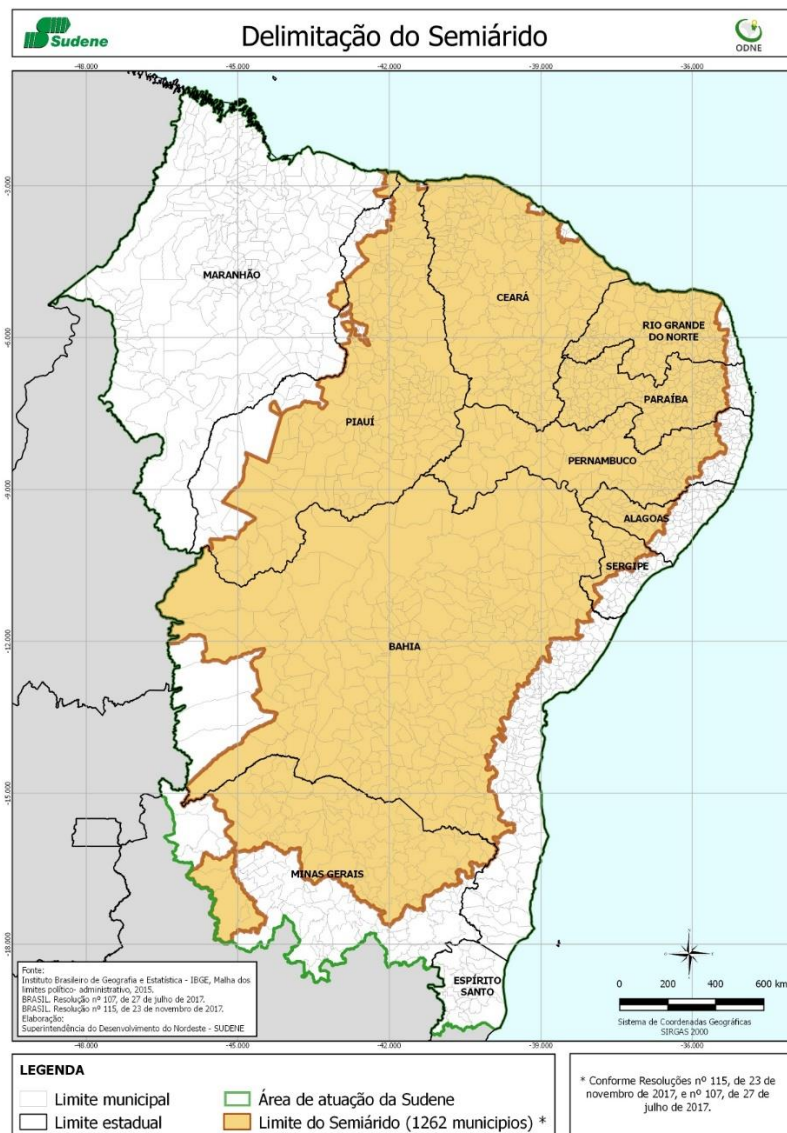


Figura 1. Mapa da nova delimitação do Semiárido Brasileiro. Fonte: SUDENE (2021)

A ausência ou a escassez das chuvas, aliada a sua variabilidade espaço-temporal, são responsáveis pela ocorrência de secas estacionais e periódicas, que no caso do Nordeste brasileiro, ocorre com alta frequência e torna-se um fator determinante para o sucesso ou fracasso das atividades agropecuárias (MARENGO et al., 2011). A falta de água reduz a produção de alimento humano e animal (PAREDES-TREJO; BARBOSA; LAKSHMI KUMAR, 2017).

Nessa região, a alimentação animal é composta por fontes de alimentos fibrosos, com alto teor energético e nutricional. Além, do alto consumo hídrico por parte dos rebanhos (SÁ et al., 2021). Com isso, é preciso implementar estratégias capazes de mitigar os efeitos negativos causados, principalmente, pela baixa disponibilidade hídrica.

As táticas mais usadas no SAB são a implantação de culturas altamente produtivas e adaptadas as condições ambientais impostas pela região, além de técnicas de manejo capazes de maximizar a produtividade dessas plantas. Dentre as espécies mais utilizadas, estão as consideradas forrageiras, Cactaceae, Euforbiaceae, Fabaceae e Poaceae. Dentre as técnicas de manejo, as mais utilizadas são: irrigação, uso de cobertura morta no solo, adubação mineral e consórcio de culturas. Manejado de forma correta, essas espécies fornecem resultados expressivos e capazes de suprir a demanda alimentar dos rebanhos (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; DAMBORG et al., 2020; JARDIM et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2008; QUEIROZ et al., 2016; RUPITAK; SRISAIKHAM, 2021; SALVADOR et al., 2021).

3. ESPÉCIE ADAPTADA AO SEMIÁRIDO: PALMA FORRAGEIRA

A escolha por uma espécie adaptada às condições climáticas de uma região é um dos fatores mais importantes na etapa do planejamento agrícola. Deve-se levar em consideração algumas características específicas como a exigência hídrica, aceitabilidade, produção de biomassa, entre outras (ALVES et al., 2020; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; INÁCIO et al., 2020). Especificamente, uma cultura que possibilita potencialização do aporte forrageiro é a palma forrageira, sendo uma das culturas mais propagadas, devido ao seu metabolismo CAM, que lhe confere elevada eficiência no uso da água e fácil adaptação às condições adversas, fazendo com que essa cactácea apresente grande importância no desenvolvimento agropecuário (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021; SILVA et al., 2015b).

Classificada como uma planta xerófila, a palma forrageira se torna hábil as condições de clima árido e semiárido devido as suas características morfofisiológicas. Durante o dia, com os estômatos fechados, a perda de água da planta para atmosfera é mínima, o que favorece a sustentação do seu desenvolvimento em sistemas de baixo regime hídrico e manutenção do turgor celular. Na Figura 2, pode-se observar como é realizada a assimilação de CO₂. A planta abre seus estômatos e permite a difusão do CO₂ no interior dos cladódios. Em seguida, a Fosfoenolpiruvato carboxilase fixa o CO₂ e o transforma em ácido orgânico, que posteriormente será conduzido para fora dos vacúolos e quebrado para a liberação de CO₂, que entra no ciclo de Calvin para a produção de carboidrato.

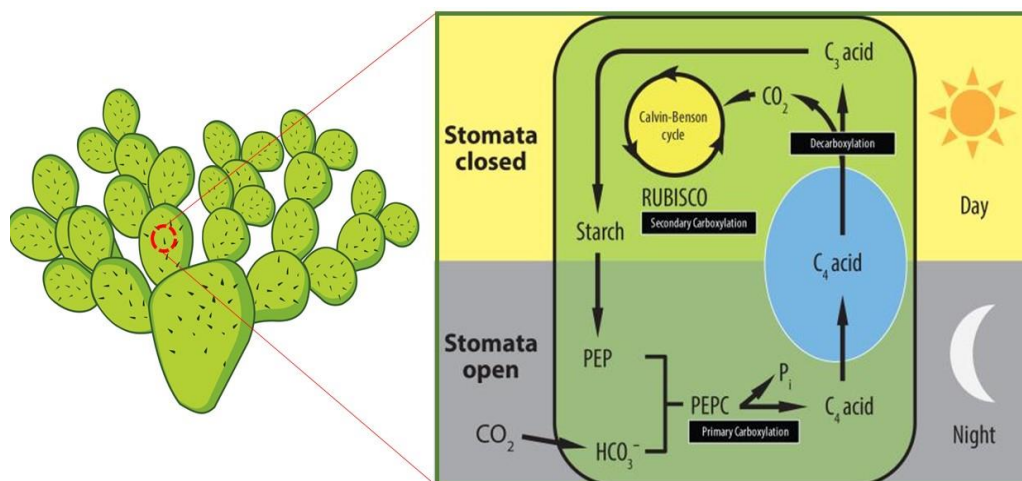


Figura 2. Representação simplificada do Metabolismo Ácido das Crassuláceas em plantas de palma forrageira. Adaptado de Borland et al. (2014).

Além disso, outras características fazem com que essa espécie se torne uma planta ideal para se manter em condições normais no SAB: alta concentração de clorofila; cutícula que reveste todo o cladódio e reduz a perda por transpiração; raízes estruturais, em esporão, desenvolvidas de aréolas, que possuem uma absorção rápida e impede a perda de água em situações de extrema seca, além de vacúolos grandes e estômatos reduzidos (JARDIM et al., 2020; KIM; KIM; LEE, 2018; MELGAR et al., 2017; PEZZOPANE et al., 2015; SILVA; SANTOS, 2006; SOUZA FILHO et al., 2016).

A palma forrageira aparece como destaque na alimentação de ruminantes por apresentar uma alta produção de forragem quando comparada com a vegetação nativa da Caatinga (SILVA et al., 2014a). Características como a fácil propagação, alto valor energético, elevado teor de nutrientes digestíveis totais e carboidratos não-fibrosos, rusticidade e alta aceitabilidade por parte do animal (LEITE et al., 2014).

A palma forrageira vem sendo amplamente difundida. Estima-se que no Brasil exista 600.000 hectare de palma plantada, tanto do gênero *Opuntia* quanto do gênero *Nopalea* (FERRAZ et al., 2020). O uso da irrigação para o cultivo dessa forrageira pode chegar a incrementar até 53,6 toneladas ha⁻¹ quando comparado aos sistemas de cultivo que não adotam a irrigação como manejo cultural (FERRAZ et al., 2019). Plantas do gênero *Opuntia* são as mais difundidas, devido ao seu alto rendimento em regiões de clima árido e semiárido e por fornecer cladódios com alto teor de nutrientes, sendo essencial na dieta animal (LEITE et al., 2014; SALEHI et al., 2019).

Com o objetivo de avaliar o comportamento dessa cactacea, Ferraz et al. (2020) submeteram dois clones de palma forrageiras, Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) e Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), a diferentes lâminas de água baseado na evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% ET₀), onde os melhores resultados foram observados nas lâminas de 75% para a Orelha de elefante mexicana e 100% para a Miúda, reforçando que quando bem manejada ou submetida a períodos com deficit hídrico, a palma fornece rendimentos satisfatórios.

A eficiência do uso da água (EUA) esta relacionado com o processo fotossintético das plantas, envolvendo a captura de carbono e a perda de água. A partir disso, é possível visualizar como são as reações e o metabolismo dos ecossistemas terrestres (TANG et al., 2014). No caso da palma, é comum relacionar a produtividade final da cultura com a evapotranspiração durante o ciclo. Quanto maior for os valores de EUA melhor é o resultado final, pois indica que esta ocorrendo o aumento da produtividade e a diminuição da perda de água por evapotranspiração (SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2014b).

Silva et al. (2020) submeteram a palma Orelha de Elefante Mexicana a uma lâmina suplementar de 7,5 mm, em três intervalos de reposição de água, 7,14 e 21 dias, e sob condição de sequeiro, além da produtividade foi contabilizada a eficiência do uso da água. O tratamento com intervalo de 7 dias foi o que apresentou maior magnitude nos valores de produtividade de matéria fresca, entretanto, os demais resultados se mostraram semelhantes estatisticamente ($p>0,05$).

Os resultados da eficiência do uso da água obtidos por Silva et al. (2020) mostraram diferença significativa entre os tratamentos. A condição de sequeiro apresentou a maior eficiência do uso da água, o que indica que para as condições encontradas na localidade (Brejo de altitude) do estudo, a suplementação de água tem efeito negativo na EUA.

Silva et al. (2014) também observaram a eficiência do uso da água da palma forrageira em condições de clima semiárido. Nessa caso foi obtido a produtividade de água (PA, kg ha⁻¹ de massa verde) de três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana - OEM, Miúda e IPA-Sertânia - IPA), sendo a OEM o clone que apresentou maior PA, se mostrando mais eficiente em períodos de escassez hídrica.

Na Tabela 1, pode-se observar o desempenho de diferentes clones de palma forrageira pertencentes a diferentes gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) cultivados em condições de sequeiro

Tabela 1. Produtividade de massa verde de clones de palma forrageira em condições de sequeiro

Clones/Gênero	Ano	País	Período experimental	Autor	Produtividade
OEM (<i>Opuntia</i>)	2021	Brasil	12 meses	Campos et al.	95,7 Mg ha ⁻¹ MV
IPA(<i>Nopalea</i>)	2021	Brasil	12 meses	Campos et al.	64,3 Mg ha ⁻¹ MV
Miúda (<i>Nopalea</i>)	2021	Brasil	12 meses	Campos et al.	41,4 Mg ha ⁻¹ MV
Gigante (<i>Opuntia</i>)	2021	Brasil	12 meses	Campos et al.	82,6 Mg ha ⁻¹ MV
OO (<i>Opuntia</i>)	2021	Brasil	12 meses	Campos et al.	68,0 Mg ha ⁻¹ MV
OEM (<i>Opuntia</i>)	2015	Brasil	24 meses	Silva et al.	163,0 Mg ha ⁻¹ MV
Miúda (<i>Nopalea</i>)	2015	Brasil	24 meses	Silva et al.	117,5 Mg ha ⁻¹ MV
IPA(<i>Nopalea</i>)	2015	Brasil	24 meses	Silva et al.	124,3 Mg ha ⁻¹ MV

*MV = Massa verde; OEM = Orelha de Elefante Mexicana; OO = Orelha de Onça; IPA = IPA-Sertânia.

. Nota-se que Silva et al. (2015) obtiveram maiores valores médios de produção de biomassa para as condições experimentais avaliadas para os três clones (OEM, IPA e Miúda). Cabe destacar que os achados de Silva et al. (2015) foram para ciclo de cultivo com duração de dois anos, enquanto, Campos et al. (2021) observaram um período de aproximadamente um ano. A produção de um palmar pode ser influenciada por fatores de manejo agrícola, financeiro, social (escolaridade do produtor, disponibilidade de mão de obra), clima e solo (condições edafoclimáticas) e da planta (material genético, idade, características morfofisiológicas, capacidade de adaptação) (FIRINCIOĞLU et al., 2010; LEITE et al., 2014).

Em condições de sequeiro, a palma pode sofrer modificações no seu desenvolvimento e alterações na dinâmica de crescimento devido as mudanças sazonais ocorridas no ambiente (SILVA et al., 2015). Geralmente a palma é cultivada em regiões de clima semiárido afim de potencializar o aporte forrageiro (MOURA et al., 2011). Com isso, é importante entender a dinâmica de crescimento dessa planta e, assim, propiciar as melhores condições para que ocorra a conversão de água, radiação e nutrientes em fotoassimilados gerando a emissão de novos cladódios (AMORIM et al., 2017; CUNHA et al., 2012; FIRINCIOĞLU et al., 2010).

4. USO DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA

O Semiárido sofre anualmente com a distribuição irregular dos eventos de precipitação (ZHANG et al., 2022), afetando diretamente a produção agrícola da região, que em sua maioria é conduzida sob condições de sequeiro. Com a eminente redução da

disponibilidade hídrica de qualidade, faz-se necessário o uso de águas providas de poços, onde em sua maioria são encontradas com altas concentrações de sais (BAKIROV; VASILYEVA; VASILYEV, 2021; WANG et al., 2016).

A escolha por irrigar com água salina pode proporcionar problemas futuros, tanto para o solo quanto para a planta. Nas plantas, esse impacto pode ser considerável se a tolerância a salinidade for baixa. Plantas sensíveis a salinidade são denominadas como glicófitas, já as tolerantes, halófitas, que podem suportar níveis acima de 500mM de sódio. As características bioquímicas, morfológicas e fisiológicas de cada tipo de planta influencia na tolerância, especificamente, na troca de influxo e efluxo de Na^+ (HIMABINDU et al., 2016; SILVA et al., 2021a).

Na planta, os efeitos morfofisiológicos vão desde alterações no potencial osmótico até o desequilíbrio nutricional das plantas. A inibição do crescimento se dá por duas maneiras: pode ser causada pelo excesso ou pelo efeito específico dos íons, que se inserem no fluxo de transpiração e provocam injúrias nas folhas, que além de promover a inibição da absorção de nutrientes essenciais pelas plantas, reduz o seu crescimento. A absorção de água também é comprometida devido as alterações no potencial osmótico do solo (PORTO et al., 2019; SOUSA et al., 2010).

No solo, o acúmulo de sais pode promover a dagredação por meio do processo de salinização, reduzindo a produtividade e a biodiversidade dos ecossistemas. Os processos de salinização são classificados como primários, i.e, os processos de formação do solo e o material de origem favorecem as altas concentrações de sais do solo. Já os processos secundários envolvem as atividades antrópicas, como o uso inadequado de fertilizantes e irrigação com águas de baixa qualidade (DALIAKOPOULOS et al., 2016; ZHUANG et al., 2021).

Os sais mais encontrados nos solos em processo de salinização e sodificação são os cloretos, bicarbonatos e carbonatos combinado com cálcio, magnésio e sódio (CORDEIRO et al., 1999; ŁUCZAK et al., 2021). Grande parte dos solos agrícolas encontrados nas áreas áridas e semiáridas estão em estado elevado de solidificação. No Brasil, essas áreas estão concentradas no Nordeste, que possui 25% das áreas irrigadas em processo inicial ou avançado de salinização (SANTOS et al., 2020).

Tabela 2. Produtividade de clones de palma forrageira irrigada

Clones/Gênero	Ano	País	Período experimental	Autor	Produtividade Massa Fresca
OEM (<i>Opuntia</i>)	2021	Brasil	18 meses	Araújo Júnior et al.	312 Mg ha ⁻¹
Miúda (<i>Nopalea</i>)	2021	Brasil	18 meses	Araújo Júnior et al.	191 Mg ha ⁻¹
IPA(<i>Nopalea</i>)	2021	Brasil	18 meses	Araújo Júnior et al.	83 Mg ha ⁻¹
OEM (<i>Opuntia</i>)	2020	Brasil	19 meses	Ferraz et al.	700 Mg ha ⁻¹
Miúda (<i>Nopalea</i>)	2020	Brasil	19 meses	Ferraz et al.	250 Mg ha ⁻¹
OEM (<i>Opuntia</i>)	2020	Brasil	19 meses	Silva et al.	171,7 Mg ha ⁻¹
OEM (<i>Opuntia</i>)	2019	Brasil	8 meses	Azevedo Júnior et al.	90, 23 Mg ha ⁻¹
Gigante (<i>Opuntia</i>)	2019	Brasil	24 meses	Fonseca et al.	218,20 Mg ha ⁻¹
OEM (<i>Opuntia</i>)	2016	Brasil	13 meses	Queiroz et al.	146,33 Mg ha ⁻¹

OEM = Orelha de Elefante Mexicana; IPA = IPA-Sertânia.

Associando as condições climáticas do Semiárido com o uso de água salina, faz-se necessário optar por culturas capazes de tolerar tais adversidades. Culturas como a palma forrageira, conhecida por suportar com rusticidade as condições climáticas do semiárido, sofreu efeito negativo no crescimento em detrimento do uso de água com altos níveis de salinidade. Entretanto, se a irrigação for realizada com níveis médios de condutividade elétrica da água (CEa), a obtenção de matéria seca da palma forrageira pode ser satisfatória (SANTOS et al., 2020; SILVA et al., 2021).

Felix et al. (2018) observaram que a palma forrageira apresentou bom comportamento no crescimento quando irrigada com água de até 1,5 dS m⁻¹ de CEa. Entretanto, em níveis superiores (3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹) o crescimento foi afetado, reduzindo a altura e a largura das plantas.

O manejo de irrigação na palma deve cumprir todos os parâmetros de exigência da cultura. Em regiões com alta disponibilidade de água, a palma apresenta dificuldade no desenvolvimento, conseqüentemente, baixa produtividade ocasionado pelo estresse por excesso (OLIVEIRA et al., 2010). O volume acima da necessidade hídrica implica em desperdício, pois esse volume extra não resulta no incremento de novos cladódios, desse modo, o rendimento de biomassa verde e seca não se altera (QUEIROZ et al., 2015).

Quando cultivada em sistema com déficit hídrico controlado, a palma apresentou resultados de magnitude expressiva, com os clones Orelha de Elefante Mexicana, Miúda

e IPA Sertânia mostrando rendimento de massa fresca de 312, 191 e 83 toneladas ha⁻¹, respectivamente (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a).

A literatura relata como o uso da irrigação aumenta a produtividade da palma forrageira (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; AZEVEDO JÚNIOR et al., 2019; CAMPOS et al., 2021; DINIZ et al., 2017; FERRAZ et al., 2020; FONSECA et al., 2019; QUEIROZ et al., 2016; SILVA et al., 2020). Na Tabela 2, é possível observar cultivos com palma forrageira associando a produtividade ao uso da irrigação.

Ferraz et al. (2020) submeteram dois clones de palma forrageiras, Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw.) e Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) a diferentes lâminas de água baseado na evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ET₀), onde os melhores resultados de produtividade foram observados nas lâminas de 75% para a OEM e 100% da ET₀ para a Miúda, reforçando que quando bem manejada ou submetida a períodos com déficit hídrico, a palma fornece rendimentos satisfatórios.

Ainda existe resistência ao uso de irrigação para a cultura da palma forrageira e, para erradicar qualquer tipo de desconfiança com esse tipo de manejo, é preciso enaltecer os seus benefícios ao sistema de produção (CRUZ NETO et al., 2017). Para isso, é utilizado o índice de eficiência do uso da água (EUA), indicador agrometeorológico usado com a finalidade de entender a quantidade de água necessária para que a palma possa fazer seus processos fisiológicos e atingir rendimentos satisfatórios (SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2014b).

O uso de irrigação em culturas importantes para o enfrentamento dos períodos de estiagem no semiárido possui grande importância. Pois, o incremento de água está diretamente relacionado na dinâmica de crescimento e surgimento de novos cladódios na palma forrageira (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b). Conforme a reposição de água perdida para a atmosfera for se aproximando do ideal, a palma apresenta alta emissão de cladódios inferiores. Isso proporciona maior desenvolvimento da planta, pois estão diretamente ligados ao surgimento de cladódios superiores. Refletindo em maiores rendimentos de matéria seca e proporcionando antecipação do momento de colheita (ALVES et al., 2007; AMORIM et al., 2017).

Entretanto, regiões áridas e semiáridas sofrem com a limitação de informações para a realização do manejo de irrigação adequado. Na maioria dos casos, os agricultores aplicam grandes quantidades de água no solo provocando desperdícios e obtendo baixa eficiência de aplicação. Isso ocorre devido a exposição de volumes elevados de água

presente na superfície do solo, promovendo rápida saturação, escoamento e evaporação (MOSTAFA et al., 2018).

A irrigação realizada por gotejamento e baseada na necessidade hídrica da cultura é uma das formas mais eficientes de aplicação de água em um sistema de cultivo (RATHORE et al., 2021). Para uma maior eficiência do uso da irrigação é preciso entender os componentes importantes do sistema solo-planta-atmosfera. Nesse caso, a evapotranspiração (ET) é o componente responsável pela maior fatia de envio de água para a atmosfera, sendo a transpiração (T) de uma cultura somado a evaporação (E) da água de um solo descoberto (XIAO; WEI; WEN, 2018).

É preciso atribuir a demanda hídrica da cultura ao requerimento energético do ambiente e compreender a resistência da planta em perder água para a atmosfera. Com isso, o entendimento do balanço de água no solo facilita na aplicação do manejo de forma mais eficiente. Assim, é essencial a contabilização da evapotranspiração (ET) e a alternância do armazenamento de água no solo (Δh), fazendo-se mais preciso os cálculos do conteúdo de água no solo, componente importante para a execução ideal do manejo de irrigação (ARAÚJO PRIMO et al., 2015; QUEIROZ et al., 2016).

5. EXIGÊNCIA NUTRICIONAL, ACÚMULO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS MACROS E MICRONUTRIENTES PELA PALMA FORRAGEIRA

Além de ser importante como fonte de água e energia para os animais, a palma também é importante no fornecimento de minerais. Tal característica está associada à sua elevada extração de nutrientes do solo. A quantidade a ser extraída varia de acordo com o clone, condições ambientais e eficiência no manejo de incorporação dos nutrientes (MOREIRA et al., 2020). Plantas do gênero *Opuntia* possuem menor demanda nutricional em relação as espécies do gênero *Nopalea*. Este último, possui maior concentração de carboidratos solúveis totais e maior valor nutritivo em relação a *Opuntia* (INÁCIO et al., 2020).

O incremento de fertilizantes no solo influencia diretamente na composição química da palma. As concentrações de minerais e proteínas na planta são modificadas de acordo com a quantidade de fertilizantes aplicadas. O incremento de nitrogênio faz com que a palma aumente os teores de proteína bruta presentes nos cladódios.

Tabela 3. Valores clássicos dos teores de macro e micronutrientes em clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea* irrigada

Macronutrientes	<i>Opuntia</i>	<i>Nopalea</i>	Micronutrientes	<i>Opuntia</i>	<i>Nopalea</i>
	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹	
Nitrogênio	6,7 - 20,6	6,7 - 10,5	Cobre	4,0 - 12,2	4,0
Fósforo	0,8 - 4,7	1,0 -1,6	Ferro	77,0 - 128,0	59,0
Potássio	23,0 - 33,4	8,3 - 12,1	Manganês	182,0 - 686,9	430,0
Cálcio	14,9 - 42,0	20,6 - 22,5	Zinco	62,0 - 108,6	70,0
Magnésio	5,9 - 14,0	10,4 - 17	Sódio	40,2 - 135,9	143,0
Enxofre	1,7– 6,1	0,9 - 1,9	Boro	15,8 - 22,4	-

Fonte: Ferraz et al. (2020).

Em relação as espécies, de um modo geral a *Nopalea cochenillifera* apresenta uma maior concentração de N e P quando a doses desses fertilizantes adicionadas no solo são elevadas. As plantas do gênero *Opuntia* apresentam um aumento significativo do teor de proteína bruta, onde, em condições sem o uso de fertilizantes, apresentou um valor de 45 g kg⁻¹ de PB e passando para 105 g kg⁻¹ de PB quando condicionados ao incremento de N (244 kg ha⁻¹) e P (112 kg ha⁻¹) (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021; SOUZA et al., 2017).

Moreira et al. (2020) observaram o comportamento de extração de nutrientes de clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana - OEM e Miúda - MIU) no município de Riachão-PB. O clone OEM extraiu 65,05; 17,13; 421,88 kg ha⁻¹ de NPK, respectivamente, já a MIU extraiu 46,96; 17,76; 351,78 kg ha⁻¹. Na região semiárida os clones de palma não apresentam diferenças significativas na exigência nutricional. Em geral, a demanda nutricional da palma segue a ordem de ser mais exigente em K⁺ > P > Ca²⁺ > N, principalmente no primeiro ano de cultivo.

Já existe na literatura inúmeros trabalhos que retratam os valores clássicos de concentração de macronutrientes e micronutrientes em alguns clones de palma forrageira (GERMANO et al., 1991; BATISTA et al., 2003; FERRAZ et al., 2020; FROTA et al., 2015; SILVA et al., 2012). Na Tabela 3, é possível observar as quantidades de nutrientes utilizados para a produção de 1 kg de matéria seca de palma.

Como descrito por Dubeux Júnior et al. (2021) a absorção, a demanda e o acúmulo de nutrientes varia de acordo com o gênero da palma. Um estudo realizado por Ferraz et al. (2020) determinou a extração de macro e micronutrientes nos dois gêneros de palma forrageira, submetidos a diferentes lâminas líquidas baseado na evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ET₀). Para os macronutrientes, o clone MIU

acumulou, em g kg⁻¹ de matéria seca: Ca²⁺ (41,94) > K⁺ (21,48) > N (18,17) > Mg²⁺ (17,69) > P (1,90) > S (0,08) e para o clone OEM o acúmulo foi Ca²⁺ (45,24) > Mg (21,77) > N (18,17) > K (18,15) > P (1,90) > S (0,07). Para os micronutrientes, o clone MIU acumulou, em mg kg⁻¹ de matéria seca: Cl⁻ (50.456,00) > Na⁺ (2746,00) > Mn²⁺ (618,35) > Fe²⁺ (108,08) > B (80,01) > Zn²⁺ (19,81) > Cu²⁺ (9,69 ± 4,63). Para o clone OEM, o acúmulo, em mg kg⁻¹ de matéria seca: Cl⁻ (65.508,00) > Na (2906,00) > Mn²⁺ (995,66) > Fe²⁺ (108,08) > B (105,41) > Zn²⁺ (22,65) > Cu²⁺ (13,44).

Os resultados mostrados por Ferraz et al. (2020), indicam que, em geral, os maiores acúmulos de macro e micronutrientes nos dois clones foram presentes nas maiores lâminas de irrigação (75, 100, 125% da ET₀). Em solos com maior disponibilidade hídrica, o favorecimento a absorção, transpiração e ascensão de água pela planta é elevado, o que propicia uma melhor execução dos processos que são importantes para a assimilação e remobilização de nutrientes (TAIZ et al., 2017).

Na palma, a associação da irrigação com o incremento de nutrientes promove uma tendência de aumento da produtividade (FERRAZ et al., 2020). A disponibilidade de água e nutrientes induz o crescimento e o desenvolvimento radicular da palma forrageira. Sabe-se que o sistema radicular dessa forrageira possui várias raízes adaptadas para absorver pequenas quantidades de água presentes na superfície do solo, então, quando esta cultura é submetida a altos valores hídricos sua resposta é extremamente eficiente (OLIVEIRA et al., 2010).

Especificamente, a alta disponibilidade de água e nitrogênio no solo favorece maior eficiência nos mecanismos de absorção de água e outros nutrientes. É provável que tenha ocorrido alterações na dinâmica de crescimento radicular, com as raízes laterais sendo mais estimuladas ao crescimento para assim cobrir uma maior área de superfície de solo, indicando uma adaptação importante da cultura para atingir maior produtividade em regiões de clima árido e semiárido (EDVAN et al., 2013; MORGAN; CONNOLLY, 2013; XIA et al., 2018).

As mudanças provocadas por esse incremento de nutrientes, não se resume a modificações morfológicas. É possível que o potencial hídrico e a pressão do turgor nas células tenha sido maximizada devido as altas concentrações de nitrogênio. Esses aumentos promovem maiores concentrações de solutos orgânicos nas matrizes extra celulares no citosol. Ajustando as condições osmóticas e melhorando o fluxo de transpiração e o influxo de água (FERRAZ et al., 2020; MERWAD; DESOKY; RADY, 2018).

Silva et al. (2014) determinaram a eficiência do uso de nutrientes (EUN) dos macro e micronutrientes por três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA-Sertânia) com base na água precipitada e na evapotranspiração. Para os três clones, não houve diferença significativa na EUN para os macro e micronutrientes ($p>0,05$) em relação a quantidade de água precipitada. Em relação a evapotranspiração, a exceção foi constatada no Mg^{2+} extraído pelo clone MIU, que apresentou valores menores em relação aos demais clones, o que foi atribuído a sua baixa produtividade (SILVA et al., 2014). O magnésio constitui a molécula de clorofila e exerce papel importante em processos como fotossíntese, respiração da planta e síntese de ácidos nucléicos (TAIZ et al., 2017).

A IPA não se diferiu da MIU ($p>0,05$), embora tenha obtido resultados inferiores, isso pode ter relação direta com a capacidade de evapotranspiração que a MIU e a OEM possui (superior a IPA) e a maior resistência das plantas do gênero *Opuntia* spp. ao ambiente semiárido (SILVA et al., 2014a).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem desse estudo descreve a aplicação da irrigação e adubação na cultura da palma forrageira como medida de melhoria aos sistemas agrícolas, como forma de mitigar o efeitos causados pela estiagem no semiárido. O uso eficiente da irrigação e da adubação pode maximizar os rendimentos de tal cultura e, por consequência, potencializar o desenvolvimento socioeconômico das regiões mais afetadas pelas severas condições ambientais do semiárido.

No entanto, é preciso aprofundar as pesquisas relacionadas a tais manejos no cultivo da palma, refinando as interações que a irrigação e o uso da adubação mineral podem proporcionar aos rendimentos finais dessa cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, A. et al. Seasonal variations of soil phosphorus and associated fertility indicators in wastewater-irrigated urban aridisol. **Chemosphere**, v. 239, p. 124725, 2020.
- ALVES, C. P. et al. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347–356, 2020.
- ALVES, R. N. et al. PRODUÇÃO DE FORRAGEM PELA PALMA APÓS 19 ANOS SOB DIFERENTES INTENSIDADES DE CORTE E ESPAÇAMENTOS. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 38–44, 2007.
- AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.
- ARAÚJO, J. L. et al. Enxofre elementar ou sulfato de cálcio para remediação de solos salino-sódicos? **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 388–396, 2015.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. et al. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, p. 1–12, 2021b.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N. et al. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, n. August, p. 12, 2021a.
- ARAÚJO PRIMO, J. T. DE et al. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Rev. Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20–29, 2015.
- AZEVEDO JÚNIOR, M. S. D. A. et al. Productivity and nutrient content of forage cactus irrigated with domestic sewage effluent. **Irriga**, v. 24, n. 4, p. 830–842, 2019.
- BAKIROV, F.; VASILYEVA, T.; VASILYEV, I. Precipitation and yield of spring wheat in the semiarid zone of Orenburg Precipitation and yield of spring wheat in the semiarid zone of Orenburg Cis-Urals. 2021.
- BATISTA, A. M. et al. Effects of variety on chemical composition, in situ nutrient disappearance and in vitro gas production of spineless cacti. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 5, p. 440–445, 2003.
- BHERING, A. P. et al. Geological and hydrogeological review of a semi-arid region with conflicts to water availability (southeastern Brazil). **Environmental Research**, v. 202, n. March, p. 111756, 2021.
- BORLAND, A. M. et al. Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 5, p. 327–338, 2014.
- CAMPOS, A. R. F. et al. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal of Arid Environments**, v. 193, n. January, p. 104564, 2021.
- CAMPOS, F. S. et al. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 14, n. Abril, p. 5004–5013, 2017.
- CORDEIRO, G. G. et al. Utilização de água salina e condicionador de solo na produção

de beterraba no semi-árido brasileiro. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 39–41, 1999.

CRUZ NETO, J. F. DA et al. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 2, p. 98–106, 2017.

CUNHA, A. P. M. et al. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, n. December, p. 494–505, 2015.

CUNHA, D. DE N. F. V. DA et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1156–1165, 2012.

DALIAKOPOULOS, I. N. et al. The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727–739, 2016.

DAMBORG, V. K. et al. Screw-pressed fractions from green forages as animal feed: Chemical composition and mass balances. **Animal Feed Science and Technology**, v. 261, n. January, p. 114401, 2020.

DEUS, J. A. L. DE et al. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 498–511, 2015.

DINIZ, W. J. DA S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, n. December 2020, 2021.

EDVAN, R. L. et al. ACÚMULO DE BIOMASSA E CRESCIMENTO RADICULAR DA PALMA FORRAGEIRA EM DIFERENTES ÉPOCAS DE COLHEITA Biomass accumulation and root growth of cactus pear in different harvest periods. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 11, n. 4, p. 373, 2013.

FELIX, E. DOS S. et al. Cultivo de palma forrageira (Opuntia Stricta) irrigada com água salinizada Cultivation. **Brazilian Applied Science Review**, v. v.2, n.2, p. 532–549, 2018.

FERRAZ, R. L. DE S. et al. Estimation of productivity gain by irrigated and fertilized forage palm plants (opuntia ficus-indica (l.) mill. and nopalea cochenillifera (l.) salm-dyck): Systematic review and meta-analysis. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 11, p. 1873–1882, 2019.

FERRAZ, R. L. DE S. et al. Variations in soil water replacement levels promote changes in forage cactus mineral composition and biomass productivity ARTICLES. **Revista Ambiente e Agua**, v. 15, n. 5, p. e2537, 2020.

FIRINCIOĞLU, H. K. et al. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (Vicia sativa ssp. sativa) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, v. 116, n. 1–2, p. 30–37, 2010.

FONSECA, V. A. et al. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of opuntia ficus-indica irrigated with saline water. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 41, n. 1, p. 1–

11, 2019.

FROTA, M. N. L. DA et al. Palma Forrageira na Alimentação Animal. **Documentos** 23, p. 1–48, 2015.

GEBRU, M.; HOLDEN, S. T.; ALFNES, F. Adoption analysis of agricultural technologies in the semiarid northern Ethiopia : a panel data analysis. **Agricultural and Food Economics**, v. 6, n. 9, p. 16, 2021.

GUIMARÃES, S. O. et al. Projeções de mudanças climáticas sobre o nordeste Brasileiro dos modelos do CMIP5 e do CORDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 3, p. 337–365, 2016.

HIMABINDU, Y. et al. Salt-tolerant genes from halophytes are potential key players of salt tolerance in glycophytes. **Environmental and Experimental Botany**, v. 124, p. 39–63, 2016.

INÁCIO, J. G. et al. Nutritional and performance viability of cactus Opuntia-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 35–43, 2020.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 72, 2020.

JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, n. February 2020, p. 104464, 2021.

KIM, H.; KIM, J.; LEE, S. J. Fast and Efficient Water Absorption Material Inspired by Cactus Root. **ACS Macro Letters**, v. 7, n. 3, p. 387–394, 2018.

KUMAR, P.; SHARMA, A. Assessing the outdoor thermal comfort conditions of exercising people in the semi-arid region of India. **Sustainable Cities and Society**, v. 76, n. April 2021, p. 103366, 2022.

LEITE, M. L. DE M. V. et al. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192–200, 2014.

ŁUCZAK, K. et al. Effect of NaCl road salt on the ionic composition of soils and Aesculus hippocastanum L. foliage and leaf damage intensity. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2021.

MARENGO, José A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**, v. 1, p. 385-422, 2011.

MELGAR, B. et al. Extensive profiling of three varieties of Opuntia spp. fruit for innovative food ingredients. **Food Research International**, v. 101, n. June, p. 259–265, 2017.

MERWAD, A. R. M. A.; DESOKY, E. S. M.; RADY, M. M. Response of water deficit-stressed Vigna unguiculata performances to silicon, proline or methionine foliar application. **Scientia Horticulturae**, v. 228, n. May 2017, p. 132–144, 2018.

MOREIRA, J. M. et al. Nutrients demand of cactus forage. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 811–820, 2020.

- MORGAN, J. B.; CONNOLLY, E. L. Interações planta-solo : absorção de nutrientes. **Nature Education Knowledge**, v. 4, n. 8, p. 1–6, 2013.
- MOSTAFA, H. et al. Drip irrigation management for wheat under clay soil in arid conditions. **Ecological Engineering**, v. 121, n. August 2017, p. 35–43, 2018.
- MOURA, M. S. B. DE et al. Aptidão do Nordeste Brasileiro ao Cultivo da Palma Forrageira sob Cenários de Mudanças Climáticas. 2011.
- OLIVEIRA, D. M. et al. Intoxicação por *Cnidoscolus phyllacanthus* (Euphorbiaceae) em caprinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 36–42, 2008.
- OLIVEIRA, F. T. DE et al. Palma Forrageira: Adaptação E Importância Para Os Ecossistemas Áridos E Semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, n. 4, p. 27–37, 2010.
- PAREDES-TREJO, F. J.; BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 139, p. 26–40, 2017.
- PEZZOPANE, C. DE G. et al. Estresse por deficiência hídrica em genótipos de *brachiaria brizantha*. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 5, p. 871–876, 2015.
- PORTO, E. R. et al. Agricultura bioessalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro. **Embrapa Meio Ambiente-Documents (INFOTECA-E)**, p. 38p, 2019.
- QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.
- QUEIROZ, M. G. DE et al. Relações Hídrico-econômicas da Palma Forrageira Cultivada em Ambiente Semiárido. **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 141–154, 18 jun. 2016.
- RATHORE, V. S. et al. Optimization of deficit irrigation and nitrogen fertilizer management for peanut production in an arid region. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–14, 2021.
- RUPITAK, Q.; SRISAIKHAM, S. Evaluation of Yield Production and Chemical Composition of Three Types of Forage Legumes at Different Cutting Intervals and Cutting Times to Assess Their Benefits as Ruminant Animal Feed. **Chiang Mai University Journal of Natural Sciences**, v. 20, n. 3, p. 1–17, 2021.
- SÁ, M. K. N. DE et al. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e27210212473, 2021.
- SALEHI, E. et al. *Opuntia ficus indica* fruit gum: Extraction, characterization, antioxidant activity and functional properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 206, n. November 2018, p. 565–572, 2019.
- SALES, D. C. et al. Projeções de mudanças na precipitação e temperatura no nordeste Brasileiro utilizando a técnica de downscaling dinâmico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, p. 435–456, 2015.
- SALVADOR, K. R. DA S. et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2369–2390, 2021.

- SANTANA, M. A. et al. Efeito De Doses De Adubação Orgânica Na Produção De Palma Forrageira. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 167–172, 2021.
- SANTOS, T. S. DOS et al. Projeção da suscetibilidade a desertificação em Pernambuco utilizando o modelo HADGEM- ES. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1275–1291, 2017.
- SILVA, C. C. F. DA; SANTOS, L. C. Palma Forrageira (Opuntia Fícus- Indica Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes (Forage Palm (Opuntia Fícus- Indica Mill) as alternative in ruminant feeding). **REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 7, n. 10, p. 1–13, 2006.
- SILVA, C. DAS C. DA et al. INITIAL GROWTH OF FORAGE CACTUS VARIETIES UNDER DIFFERENT WATER SALINITY LEVELS. **Irriga**, v. 26, n. 1, p. 55–64, 2021.
- SILVA, E. C. B. DA et al. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, n. 13, p. 2744–2759, 2020.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015a.
- SILVA, J. A. et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 7, n. SUPPL, p. 866–875, 2012.
- SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, p. 108, 2014a.
- SILVA, T. G. F. et al. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014b.
- SOUSA, G. G. DE et al. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 85, p. 1143–1151, 2010.
- SOUZA FILHO, P. F. et al. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass-evaluation of using different pretreatments. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 425–433, 2016.
- SOUZA, T. C. et al. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 12, n. 4, p. 555–560, 2017.
- SUDENE - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Delimitação do Semiárido – 2021. Recife: relatório final. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariadorelatorionv.pdf>> Acesso em: 21 dez. 2022.
- TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TANG, X. et al. How is water-use efficiency of terrestrial ecosystems distributed and changing on Earth? **Scientific Reports**, v. 4, p. 1–11, 2014.

WANG, F. et al. Science of the Total Environment Warming reduces the production of a major annual forage crop on the Tibetan Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 798, n. 2, p. 149211, 2021.

WANG, Q. et al. Impact of saline water irrigation on water use efficiency and soil salt accumulation for spring maize in arid regions of China. **Agricultural Water Management**, v. 163, p. 125–138, 2016.

XIA, C. et al. Effect of *Epichloë gansuensis* endophyte and transgenerational effects on the water use efficiency, nutrient and biomass accumulation of *Achnatherum inebrians* under soil water deficit. **Plant Soil**, v. 424, n. 1–2, p. 555–571, 2018.

XIAO, W.; WEI, Z.; WEN, X. Evapotranspiration partitioning at the ecosystem scale using the stable isotope method—A review. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 263, n. August, p. 346–361, 2018.

ZHANG, C. et al. Ridge–furrow rainwater harvesting combined with supplementary irrigation: Water-saving and yield-maintaining mode for winter wheat in a semiarid region based on 8-year in-situ experiment. **Agricultural Water Management**, v. 259, n. October 2021, p. 107239, 2022.

ZHANG, H.; FLOTTMANN, S. Source-sink manipulations indicate seed yield in canola is limited by source availability. **European Journal of Agronomy**, v. 96, n. November 2017, p. 70–76, 2018.

ZHUANG, Q. et al. Evolution of soil salinization under the background of landscape patterns in the irrigated northern slopes of Tianshan Mountains , Xinjiang , China. **Catena**, v. 206, n. July, p. 105561, 2021.

CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS MORFO-PRODUTIVAS, HÍDRICAS E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DE CLONES IRRIGADOS DE PALMA FORRAGEIRA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Resumo: O uso de irrigação em cultivos de plantas forrageiras em ambiente semiárido é uma importante estratégia para o aumento do aporte forrageiro em períodos de estiagem. Todavia, as respostas ao uso de irrigação em campos de palma forrageira dependem do tipo de clone. Dessa forma, objetivou-se com esse estudo, avaliar as respostas morfofisiológicas e produtivas, bem como a eficiência do uso da água e dos nutrientes de clones de palma forrageira irrigada em ambiente Semiárido. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada - PE, durante quatro ciclos produtivos, entre dezembro de 2016 e setembro de 2022. O delineamento adotado foi em blocos casualizados, sendo os tratamentos constituídos por seis clones de palma forrageira: Orelha de Elefante Mexicana [OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], Orelha de Elefante Africana [OEA, *Opuntia undulata* Griffiths], V19 (*Opuntia larreyi* F.A.C. Weber ex Coult.), F8 (*Opuntia atropes* Rose), Miúda [MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] e IPA-Sertânia [IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck], com três repetições. Biometrias e biomassas foram realizadas para determinar a fenologia, taxas morfofisiológicas, momento ideal de corte e rendimentos de matéria fresca (MF) e seca (MS). A partir de dados de umidade do solo, propriedades físico-hídricas e produtividade foram calculados os componentes do balanço hídrico, eficiência do uso da água (WUE) e o ganho econômico da cultura. Análises dos tecidos vegetais da palma foram conduzidas a fim de se determinar as concentrações, coeficiente de utilização biológica (CUB) e a eficiência no uso dos nutrientes. O clone OEM exibiu, em média, maior rendimento de matéria fresca ($300 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e matéria seca ($24 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), enquanto a Miúda teve maior emissão de cladódios por planta (média de 33 unidades). A WUE não apresentou diferenças entre os clones, com valor médio, para os quatro ciclos de 0,95, 0,89, 0,91 e $0,91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente. Já as eficiências de produtividade econômica líquida e bruta da água total aplicada no sistema e da água de irrigação, assim como o consumo hídrico, variaram conforme o clone e a quantidade de água inserida no sistema. O coeficiente de utilização biológica foi inversamente proporcional as concentrações dos nutrientes dos cladódios, onde a OEM teve concentração de $6,44 \text{ g de N kg}^{-1} \text{ MS}$, menor valor para o primeiro ciclo, e o CUB de $155,28 \text{ kg kg}^{-1}$, maior entre os clones no primeiro ciclo. A OEM foi mais eficiente no uso dos nutrientes com base na evapotranspiração real. Conclui-se que, as respostas morfo-produtivas, consumo hídrico e o ganho econômico da palma forrageira ao uso de irrigação dependem do tipo de clone, e que o manejo de adubação e as características produtivas dos clones exercem grande influência na utilização dos nutrientes, logo devem ser considerados na definição das estratégias de manejo de água da cultura.

Palavras-chave: *Opuntia* spp.; *Nopalea* spp.; análise econômica; irrigação; semiárido

The morpho-productive responses, water consumption, water use efficiency, and the economic gain of forage cactus to the use of irrigation depend on the type of clone

Abstract: The use of irrigation in the cultivation of forage plants in a semi-arid environment is an important strategy for increasing the forage supply in periods of drought. However, responses to the use of irrigation in cactus pear fields depend on the type of clone. Thus, the objective of this study was to evaluate the morphophysiological and productive responses, as well as the efficiency of water and nutrient use of irrigated cactus pear clones in a semi-arid environment. The experiment was monitored at the Federal Rural University of Pernambuco - Academic Unit of Serra Talhada, in the municipality of Serra Talhada - PE, during four production cycles, between December 2016 and September 2022. The design adopted was in randomized blocks, with treatments consisting of six forage cactus clones: Orelha de Elefante Mexicana [OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], Orelha de Elefante Africana [OEA, *Opuntia undulata* Griffiths], V19 (*Opuntia larreyi* F.A.C. Weber ex Coult.), F8 (*Opuntia atropes* Rose), Miúda [MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] e IPA-Sertânia [IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck]. with three repetitions. Biometrics and biomasses were performed to determine phenology, morphophysiological rates, ideal cutting time and fresh (MF) and dry (DM) yields. From data on soil moisture, physical-hydric properties and productivity, the components of the water balance, water use efficiency (WUE) and the economic gain of the crop were calculated. Analyses of cactus plant tissues were carried out in order to determine the concentrations, biological utilization coefficient (CUB) and nutrient use efficiency. The OEM clone exhibited, on average, a higher yield of fresh matter ($300 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and dry matter ($24 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), while Miúda had a higher emission of cladodes per plant (average of 33 units). The WUE showed no differences between the clones, with an average value for the four cycles of 0.95, 0.89, 0.91 and $0.91 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectively. The net and gross economic productivity efficiencies of the total water applied in the system and of the irrigation water, as well as the water consumption, varied according to the clone and the amount of water inserted in the system. The biological utilization coefficient was inversely proportional to the nutrient concentrations of the cladodes, where the OEM had a concentration of $6.44 \text{ g of N kg}^{-1} \text{ DM}$, the lowest value for the first cycle, and the CUB of $155.28 \text{ kg kg}^{-1}$, higher among clones in the first cycle. OEM was more efficient in nutrient use based on actual evapotranspiration. It is concluded that the morpho-productive responses, water consumption and the economic gain of cactus pear to the use of irrigation depend on the type of clone, and that the management of fertilization and the productive characteristics of the clones have a great influence on the use of nutrients, therefore, they must be considered in the definition of water management strategies for the crop.

Keywords: *Opuntia* spp.; *Nopalea* spp.; economic analysis; irrigation; semi-arid

1. INTRODUÇÃO

A densidade populacional e a demanda por alimentos têm aumentado exponencialmente em várias regiões do mundo (CAO et al., 2021; CHENG et al., 2018; WANG et al., 2021), ao passo que, o déficit hídrico e as mudanças climáticas são fatores que agravam a produtividade de várias culturas agrícolas, em especial, nos ambientes áridos e semiáridos (SANTOS et al., 2022). Por isso, o uso de práticas agrícolas (e.g., irrigação, espécies adaptadas, cobertura morta, consórcio e manejo de corte) auxiliam no desenvolvimento das plantas e permitem o incremento da produtividade dos cultivos e uma maior segurança alimentar (JARDIM et al., 2021a; QUEIROZ et al., 2016; SALVADOR et al., 2021; ZHANG et al., 2018).

As culturas adaptadas a ambientes áridos e semiáridos e que apresentam elevados rendimentos de biomassa são de grande importância para o avanço agropecuário nessas regiões (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a). Nesse sentido, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), destaca-se devido a sua elevada produção de biomassa em períodos de estiagem quando comparada a outras forrageiras. A palma é uma espécie que possui o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que lhe confere alta eficiência no uso da água e capacidade de adaptação a ambientes adversos (QUEIROZ et al., 2015; AMORIM et al., 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b; JARDIM et al., 2021a).

As características anatômicas e fisiológicas (i.e., alta concentração de clorofila, presença elevada de pigmentos fotoprotetores, parênquima aquífero, folhas modificadas em espinhos, caules e raízes suculentos) presentes na palma permitem sua tolerância ao estresse hídrico e a elevadas temperaturas do ar, e ajudam a elucidar os pontos que contribuem para o seu ótimo desenvolvimento nessas condições (JARDIM et al., 2021b). Ainda, os clones de palma forrageira pertencentes ao gênero *Opuntia*, destacam-se dentre as outras cactáceas devido à quantidade de CO₂ fixado em relação ao volume de água perdida por transpiração, influenciando diretamente na sua eficiência no uso da água (OJEDA-PÉREZ; JIMÉNEZ-BREMONT; DELGADO-SÁNCHEZ, 2017).

Todavia, mesmo adaptada ao ambiente de clima semiárido, as condições edafoclimáticas encontradas na região podem reduzir o seu potencial produtivo e, conseqüentemente, o fornecimento de forragem (CAMPOS et al., 2017; GEBRU; HOLDEN; ALFNES, 2021). Assim, faz-se necessário o uso de práticas capazes de mitigar os efeitos provocados pelo ambiente.

Em cultivo de sequeiro, Silva et al., (2015b) constataram que os clones do gênero *Opuntia* apresenta maior rendimento de matéria fresca e seca quando comparado aos clones do gênero *Nopalea*. Entretanto, pouco se sabe sobre a influência das respostas morfofisiológicas sobre a produtividade e indicadores de eficiência da utilização dos recursos hídricos dos clones de palma forrageira, principalmente dos clones menos cultivados em regiões semiáridas.

O uso da irrigação complementar eleva de forma significativa a quantidade e a qualidade da forragem. Para tal, torna-se importante alinhar o desempenho das plantas forrageiras e a disponibilidade de água com a sua eficiência na utilização dos recursos a fim de elevar as respostas produtivas e morfofisiológicas (ALVES et al., 2022; DEUS et al., 2015; DUBEUX JÚNIOR et al., 2021; SANTANA et al., 2021). É de conhecimento geral que a palma forrageira irrigada, principalmente os clones mais difundidos (i.e., Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA-Sertânia) apresenta ótimos resultados de produtividade de matéria fresca e seca (SILVA et al., 2023). Dentre esses, o clone Orelha de elefante Mexicana (*O. stricta* (Haw.) Haw.) proporciona os maiores rendimentos quando comparada aos clones Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e IPA-Sertânia (*N. cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b).

No presente estudo, testamos a hipótese de que diferentes clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, sob irrigação complementar podem apresentar respostas morfofisiológicas distintas entre si, com reflexos sobre o desempenho produtivo e eficiência do uso da água e dos nutrientes. Dessa forma, objetivou-se avaliar as respostas morfofisiológicas e produtivas, bem como a eficiência do uso da água e dos nutrientes de clones de palma forrageira irrigada em ambiente semiárido.

O experimento foi conduzido no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Forrageiras”, situado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (7° 59’ S; 38° 15’ O e Altitude 431 m). A cidade fica localizada na microrregião do Sertão Pernambucano, e apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, clima do tipo BShw’ (Semiárido quente-seco, com período chuvoso no verão), com precipitação pluvial média de 667,2 mm concentrada nos meses mais quentes do ano; umidade relativa do ar de 62,3%, temperatura média do ar de aproximadamente 25,9 °C e demanda atmosférica superior a 1800 mm ano⁻¹ (ALVARES et al., 2013; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b; NUNES et al., 2020a).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do Estudo

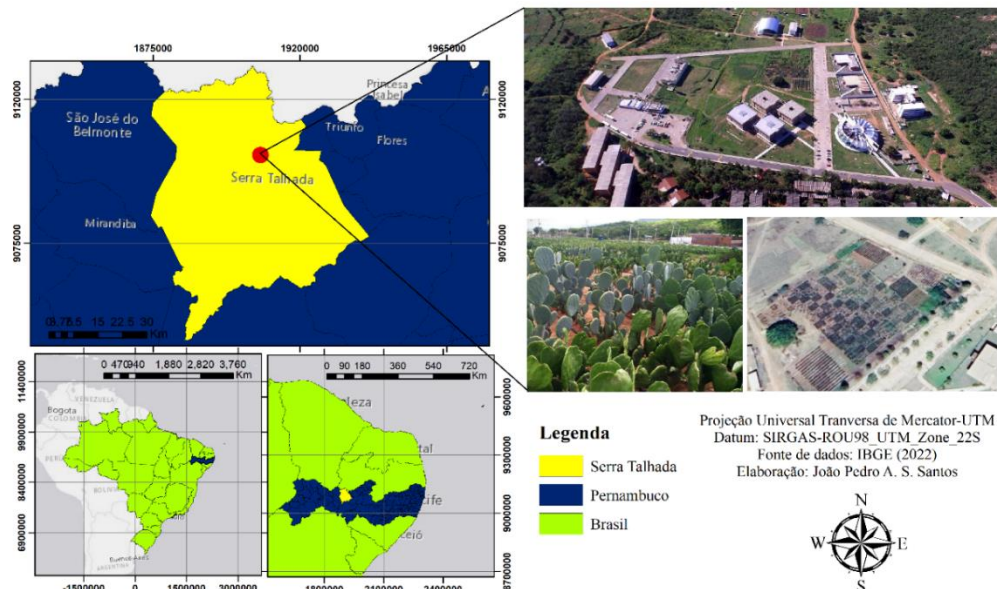


Figura 1. Mapa de localização da área experimental – UFRPE/UASt, Serra Talhada – PE, Brasil.

O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS et al., 2018), possuindo relevo plano, e com os atributos físicos e químicos mensurados na profundidade de 0,0–0,20 m: $\text{pH}_{(\text{água})} = 5,95$, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo = $0,32 \text{ dS m}^{-1}$, $\text{P}_{(\text{Mehlich-1})} = 168,96 \text{ mg dm}^{-3}$, $\text{K}^+ = 13,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Na}^+ = 1,09 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+} = 3,45 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{Mg}^{2+} = 1,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $\text{H} + \text{Al} = 0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, soma de bases = $20,25 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, capacidade de troca catiônica = $20,85 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação de base = 97,15%; matéria orgânica = $7,93 \text{ g kg}^{-1}$, carbono orgânico = $4,6 \text{ g kg}^{-1}$; densidade do solo de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$, areia = $828,6 \text{ g kg}^{-1}$, silte = $148,25 \text{ g kg}^{-1}$ e argila = $23,15 \text{ g kg}^{-1}$.

2.2 Arranjo experimental, material vegetal e tratamento aplicado

O primeiro ciclo experimental ocorreu de dezembro de 2016 a julho de 2018, o segundo de fevereiro de 2019 a fevereiro de 2020, o terceiro de setembro de 2020 a agosto

de 2021 e o quarto ciclo que ocorreu de agosto de 2021 até 15 de setembro de 2022. Após o preparo do solo com aração, gradagem e sulcagem, os cladódios foram plantados deixando-os com 50% do seu comprimento enterrado no solo. Em dois períodos diferentes (entre agosto de 2018 a janeiro de 2019 e entre março de 2020 a agosto de 2020) a área experimental permaneceu sem avaliações. Todavia, foi aplicando o corte de uniformização na área nos inícios do segundo e terceiro ciclo, deixando os cladódios de primeira ordem presentes nas plantas.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com três repetições (Figura 3). Seis clones de palma forrageira compreenderam os tratamentos, sendo: Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Orelha de Elefante Africana (OEA, *Opuntia undulata* Griffiths), V19 (*Opuntia larreyi* F.A.C. Weber ex Coult.), F8 (*Opuntia atropes* Rose), Miúda (MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e IPA-Sertânia (IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck). A área experimental possuiu dimensões de 18 m × 10,8 m, com espaçamento de 1,2 m entre linha e 0,2 m entre plantas (41.667 plantas ha⁻¹). Cada bloco abrangeu seis parcelas, com 3 fileiras com 15 plantas, totalizando 45 plantas, numa área de 10,8 m².

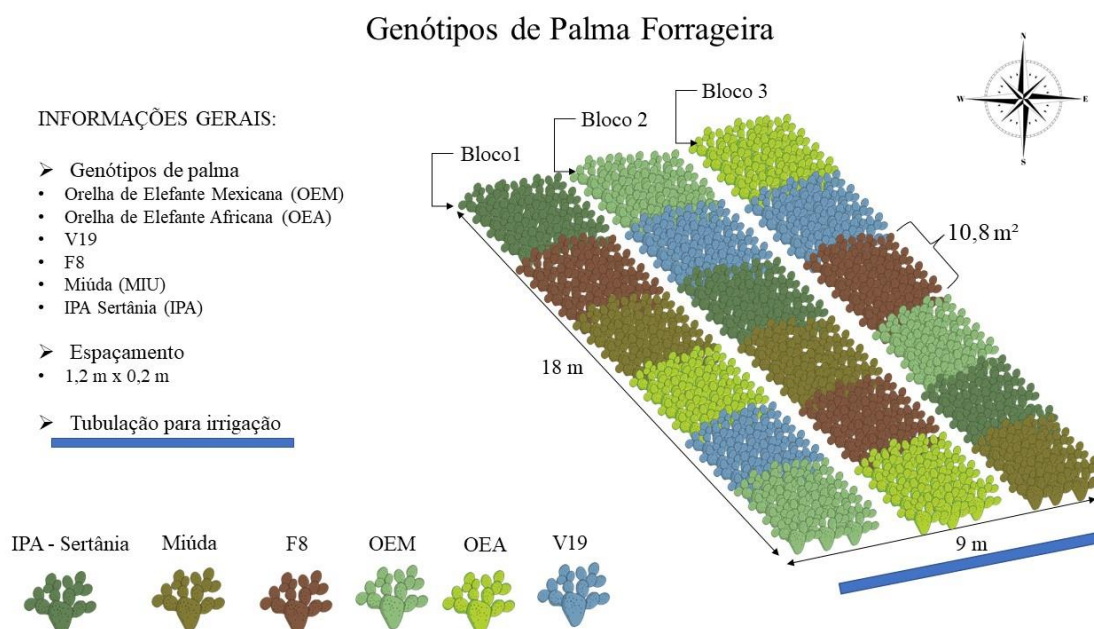


Figura 2. Informações gerais da área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, Serra talhada – PE, Brasil.

Foi considerado a parcela útil, a fileira central com exceção de uma planta de cada extremidade, totalizando 13 plantas por parcela útil numa área de 4,48 m². A adubação mineral foi efetuada após o plantio da palma (adubação de cobertura) e realizada a cada ciclo baseada a recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA (CAVALCANTI et al., 2008), aplicou-se 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 80 kg ha⁻¹ de fósforo e 130 kg ha⁻¹ de potássio.

2.3 Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada por meio de um sistema de gotejamento com emissores espaçados a 0,2 m entre si, com vazão de 1,62 L h⁻¹, com uniformidade de aplicação de 91% a uma pressão de 1 atm. Os eventos de irrigação foram realizados as segundas, quartas e sextas-feiras nos dois primeiros ciclos, e uma vez por semana nos dois últimos. A aplicação da lâmina foi com base na evapotranspiração da cultura (ET_c) (120%), obtida a partir do produto entre a evapotranspiração de referência (ET₀) e o coeficiente da cultura (K_c). A evapotranspiração de referência (ET₀) foi calculada a partir da equação de Penman-Monteith padronizada pelo boletim da FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Utilizamos o K_c de 0,52 conforme proposto por Queiroz et al. (2016).

A água utilizada na irrigação foi oriunda de poço artesiano localizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE e apresentou uma condutividade elétrica média de 1,51 dS m⁻¹ e pH de 6,84, sendo classificada como C3 (alta salinidade) de acordo com a classificação de Richards (1954) e concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L⁻¹ e 28,17 mg L⁻¹, respectivamente (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b).

Desde o plantio em dezembro de 2016 ao fim do quarto ciclo (setembro de 2022), os clones de palma receberam via irrigação, um total de 1.127,9 mm no primeiro ciclo (Figura 3A), 673,6 mm no segundo ciclo (Figura 3B), 155,3 mm no terceiro ciclo (Figura 3C) e 101,3 mm no quarto ciclo (Figura 3D). Quando somados a precipitação pluvial ocorrida em cada ciclo, resultaram em 2092,0 mm; 2193,6 mm; 813,3 mm e 1163,3 mm, respectivamente. A evapotranspiração de referência (ET₀) apresentou média diária nos quatros ciclos de 4,8; 4,9; 4,7 e 4,7 mm dia⁻¹.

2.3.1 Variáveis meteorológicas

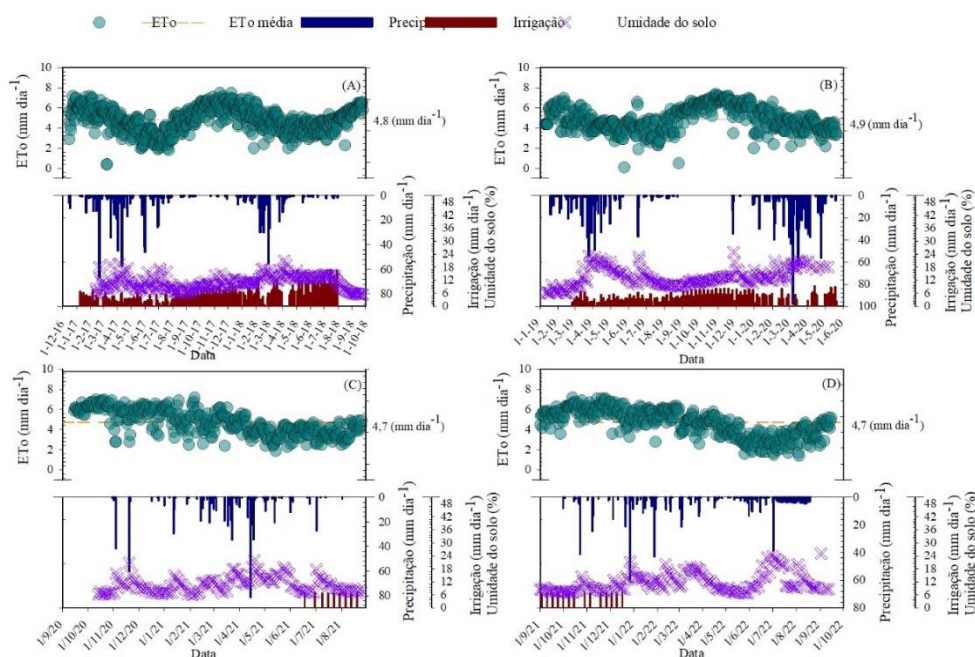


Figura 3. Evapotranspiração de referência (ET_0), umidade do solo, precipitação e lâmina de irrigação aplicada no cultivo de diferentes clones de palma forrageira no período de: (A) primeiro ciclo; (B) segundo ciclo; (C) terceiro ciclo; (D) quarto ciclo.

Os dados das variáveis meteorológicas de temperatura média, máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa do ar média, máxima e mínima (%); pressão atmosférica média, máxima e mínima (hPa); velocidade do vento (m s^{-1}), radiação global (MJ m^{-2}) e precipitação pluvial (mm) estão expostos na Figura 3.

Os dados foram obtidos a partir do monitoramento de uma estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorológica (INMET), localizada a uma distância de 20 m da área experimental.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1. Análise de crescimento

As análises biométricas foram realizadas em intervalos de trinta dias nos dois primeiros ciclos e, nos dois últimos, ao fim de cada ciclo, onde foram obtidas variáveis como: altura da planta (AP, cm) – mensurada da superfície do solo até o cladódio no ápice

da planta, largura da planta (LP, cm) – realizada por meio da média de duas medidas cruzadas das extremidades laterais; número total de cladódio por planta (NTC, unidades) e número de cladódios por ordem (i.e., NC1 – advindos do cladódio basal (mãe); NC2 – advindos do cladódio NC1 e, assim sucessivamente) (Silva et al., 2015).

Para mensurar as dimensões dos cladódios, foram coletados os dados de comprimento do cladódio (CC, cm) – medida da base do cladódio até seu ápice; largura do cladódio (LC, cm) – quantificada de uma extremidade a outra, na região mediana do cladódio; perímetro do cladódio (PC, cm) – referente a circunferência do cladódio com o auxílio de uma fita métrica, e espessura do cladódio (EC, mm) – espessura da região mediana do cladódio com auxílio de um paquímetro (Silva et al., 2015). Além disso, foi calculado com base nos modelos matemáticos ajustados por Silva et al. (2014), a área do cladódio (AC, cm²) por ordem de surgimento e por clone de palma forrageira (Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6). O índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) foi calculado por meio da razão entre a área total dos cladódios e o espaçamento utilizado na área (SILVA et al., 2014).

$$AC_{OEM} = \frac{0,7086 \times (1 - \exp^{-0,000045765 \times CC \times LC})}{0,0000045765} \quad (1)$$

$$AC_{OEA} = 0,7086 * [(1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC)) / 0,000045765] \quad (2)$$

$$AC_{V19} = 1,9610 * [(1 - \exp(0,0242 * PC)) / -0,0242] \quad (3)$$

$$AC_{F8} = 0,7318 * [(1 - \exp(-0,0034 * CC * LC)) / 0,0034] \quad (4)$$

$$AC_{MIU} = 0,7198 \times CC \times LC \quad (5)$$

$$AC_{IPA} = 1,6691 * [(1 - \exp(0,0243 * PC)) / -0,0243] \quad (6)$$

Foram realizadas amostragens de biomassa (peso fresco e seco) a cada três meses nos dois primeiros ciclos. O peso fresco foi obtido no momento do corte, com auxílio da balança eletrônica, onde foi coletado o peso da planta inteira para a estimativa do peso fresco. Além disso, dois cladódios foram selecionados a partir do terço médio da planta como subamostra para a determinação do peso seco por critério de representatividade em relação aos demais cladódios. Nos dois últimos ciclos, a biomassa foi realizada ao fim de cada ciclo, todavia, para a obtenção do peso seco, foram escolhidos um cladódio por ordem de surgimento. Para o peso seco, o material foi fracionado e acondicionado em sacos de papel para a obtenção do peso seco. Então, o material foi alocado em estufa de circulação de ar forçada a 55 °C, até atingir o peso constante de matéria seca (kg). A relação entre o peso fresco e o peso seco do cladódio resultou nos teores de matéria seca

(TMS) do cladódio. O rendimento de matéria fresca (Y.MF Mg ha⁻¹) foi estimado considerando o peso total fresco da planta e a densidade final das plantas da parcela útil. Para estimativa do rendimento de matéria seca (Y.MS Mg ha⁻¹) foram considerado os valores do teor de matéria seca e os valores estimados de matéria fresca.

Para a obtenção dos índices morfofisiológicos, os dados coletados de biometria e biomassa foram submetidos a análises de regressões sigmóides, usando a relação entre o IAC e matéria seca com os graus dias acumulados (GDA). Para determinar os índices morfofisiológicos e a fenologia dos dois últimos ciclos foram adaptados os parâmetros das regressões sigmóides do IAC e matéria seca dos dois primeiros ciclos. O GDA foi obtido por meio da diferença acumulada entre os valores de temperatura média do ar (°C) e a temperatura base da cultura (Tb, °C) (SOUZA et al., 2021), sendo adotado o valor de Tb de 22°C, conforme Araújo Júnior et al. (2017). Foram calculadas a taxa de crescimento absoluto da cultura (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia), taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia), taxa de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia) e área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), conforme as relações: TAL = TCA/IAC; TCR = TCA/MS e ACE = IAC/MS. O momento de corte foi determinado como sendo 25% após a máxima taxa de acúmulo de matéria seca.

A partir de análises de regressão foi determinada a fenologia vegetativa da palma forrageira, conforme Araújo Júnior et al., (2021c). Para o cálculo da taxa de produção de cladódio, foram usadas equações com coeficientes de determinação superiores a 0,85 e parâmetros significativos (p<0,05) usando o teste t (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). Foi considerada uma nova fase vegetativa quando a taxa de emissão de cladódio for superada por uma nova taxa de emissão de cladódio da ordem sucessora (AMORIM et al., 2017).

2.5 Balanço de Água no Solo

O balanço de água no solo foi determinado conforme o modelo de Libardi (2005), que consiste na conservação da massa de água em determinado volume de solo, descrito pela Equação 7.

$$- ETr = P + I \pm R \pm Q_z \pm \Delta A \quad (7)$$

em que, ΔA = variação de armazenamento de água no solo num volume controle (mm); P = precipitação pluvial (mm); I = irrigação (mm); R = escoamento superficial (mm); Q_z = fluxo vertical de água no solo (mm); ETr = evapotranspiração real (mm).

Para a determinação da variação de armazenamento de água no solo foram utilizados os valores iniciais e finais do conteúdo de água no solo. Esses valores foram obtidos por meio de leituras feitas por camada a cada 0,10 m, na profundidade de interesse ($Z = 0,70$ m), com o auxílio de uma sonda capacitiva (Diviner 2000®), conforme a Equação 8.

$$\Delta A = (\theta_f - \theta_i) \times L \quad (8)$$

em que, θ_f e θ_i = conteúdo de água volumétrico inicial e final, respectivamente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); L = profundidade de interesse (mm).

A precipitação pluviométrica (P) foi monitorada com auxílio de um pluviômetro automático (Modelo QMR101, Vaisala Technologie®) presente na estação meteorológica automática. Após obtidos, os valores foram integrados para o intervalo do período experimental conforme Equação (9).

$$\int_{t_i}^{t_j} p \, dt = P \quad (9)$$

onde, p – lâmina da precipitação (mm dia^{-1}); t – tempo (dia^{-1}).

O total de água de irrigação (I) foi obtido a partir da integração dos valores das lâminas aplicadas durante o período experimental, conforme a Equação (10).

$$\int_{t_i}^{t_j} i \, dt = I \quad (10)$$

em que, i = intensidade de irrigação (mm dia^{-1}); t = tempo (dia^{-1}).

O escoamento superficial (R) foi obtido a partir do ajuste da curva de regressão polinomial de grau 2 entre os dias que houve precipitação e o volume de água escoado. Para tal, calhas de 1 m^2 foram instaladas na área experimental para captação do volume de água (litros).

O fluxo vertical de água no solo (Q_z) foi realizado usando a base limite inferior do perfil do solo (profundidade previamente determinada: 0,60 m). Para tal, foram utilizados dados do potencial total de água da camada logo acima e abaixo do valor determinado, considerada ascensão capilar (AC) para valores positivos e, drenagem profunda (DP) quando negativos. Já a densidade do fluxo (q) foi quantificada a partir da equação proposta por Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$q = -K(\theta) \times \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (11)$$

em que, q = densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) na profundidade de controle (0,60 m); $K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia^{-1}); $\Delta\psi/\Delta z^{-1}$ = gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas inferiores e superiores à profundidade determinada.

A determinação da condutividade hidráulica do solo em função da umidade $K(\theta)$ foi baseada no método do perfil instantâneo descrito por Libardi (2005):

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (12)$$

em que, $K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); K_0 = condutividade hidráulica no solo saturado (mm dia^{-1}); γ = é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do conteúdo de água no solo (θ); θ_0 = conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição, sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SILVA et al., 2015b).

O gradiente de potencial total da água no solo ($\Delta\psi/\Delta z$), em mm^{-1} , nas camadas inferiores e superiores, foi estimado pela Equação 13:

$$\Psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (13)$$

em que, α e β são coeficientes adimensionais que foram ajustados, por meio do método do perfil instantâneo, para as camadas de 0,50 m (10,551 e -03,348) e 0,70 m (24,712 e -7,485) (SILVA et al., 2015b). A evapotranspiração real (ET_r, mm), foi determinada a partir do resíduo da equação do balanço de água no solo (Equação 7).

Os componentes do balanço de água no solo foram calculados em intervalos de dias não equidistantes, devido ao período de avaliação das épocas não serem uniformes, resultando em 7 períodos por época experimental (Tabela 1).

Tabela 1. Datas de início e término dos 7 períodos em que foram acumulados os componentes do balanço de água no solo, durante o período de 20 de fevereiro de 2017 a 12 setembro de 2022, Serra Talhada-PE

Período	Época 1		Época 2		Época 3		Época 4	
	Início	Final	Início	Final	Início	Final	Início	Final
1	20/02/2017	8/05/2017	16/01/2019	20/03/2019	21/10/2020	25/11/2020	03/09/2022	22/10/2021
2	15/05/2017	31/07/2017	27/03/2019	29/05/2019	02/12/2020	06/1/2021	29/10/2021	17/12/2021
3	07/8/2017	23/10/2017	05/06/2019	07/8/2019	13/01/2021	17/02/2021	24/12/2021	11/02/2022
4	30/10/2017	15/01/2017	14/08/2019	16/10/2019	24/02/2021	31/03/2021	18/02/2022	08/04/2022
5	22/01/2018	09/04/2018	23/10/2019	25/12/2019	07/04/2021	12/05/2021	15/04/2022	03/06/2022
6	16/04/2018	02/07/2018	01/01/2020	05/03/2020	19/05/2021	07/07/2021	11/06/2022	29/07/2022
7	09/7/2018	24/09/2018	13/03/2020	06/05/2020	14/07/2021	25/08/2021	05/08/2022	12/09/2022

2.6 Índices de eficiência hídrica

Os indicadores hídricos foram calculados com base no rendimento de matéria seca, na quantidade de água aplicada no cultivo via precipitação (P) e irrigação (I), e na ETr. A eficiência do uso da água é o índice utilizado para quantificar a quantidade de água utilizada pela planta para produzir matéria seca a partir do volume de água inserida no sistema de cultivo. E pode ser determinado com base em parâmetros como a produtividade final comercializável da cultura ou na biomassa total produzida, ou ao longo de todo o período de cultivo. Ainda, pode ser obtida contabilizando-se os investimentos econômicos fixos e variáveis na área cultivada (FERNÁNDEZ et al., 2020).

Assim, a eficiência do uso da água da cultura (WUEc) foi determinada como a relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a quantidade de água aplicada (P+I), conforme Fernández et al. (2020):

$$WUEc = \frac{\Sigma(ETr)}{\Sigma(P+I)} \quad (14)$$

em que, WUEc = eficiência do uso da água da cultura ($m^3 \text{ ha}^{-1} m^3 \text{ ha}^{-1}$); ETr = evapotranspiração real ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); P = precipitação ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); I = irrigação ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).

A eficiência do uso da água da cultura (*WUEc) com base na relação entre a biomassa total da cultura, que corresponde a toda massa vegetal produzida pela planta ao longo do período cultivado e a ETr, conforme Fernández et al. (2020).

$$*WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma(ETr)} \quad (15)$$

em que, *WUEc = eficiência do uso da água da cultura ($kg \text{ ha}^{-1} m^3 \text{ ha}^{-1}$); Biomassa = biomassa seca total da cultura ($kg \text{ ha}^{-1}$); ETr = evapotranspiração real ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade da água da cultura (WPc) foi calculada sendo a relação entre o rendimento de matéria seca final comercializável da cultura (Y) e a evapotranspiração real (FERNÁNDEZ et al., 2020).

$$WPc = \frac{Y}{\Sigma(ETr)} \quad (16)$$

em que, WPC = produtividade da água da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria seca (kg ha^{-1}) a partir dos cladódios de segunda ordem; ETr = evapotranspiração real ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade da água da cultura (*WPC) também foi calculada sendo a relação entre o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e o total de água envolvida na produção durante todo o ciclo (P + I) (FERNÁNDEZ et al., 2020).

$$*WPC = \frac{Y}{P + I} \quad (17)$$

em que, *WPC = produtividade da água da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria seca (kg ha^{-1}); P = precipitação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade da água de irrigação (WPI) foi obtida considerando o rendimento de produtividade da cultura sobre a quantidade de água de irrigação aplicada (I) (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$WPI = \frac{Y}{\Sigma(I)} \quad (18)$$

em que, WPI = produtividade da água irrigação ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria fresca e seca (kg ha^{-1}); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWPI) foi calculado a partir da relação entre a margem bruta (Margem bruta = Receitas - Custos variáveis) (em qualquer moeda; nesse caso foi utilizado dólar americano) e a irrigação aplicada durante todo o ciclo de cultivo (FERNÁNDEZ et al., 2020) conforme a Equação 19:

$$GEWPI = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad (19)$$

em que, GEWPI = produtividade econômica bruta da água de irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Margem bruta ($\text{US\$ ha}^{-1}$); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A receita foi determinada considerando o valor da Mg ha^{-1} de matéria fresca em 28,79 US\$ (considerando 1 US\$ = 5,21 BRL Brazilian Real). Para os custos fixos considerou-se o sistema de irrigação e a implementação da cultura. Já para os custos variáveis, o valor foi o somatório da depreciação dos componentes, energia elétrica e mão de obra (manutenção).

A produtividade econômica líquida da irrigação foi calculada sendo a relação entre a margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis) e a lâmina de irrigação acumulada de todo o período de cultivo (FERNÁNDEZ et al., 2020), conforme Equação 20:

$$NEWPi = \frac{\text{Margem líquida}}{\Sigma I} \quad (20)$$

em que, NEWPi = produtividade econômica líquida da irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Margem líquida (US\$ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

A produtividade econômica da água da cultura (EWPC) foi calculada baseada na relação entre o lucro produzido pela cultura (receita variável, custos fixos e de oportunidade) e a quantidade total de água aplicada em toda a área cultivada (FERNÁNDEZ et al., 2020), conforme a Equação 21:

$$EWPC = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (21)$$

em que, EWPC = produtividade econômica da água da cultura (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Profit = lucro do custo de oportunidade (US\$); P = precipitação (m³ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

O custo de oportunidade é valor da unidade do cladódio (0,03 US\$) multiplicado pela quantidade de cladódio comercializáveis (cladódios do terço médio de cada planta) produzido por todas as plantas do stand.

A produtividade econômica da água de irrigação (EWPI) foi calculada com base no valor do Profit e a lâmina de água aplicada via irrigação (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$EWPI = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (22)$$

em que, EWPI = produtividade econômica da água de irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Profit = lucro do custo de oportunidade (US\$); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

2.7 Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e eficiência do uso de nutrientes

O coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB) foi realizado com base no rendimento da matéria seca e das concentrações dos nutrientes nos cladódios da palma (Equações 23 e 24), utilizando método adotado por Léo et al. (2020).

$$CUB = \frac{YMS}{A_{(i)}} \quad (23)$$

em que, CUB - coeficiente de utilização biológica do nutriente, kg kg⁻¹; YMS – produção de matéria seca, kg ha⁻¹ e A_(i) – acúmulo do nutriente, kg ha⁻¹, obtido conforme Equação 9.

$$A_{(i)} = CN_{(i)} \times YMS \quad (24)$$

em que, $CN_{(i)}$ – concentração do nutriente, $kg\ kg^{-1}$.

Para a obtenção das concentrações dos nutrientes, o material vegetal seco foi processado em moinho do tipo Willey com peneira de 2 mm e, posteriormente, acondicionado em embalagens plásticas com identificação. A concentração do nitrogênio foi determinado pelo método de Kjeldahl e o fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram determinados a partir da espectrometria de emissão atômica com indução de plasma, seguindo metodologia da EMBRAPA (2000).

A eficiência do uso dos nutrientes (EUN) foi obtido a partir da relação entre o rendimento da cultura (Y), a concentração dos nutrientes presente na planta [Nu] e a evapotranspiração real acumulada (ΣETr) (SILVA et al., 2014b).

$$EUN(w) = \frac{Y \times [Nu]}{\Sigma ETr} \quad (25)$$

em que, EUN – eficiência do uso dos nutrientes ($g\ ha^{-1}\ mm^{-1}$); (w) - refere-se ao nutriente em análise (N, P, K, Ca e Mg); Y - é o rendimento da cultura ($kg\ ha^{-1}$); [Nu] – concentração do nutriente na amostra ($g\ kg^{-1}$); ETr – evapotranspiração real (mm).

2.8 Análises estatísticas

Os dados de produtividade (Y - matéria fresca e seca), biometria das plantas e dos cladódios, concentração dos nutrientes, coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e eficiência no uso dos nutrientes foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$), teste de normalidade (Shapiro-Wilk a 5% de significância) e homogeneidade (Oneillmathews a 5% de significância). Sendo significativo, as médias foram submetidas ao teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R. O ajuste das curvas de regressão dos índices morfofisiológicos e fenologia, assim como a confecção dos gráficos foram realizados no SigmaPlot (versão 14.0).

3. RESULTADOS

3.1 Índices morfofisiológicos de diferentes clones de palma forrageira

As taxas de crescimento da cultura são apresentadas na Figura 4. A área específica do cladódio retratada nas Figuras 4A, 4B, 4C e 4D para cada ciclo produtivo da palma. No primeiro ciclo, o comportamento da curva mostrou tendência de redução para V19, OEM, IPA, tendo a máxima área de cladódio específica (ACE) no grau dia 1, a V19 obteve o maior valor (1,72 ha Mg⁻¹) dentre todos os clones, seguida por IPA, F8, Miúda, OEM e OEA, com valores máximos de 0,82, 0,61, 0,46, 0,25 e 0,15 ha Mg⁻¹, respectivamente. Nota-se que para três clones (F8, Miúda e OEA) a curva da ACE apresentou comportamento crescente. Nos demais, ocorreu o efeito inverso, tendo o valor máximo logo no início e reduzindo ao fim do ciclo. Nos ciclos dois, três e quatro, o clone F8 apresentou os maiores valores (2,45, 1,52 e 2,22 ha Mg⁻¹).

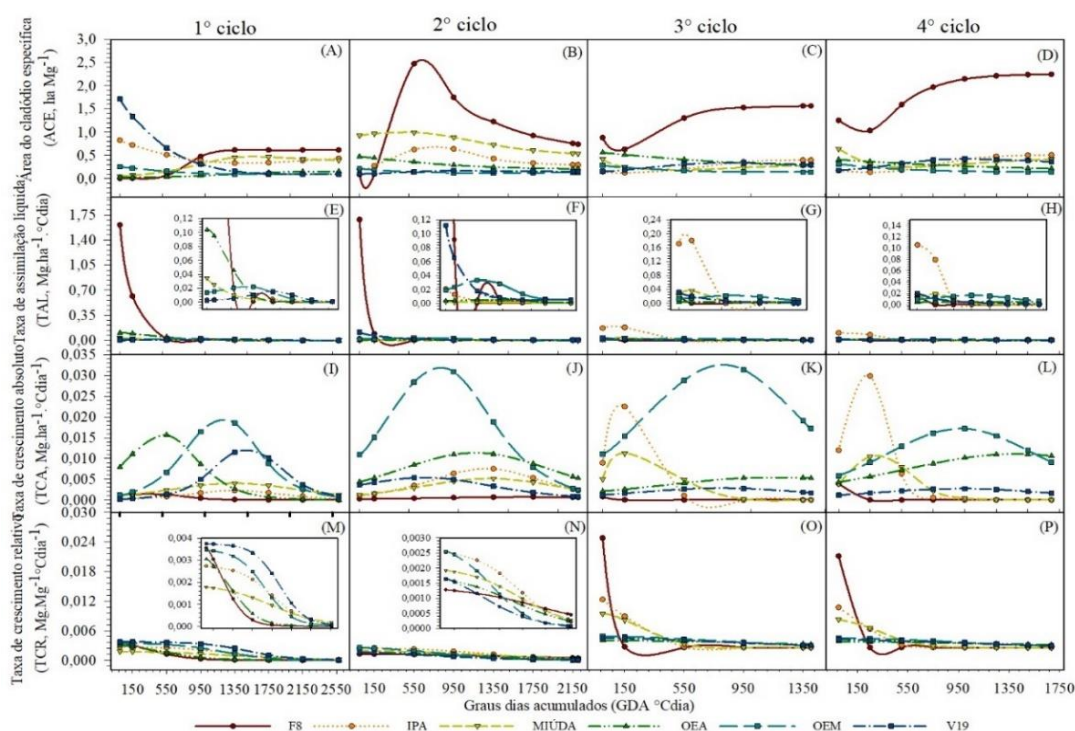


Figura 4. Área do cladódio específica – ACE (Mg ha⁻¹ °Cdía), taxa de assimilação líquida – TAL (Mg ha⁻¹ °Cdía), taxa de crescimento absoluto – TCA (Mg ha⁻¹ °Cdía) e taxa de crescimento relativo – TCR (Mg ha⁻¹ °Cdía) de diferentes clones de palma forrageira cultivadas no semiárido brasileiro.

No segundo e quarto ciclo, a Miúda obteve 0,93 e 0,57 ha Mg⁻¹, respectivamente, e no terceiro ciclo, a OEA apresentou 0,47 ha Mg⁻¹. A taxa de assimilação líquida apresentou desempenho diferente durante os ciclos de palma. O comportamento do clone F8 foi o que mais se diferenciou, atingindo o maior valor no primeiro e segundo ciclo (1,61 e 1,68 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente). Nota-se que a taxa de assimilação líquida sofre grande depressão, deixando abaixo dos demais clones. Assim, além da F8, no primeiro ciclo o clone que apresentou maior valor foi a OEA (0,103 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹), no ciclo subsequente a V19 teve o maior valor, além da F8, chegando a 0,111 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Nos dois ciclos posteriores, o clone com maior valor foi a IPA com 0,18 e 0,10 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ no terceiro e quarto ciclos, respectivamente. No terceiro (Figura 4G), o máximo valor ocorreu aos 150 °Cdia⁻¹, já no quarto, ocorreu logo no momento inicial (Figura 4H).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) para os seis diferentes clones de palma forrageira em quatro ciclos consecutivos de cultivo foram expostos nas Figuras 4I, 4J, 4K e 4L. O clone OEM teve o maior valor nos três primeiros ciclos (0,018, 0,030 e 0,031 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente). No último ciclo, o qual ficou apenas abaixo da IPA, o clone obteve 0,017 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, esse clone de palma forrageira obteve valor superior (~3 vezes maior) no segundo ciclo em relação a OEA, sendo o segundo com maior TCA, e 41% maior que a IPA no terceiro ciclo. A IPA, que teve o maior valor somente no último ciclo, mostrou crescimento gradativo, saindo de 0,002 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, no primeiro ciclo, até 0,029 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, no último, incremento de 1350%. O clone OEA teve TCA mediano em todos os ciclos, sendo que no primeiro e segundo ciclo, ficou apenas abaixo da OEM, destaque para a diferença do primeiro ciclo que foi apenas de 0,003 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹.

O clone Miúda teve bom resultado apenas no terceiro ciclo, porém, o valor foi muito abaixo da OEM (~3 vezes menor), nos demais ciclos sempre registrou crescimento relativamente baixo. A V19 e a F8, seguiram basicamente o mesmo comportamento. Com a V19 tendo altos valores de TCA no primeiro ciclo e decaindo ao longo dos três últimos. A F8 sempre se mostrou ser o clone com a menor taxa de crescimento absoluto entre todos os clones.

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi retratado nas Figuras 4M, 4N, 4O e 4P. Nos dois primeiros ciclos o comportamento dos seis clones é realçado no zoom de cada figura. No primeiro ciclo, o clone V19 obteve 0,0037 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹, configurando a maior TCR. Destaca-se que os quatro primeiros clones que tiveram maior TCR pertencem ao gênero *Opuntia* (F8, OEM e OEA, nessa ordem). Os demais clones, ambos do gênero

Nopalea, apresentaram valores inferiores, estando a Miúda (MIU) com a menor taxa de crescimento relativo ($0,0017 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$). Todavia, nos ciclos subsequentes, os dois clones (IPA e Miúda, nessa ordem), ocuparam a segunda e terceira melhor TCR, superadas pela OEM ($0,0025 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$) no segundo ciclo, e nos dois últimos ciclos pela F8 ($0,024$ e $0,020 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, respectivamente).

3.2 Fenofases, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte da palma forrageira

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8 são apresentados a taxa de emissão de cladódios, o acúmulo de matéria seca e o momento ideal de corte dos diferentes clones de palma forrageira durante os quatros ciclos. No primeiro ciclo (Figura 5) evidenciou-se que os clones Orelha de Elefante Africana (OEA) (Figura 5B) e IPA-Sertânia (IPA) (Figura 5D) estacionaram o desenvolvimento fisiológico na fenofase 2 (F2). Já os clones F8 (Figura 5A) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (Figura 5C) alcançaram a fenofase 3 (F3). As plantas de palma forrageira do clone F8 emitiram cladódios de quarta ordem, entretanto, não foi suficiente para superar a taxa de emissão dos cladódios de terceira ordem. Destacaram-se os clones de Miúda e V19, atingindo a quarta (F4) e quinta (F5) fenofase, respectivamente.

Os períodos de cada fase vegetativa obtiveram destaques opostos de acordo com cada clone, enquanto alguns tiveram as suas fases fenológicas bem distribuídas, outros indicaram diferenças expressivas de uma fase para outra. A fenofase 1 (F1) teve período mais curto nos clones F8, OEA, OEM, MIU e V19. Com exceção da OEM que perdurou por $710 \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$, os demais ficaram abaixo de $600 \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$. Já a IPA durou $1393 \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$, mais que o dobro da maioria dos clones. O momento de corte foi possível em cinco dos seis clones. Apenas o clone MIU teve o momento de corte fora do ciclo. Isso indica que as plantas mantiveram um acúmulo de matéria seca próximo ao pico ($0,0042 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$) por mais tempo em relação as outras. Tanto que a taxa de emissão de cladódios de segunda, terceira e quarta ordem foram semelhantes e com uma emissão entre $0,016$ e $0,020 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ em todo o período.

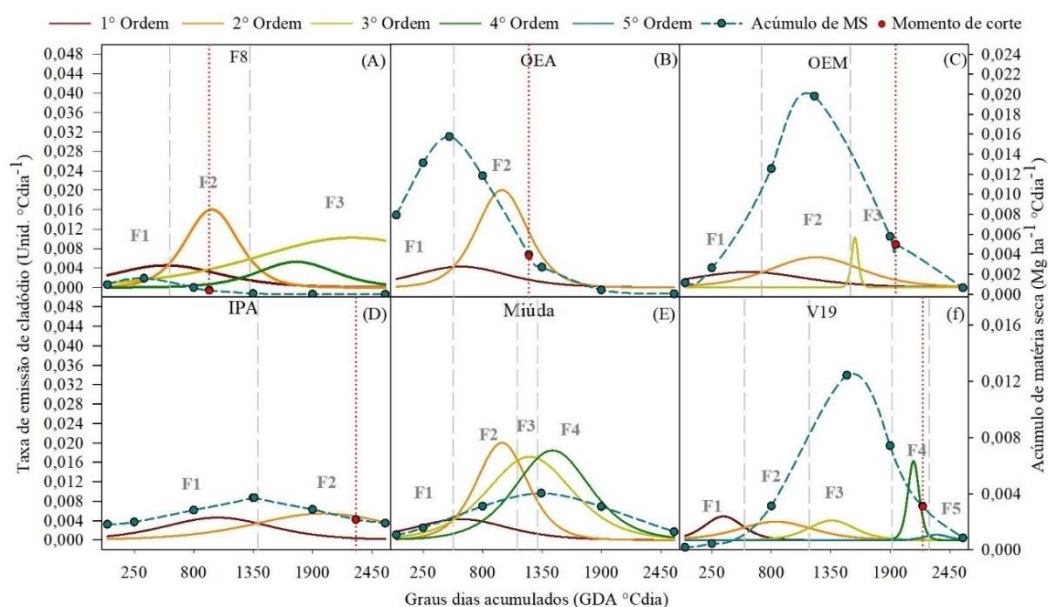


Figura 5. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no primeiro ciclo de cultivo.

O clone que apresentou o corte mais antecipado foi a F8 (944 °Cdia⁻¹), antes até da formação da terceira fenofase (F3), indicando que os cladódios emitidos na F3 não tiveram grande influência no acúmulo de matéria seca da planta. O clone OEA teve o momento de corte na metade do ciclo. Já os clones OEM, IPA e V19 tiveram o momento de corte ao fim dos seus ciclos.

No segundo ciclo (Figura 6), os dados expostos no gráfico expõem as fases fenológicas de todos os clones a partir da fase 2, quando a taxa de emissão de cladódios de segunda ordem é considerada predominante em relação à emissão de cladódios de outra ordem. Embora a diferença de período de cultivo entre os dois ciclos tenha sido pequena, poucas semelhanças foram visualizadas. A taxa de emissão dos cladódios apresentou valores de magnitude superiores para a maioria dos clones (e.g., F8, IPA, Miúda e V19; Figuras 6A, 6D, 6E e 6F, respectivamente) tendo destaque para o clone IPA que teve máxima taxa de emissão (0,15 Unid. °Cdia⁻¹) na fase 2 e emitindo cladódio de terceira ordem em um nível que se configurou a F3. Esse aumento gradativo de acúmulo de matéria seca da IPA influenciou na determinação do momento de corte. Como as plantas ainda estariam acumulando matéria seca em grandes proporções, próximo ao pico (0,008 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹), o momento de corte (25% após o pico de acúmulo de matéria seca) seria estimado para além do fim do ciclo.

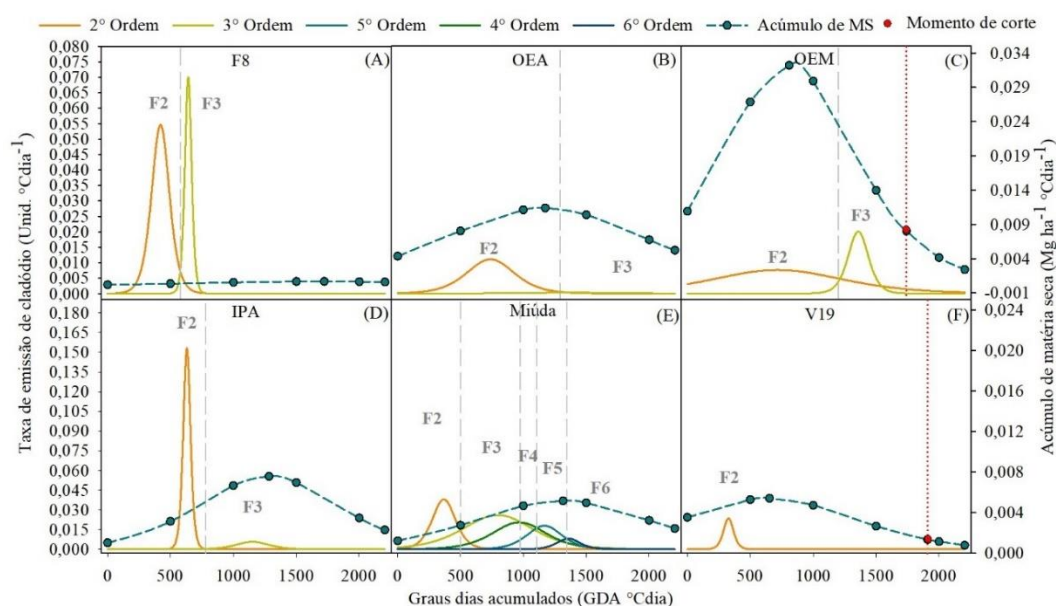


Figura 6. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no segundo ciclo de cultivo.

A única semelhança foi visualizada nos clones F8 e OEM (Figuras 4A e 4C, respectivamente) que chegaram a F3 assim como no ciclo anterior. Entretanto, nesse ciclo, o clone F8 não emitiu cladódios de quarta ordem como o ciclo anterior, por mais que não tenha sido suficiente para caracterizar uma fase 4 (F4). Esse resultado implicou nos valores de acúmulo de matéria seca da planta e, por consequência, dificultou analisar o momento de corte ideal desse clone.

No clone OEM, a fase 2 apresentou período mais longo, passando de 820 °Cdia⁻¹ no primeiro ciclo, para 1200 °Cdia⁻¹ no segundo. Entretanto, o aumento da fenofase não influenciou o momento de corte, tendo redução em 211 °Cdia⁻¹ em relação ao primeiro ciclo. O clone OEM apresentou acúmulo de matéria seca mais elevado (0,032 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹) em relação a todos os outros clones. O aumento de produção em menos tempo, evidencia a eficiência da OEM na produção de biomassa seca tornando-o o mais produtivo do ciclo. O clone OEA (Figura 6B), diferentemente do ciclo 1, emitiu cladódios de 3ª ordem numa taxa de emissão que se configurou a fase 3 (F3). Destaca-se que o acúmulo de matéria seca foi constante durante o ciclo, tendo um pico de 0,01 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ aos 1167 °Cdia⁻¹, sendo assim, impossibilitado de estimar o momento ideal de corte, uma vez que, o clone se mostrou altamente produtivo durante todo o ciclo de cultivo.

As diferenças mais acentuadas foram vistas nos clones Miúda e V19. A Miúda se diferenciou no surgimento de nova fase entre todas as outras, chegando a emitir cladódios de 6ª ordem, configurando a fase 6 (F6). O acúmulo de matéria seca atingiu valores elevados em relação ao primeiro ciclo, tendo ocorrido o pico de $0,0052 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ na F5, indicando constância durante todo o cultivo. Entretanto, a V19 se mostrou ser o clone com menos poder de desenvolvimento (i.e., surgimento de nova fase), estacionando na F2. Mudança significativa, uma vez que no primeiro ciclo esse clone chegou a emitir cladódios de quinta ordem, configurando F5. É claro que a baixa emissão impactou no acúmulo de matéria, que em comparação com o primeiro ciclo apresentou redução acentuada.

O terceiro ciclo (Figura 7) expôs igualdade não visualizada nos ciclos anteriores, principalmente no aparecimento de novas fases. Todos com exceção da Miúda, que permaneceram na fase 2 até o fim do ciclo produtivo. O clone que se sobressaiu foi a Miúda (Figura 7E), onde foi viável determinar a quarta fase fenológica das plantas. Sendo ainda possível observar a emissão de cladódios de 5ª ordem. Entretanto, não se fazendo provável a definição de uma nova fase fenológica (F5). O maior pico ($0,027 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$) de emissão de cladódios foi registrado na F2, assim como o máximo acúmulo de matéria seca ($0,015 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$). O tempo de duração das fases registrou alterações significativas, nesse ciclo a fase 2 durou por $560 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, $61 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ do que registrado no ciclo anterior. Apesar da fase 4 ter sido maior, o acúmulo de matéria seca atingiu o pico ao longo da fase 2 e, posteriormente, apresentou declínio em meados da fase 3. Essa redução propiciou determinar o momento de corte da palma, que já apresentava baixa taxa de acúmulo durante a emissão de cladódios de 4ª ordem.

Apesar de a Miúda ter sido o clone que mais promoveu novas fases fenológicas. A taxa de emissão de maior magnitude foi a IPA (Figura 7D), registrando $0,117 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$. Os clones F8 e OEA (Figura 7A e 7B, respectivamente) flutuaram em valores similares, $0,003 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ para ambos. Logo abaixo, o clone V19 (Figura 7F) seguiu o comportamento semelhante ao ciclo anterior. Todavia, os resultados nesse período foram maiores, saindo de $0,00308 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ no segundo ciclo para $0,0183 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ no terceiro.

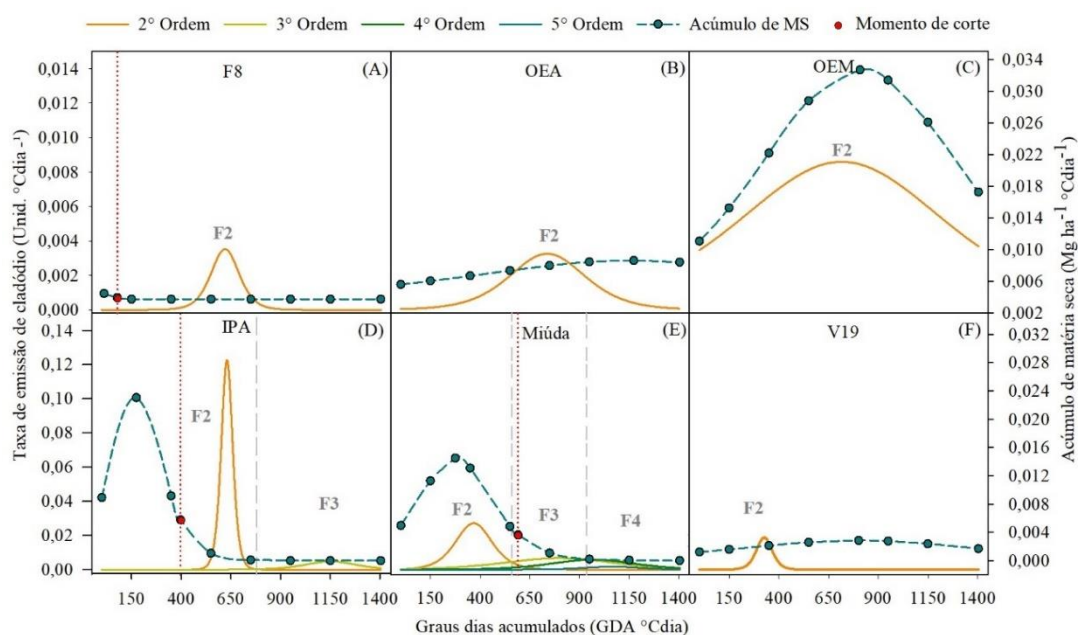


Figura 7. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no terceiro ciclo de cultivo.

Em relação ao acúmulo de matéria seca, a OEM se manteve superior em relação aos outros clones, chegando a 0,0327 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Ao fim do ciclo, as plantas de palma Orelha de Elefante Mexicana apresentaram aproximadamente 0,018 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, valor superior ao pico apresentado por Orelha de Elefante Africana, V19 e F8. Com essa alta taxa, não foi possível determinar o momento de corte ideal da palma. Algo parecido ocorreu nos clones OEA e V19 que permaneceram acumulando biomassa de forma constante, sem apresentar declínio acentuado que permitisse projetar qual momento seria o ideal para a retirada das plantas da área de cultivo.

O acúmulo de matéria seca do clone IPA obteve no seu auge 0,023 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ ainda no início do ciclo (175 °Cdia). Comportamento diferente do ciclo anterior, que devido ao alto acúmulo constante durante todo o cultivo, não foi possível determinar o momento de corte. Os dados indicam que o pico ocorreu quando as plantas estariam na primeira fase fenológica (dados não expostos no gráfico), conjecturando que apesar da alta taxa de emissão de cladódio, eles não obtiveram grande produção de biomassa.

O quarto ciclo (Figura 8) exibiu comportamento semelhante ao ciclo anterior. A maioria dos clones manteve, rigorosamente, o mesmo nível de desenvolvimento, com exceção da F8 e IPA.

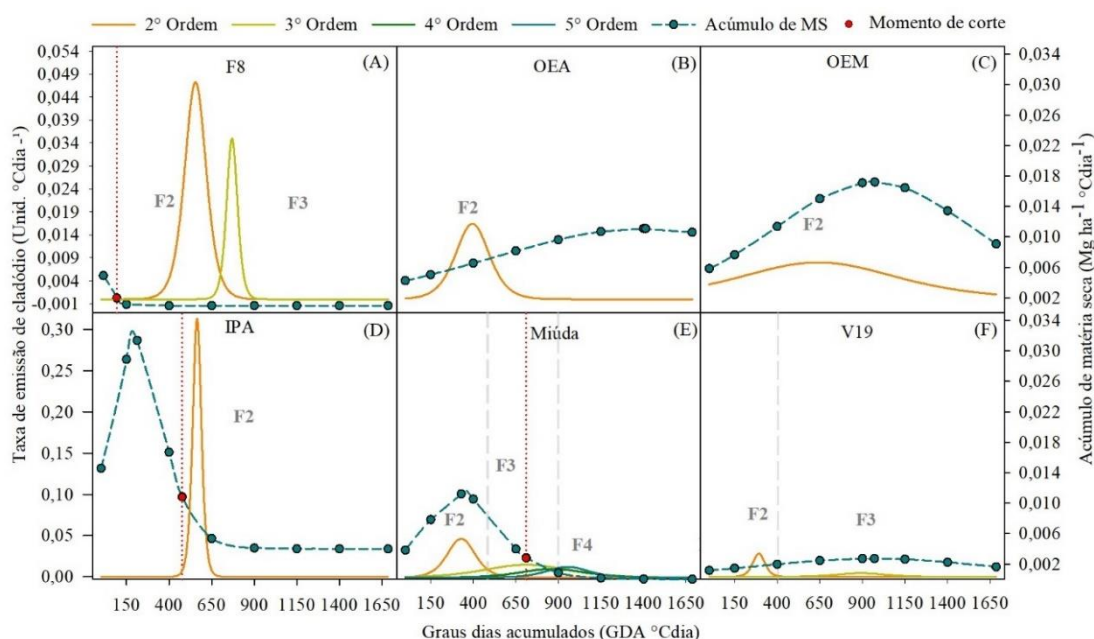


Figura 8. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte de diferentes clones de palma forrageira no quarto ciclo de cultivo.

A taxa de emissão de cladódio apresentou valores e comportamento diferente entre os dois ciclos, assim como, o acúmulo de matéria seca e o momento ideal de corte. Em geral, o clone que se destacou no âmbito desenvolvimento fisiológico (i.e., surgimento de nova fase fisiológica) foi a Miúda, atingiu em média, pelo menos a quarta fase vegetativa. O período de cada fenofase apontou redução $76\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ na F2 e $38\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ para a F3, entretanto, o momento de corte se prolongou até os $120\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ a mais que o anterior devido à taxa de acúmulo de matéria seca que obteve o pico inferior ($0,011\text{ Mg ha}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), que combinado com a taxa de emissão de cladódio na F3 e F4 superiores em relação ao ciclo 3, propiciou uma flutuação menos acidentada do acúmulo de matéria seca.

A F8 indicou desenvolvimento superior no último ciclo de cultivo, tendo emissão considerável de cladódios de terceira ordem, tendo um pico de $0,046\text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ na F2 aos $542\text{ }^{\circ}\text{Cdias}$ acumulados e $0,033\text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ na F3 aos $762\text{ }^{\circ}\text{Cdias}$. Assim como anteriormente, o momento de corte foi precoce, indicado logo no início do ciclo devido ao baixo acúmulo de matéria seca. O clone V19 também apresentou aumento no número de fases, entretanto os resultados se mantiveram semelhante com o ciclo anterior. Os clones OEM, OEA e IPA, apresentaram apenas cladódios de segunda ordem configurando a F2. No geral, a diferença entre os clones se deu pela massa seca acumulada do cladódio por ordem de surgimento. O clone OEM apresentou maior acúmulo constante de matéria seca ao longo de todo o ciclo, porém, a IPA atingiu o maior pico $0,030\text{ Mg ha}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$.

Assim como a OEM, a V19 e a OEA, apresentaram constância na taxa de acúmulo de matéria seca, entretanto, em dimensões distintas, não sendo possível determinar o momento ideal de corte. Por outro lado, o cálculo dessa projeção foi realizado na IPA e notou-se que seguiu o mesmo comportamento, visto anteriormente, na Figura 7.

3.3 Rendimentos de produtividade em massa fresca e seca e biometria final

O rendimento de matéria fresca (Y.MF) e seca (Y.MS), teor de matéria seca (TMS), número total de cladódios (NTC), altura (AP) e largura (LP) da planta, índice de área do cladódio (IAC) e as variáveis biométricas dos cladódios (comprimento - CC, largura - LC, espessura - EC e perímetro do cladódio - PC) dos diferentes clones de palma forrageira em quatro cortes seguidos estão expostos na Tabela 2.

Os clones de palma forrageira apresentaram diferenças entre si ($p < 0,05$) para todas as variáveis analisadas (Tabela 2). As palmas Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Orelha de Elefante Africana (OEA) obtiveram destaque positivo no rendimento de matéria fresca e seca e, juntamente com a Miúda, nas variáveis de crescimento. Ainda, a Miúda destacou-se com a maior NTC. O número total de cladódios produzidos pelas plantas ao longo de todos os períodos experimentais evidenciou que, em média, o clone Miúda se diferenciou estatisticamente dos outros clones ($p < 0,05$), tendo destaque no segundo ciclo quando produziu uma média de 51,30 unidades de cladódio por planta. Em alguns casos, esteve semelhante a F8 no primeiro ciclo, OEM no terceiro e IPA no quarto ciclo.

Os dados de altura e largura da planta só apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) nos dois últimos ciclos. Porém, é notório que, quando significativo, as plantas do clone F8 apresentaram números de crescimento inferiores em relação aos demais clones. As variáveis biométricas elucidaram diferenças significativas entre os diferentes clones de palma forrageira. Destaque para o clone OEA que expôs os resultados mais expressivos durante os quatro ciclos de cultivo. Tratando-se da matéria fresca, o clone Orelha de Elefante Africana (OEA) mostrou ser igual estatisticamente a OEM em todos os ciclos, com exceção da terceira época de cultivo, onde os clones se diferenciaram (OEM: 534,93 Mg ha⁻¹; OEA: 228,31 Mg ha⁻¹) (Tabela 2).

Tabela 2. Rendimento de matéria fresca e seca, teor de matéria seca e variáveis biométricas de diferentes clones de palma forrageira cultivadas em quatro ciclos consecutivos no município de Serra Talhada - PE

Clones de Palma Forrageira								
Ciclo	Variáveis	OEM	OEA	V19	MIÚDA	IPA	F8	p-valor
1º ciclo	NTC	12,50 b	11,00 b	10,34 b	21,50 a	12,00 b	28,83 a	0,000034
	AP	74,50	77,50	96,25	64,83	63,50	58,17	0,457440
	LP	65,00	79,92	52,21	61,92	69,08	80,33	0,683480
	CC	26,25 ab	29,97 a	21,87 ab	18,53 b	24,17 ab	20,71 ab	0,046970
	LC	22,87 a	24,53 a	19,32 ab	10,53 c	15,65 bc	13,04 c	0,000020
	EC	24,58 a	33,34 a	40,21 a	31,14 a	35,75 a	22,34 a	0,046730
	PC	70,73 ab	77,28 a	60,21 abc	43,34 c	57,59 abc	49,97 bc	0,008800
	IAC	2,16	2,58	1,31	1,21	1,22	1,24	0,385500
	Y.MF	258,90 a	252,57 a	287,27 a	102,81 b	43,43 bc	21,34 c	0,0000006
	Y.MS	22,93 a	13,22 b	13,24 b	8,40 bc	3,60 c	1,17 c	0,000083
2º ciclo	TMS	0,09 a	0,05 b	0,05 b	0,07 ab	0,07 ab	0,06 ab	0,029680
	NTC	21,30 b	8,70 b	9,33 b	51,30 a	19,70 b	17,00 b	0,00019
	AP	82,66	61,33	80,66	80,00	89,33	64,00	0,256100
	LP	70,17	79,00	42,67	98,00	80,00	79,83	0,395060
	CC	19,04	26,52	19,66	14,57	24,09	20,37	0,21054
	LC	16,16 ab	22,85 a	17,22 ab	6,74 c	14,42 abc	11,69 bc	0,00143
	EC	20,56	13,48	34,82	20,87	27,14	15,34	0,09788
	PC	56,83 ab	78,37 a	60,12 ab	38,65 ab	57,45 ab	52,79 ab	0,008264
	IAC	3,14	1,96	1,10	3,40	1,90	2,38	0,751390
	Y.MF	630,68 a	448,13 ab	181,95 ab	162,62 ab	157,53 ab	14,87 b	0,046910
3º ciclo	Y.MS	42,17 a	25,55 ab	9,76 ab	9,53 ab	11,05 ab	0,85 b	0,018790
	TMS	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	0,107850
	NTC	23,33 a	6,67 b	6,33 b	27,00 a	18,67 ab	2,67 b	0,001762
	AP	85,00 a	69,67 a	64,34 a	73,67 a	80,34 a	11 b	0,000173
	LP	79,67 a	64,00 ab	34,17 bc	75,67 a	67,17 ab	9,33 c	0,000898
	CC	29,33 a	28,08 a	18,33 ab	18,66 ab	21,66 ab	5,91 b	0,007278
	LC	28,16 a	22,5 ab	20,66 abc	10,5 cd	12,83 bcd	3,5 d	0,00018
	EC	35,16 ab	33,83 ab	43,33 a	41,16 a	35,83 a	6,00 b	0,01518
	PC	64,00 a	70,5 a	36,66 ab	45,5 ab	58,00 ab	12,75 b	0,01857
	IAC	2,53	1,70	1,27	3,30	2,92	3,96	0,894290
4º ciclo	Y.MF	534,93 a	228,31 b	66,81 bc	96,28 bc	116,23 bc	1,44 c	0,000020
	Y.MS	46,38 a	12,03 b	4,62 b	6,99 b	7,71 b	0,08 b	0,000000
	TMS	0,09 a	0,05 ab	0,07 ab	0,07 ab	0,07 ab	0,02 b	0,022130
	NTC	18,33 ab	8,67 b	8,67 b	33,00 a	30,67 a	14,67 ab	0,00741
	AP	79,33 ab	86,00 a	63,34 ab	76,00 ab	80,33 ab	47,00 b	0,02900
	LP	76,16 ab	69,33 ab	36,17 b	67,67 ab	100,83 a	58,33 ab	0,03025
	CC	25,00	28,22	19,91	13,97	25,22	13,75	0,05236
	LC	19,44 a	13,77 abc	18,83 a	7,35 c	16,14 ab	10,33 bc	0,00234
	EC	25,88 ab	39,55 a	27,39 ab	22,61 b	36,05 ab	7,16 c	0,000283
	PC	66,44 ab	73,83 a	53,33 ab	39,85 b	62,19 ab	44,67 b	0,011431
	IAC	4,21 ab	2,93 ab	1,25 ab	2,59 ab	5,49 a	1,08 ab	0,039812
	Y.MF	322,35 a	337,15a	64,20 bc	71,96 bc	164,14 b	5,52 c	0,000000
	YMS	29,30 a	29,33 a	5,28 b	6,49 b	12,41 ab	0,48 b	0,00058
	TMS	0,08	0,09	0,08	0,10	0,08	0,09	0,75894

OEM: Orelha de Elefante Mexicana; OEA: Orelha de Elefante Africana. NTC: número total de cladódios (unidade). AP: altura de planta (cm). LP: largura de planta (cm). CC: comprimento de cladódio (cm). LC: largura de cladódio (cm). EC: espessura de cladódio (mm). PC: perímetro de cladódio (cm). IAC: índice de área do cladódio ($m^2 m^{-2}$). Y.MF: rendimento de matéria fresca ($Mg ha^{-1}$). Y.MS: rendimento de matéria seca ($Mg ha^{-1}$). TMS: teor de matéria seca (decimal). Letras diferentes entre os tratamentos na mesma data diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Os resultados de menor magnitude foram observados nas plantas do clone F8, tendo média de 10,29 Mg ha⁻¹ durante todo o período experimental. Esse valor é aproximadamente 41 vezes menor que a produtividade média de matéria fresca da OEM. Os demais clones (V19, Miúda e IPA) obtiveram média de produtividades iguais estatisticamente em todo o período, com exceção do primeiro ciclo, quando a V19 se diferenciou estatisticamente das plantas do gênero *Nopalea*.

O rendimento de matéria seca teve comportamento semelhante ao rendimento de matéria fresca (Tabela 2). Em média, a OEM teve o melhor desempenho nos três primeiros ciclos, igual a OEA apenas no último. Os menores rendimentos no primeiro ciclo foram dos clones Miúda (8,40 Mg ha⁻¹), IPA (3,60 Mg ha⁻¹) e F8 (1,17 Mg ha⁻¹). Todavia, os resultados de rendimento de MS da Miúda foram considerados satisfatórios, uma vez que, não se diferenciaram estatisticamente da produção das plantas de V19 e OEA.

No geral, as OEA e OEM diferenciaram-se significativamente dos demais clones tanto para o rendimento de matéria fresca e seca. Com a soma dos quatro ciclos, a OEM (1746,86 e 140,78 Mg ha⁻¹ de MF e MS, respectivamente) foi superior a OEA, com valores de 1266,16 e 80,13 Mg ha⁻¹ de MF e MS, respectivamente. O teor de matéria seca (TMS), apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), no primeiro e terceiro ciclo. Nota-se, que quando houve diferença significativa, os maiores teores foram vistos na OEM, chegando a 9% de matéria seca produzida por kg de matéria verde.

3.4 Balanço hídrico do solo

Os componentes do balanço de água no solo avaliados em quatro épocas de cultivo de diferentes clones de palma forrageira estão expostos Tabela 3. A primeira época de cultivo totalizou 2095 mm de água no sistema de cultivo via precipitação e irrigação (P + I) em 588 dias de avaliação.

A drenagem profunda (DP) foi maior (-17,54 mm), somando todos os tratamentos, que a ascensão capilar (AC) (16,6 mm), os maiores valores foram vistos no clone F8 e os menores na OEM. Nota-se que nos períodos em que teve maior incremento de água (primeiro e quinto) foram os que apresentaram valores elevados de escoamento (R), mas também, maior volume de evapotranspiração real (ET_r).

A variação de armazenagem de água no solo (ΔA) apresentou valores diferentes entre os clones. Nota-se que as maiores variações no volume de água presente no solo

ocorreram entre o quinto e sétimo período. Ao fim da primeira época, a V19 apresentou maior ETr (média -2001,8 mm) com menos água armazenada no solo (-10 mm). Já a menor ETr foi na F8 (-1979,1 mm), com ΔA de 12 mm.

A segunda época de avaliação compreendeu 483 dias, com precipitação de 1520 mm e volume total de irrigação de 673 mm, totalizando 2193,00 mm. Os clones Miúda e V19 tiveram destaque na DP (20,36 e 20,17 mm, respectivamente), os valores elevados ocorreram no 6º período de avaliação, onde os valores de P+I foram os mais elevados (375,4 mm). A maior quantidade de água aplicada no sistema provocou maior escoamento e menor taxa de evapotranspiração. Entretanto, observou-se maior armazenagem de água na camada controle (Z = 0,60 m). O clone V19 apresentou menor valor de ETr (-1922,3 mm) mesmo com o maior valor de variação de armazenagem de água no solo (118,4 mm). Já o clone OEA teve o maior valor de evapotranspiração dentre todos os sistemas cultivados (-1966,9 mm).

Tabela 3. Componentes do balanço hídrico do solo em quatro ciclos de cultivo de diferentes clones de palma forrageira em ambiente semiárido.

1º Época									2º Época							
Orelha de Elefante Africana																
PER	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr
1	84	355,8	88,7	-1,16	0,31	-42,5	22,4	-378,8	70	178,8	33,8	-0,01	0,00	-20,0	74,7	-202,1
2	84	217,4	76,6	0,00	1,22	-24,2	9,5	-261,5	70	365,0	75,6	-0,06	0,00	-48,9	-14,1	-405,7
3	84	4,8	185,0	0,00	0,18	0,0	-19,8	-209,8	70	65,4	95,5	0,00	0,00	-4,3	-10,6	-167,3
4	84	29,4	202,7	0,00	0,00	-0,5	12,4	-219,3	70	3,6	150,9	0,00	0,00	0,0	6,8	-147,7
5	84	329,8	179,6	-1,82	0,86	-35,9	57,4	-415,1	70	52,8	171,3	0,00	0,18	-5,3	-3,2	-222,3
6	84	22,8	264,7	0,00	0,52	-0,3	-49,0	-336,7	71	288,6	86,8	0,00	0,02	-28,8	40,1	-306,6
7	84	8,4	129,3	0,00	0,00	-0,1	-30,7	-168,4	62	565,4	59,1	-0,01	0,00	-111,5	-2,4	-515,3
Total	588	968,4	1126,7	-2,98	3,09	-103,5	2,1	-1989,6	483	1519,6	673,0	-0,08	0,19	-218,8	91,3	-1966,9
F8																
1	84	355,8	88,7	-8,62	0,25	-42,5	25,5	-368,2	70	178,8	33,8	0,00	0,00	-20,0	68,5	-208,3
2	84	217,4	76,6	0,00	2,49	-24,2	9,5	-262,7	70	365,0	75,6	-0,05	0,26	-48,9	-2,1	-394,0
3	84	4,8	185,0	0,00	0,40	0,0	-22,1	-212,4	70	65,4	95,5	0,00	0,00	-4,3	-16,0	-172,7
4	84	29,4	202,7	0,00	0,01	-0,5	17,8	-213,8	70	3,6	150,9	0,00	0,00	0,0	5,7	-148,8
5	84	329,8	179,6	-1,20	3,52	-35,9	58,5	-417,3	70	52,8	171,3	0,00	0,00	-5,3	8,1	-210,8
6	84	22,8	264,7	0,00	2,19	-0,3	-46,5	-335,9	71	288,6	86,8	-0,65	0,00	-28,8	48,9	-297,1
7	84	8,4	129,3	0,00	0,06	-0,1	-31,0	-168,7	62	565,4	59,1	-0,01	0,02	-111,5	-13,3	-526,3
Total	588	968,4	1126,7	-9,81	8,92	-103,5	11,7	-1979,1	483	1519,6	673,0	-0,71	0,28	-218,8	99,8	-1957,9
Miúda																
1	84	355,8	88,7	-0,64	0,40	-42,5	1,7	-400,1	70	178,8	33,8	0,00	0,01	-20,0	83,5	-193,4
2	84	217,4	76,6	0,00	1,37	-24,2	4,6	-266,5	70	365,0	75,6	-1,04	0,07	-48,9	-13,3	-404,0
3	84	4,8	185,0	0,00	0,27	0,0	9,1	-181,0	70	65,4	95,5	-0,01	0,00	-4,3	-11,8	-168,4
4	84	29,4	202,7	-0,01	0,01	-0,5	16,3	-215,3	70	3,6	150,9	0,00	0,00	0,0	6,1	-148,4
5	84	329,8	179,6	-3,52	0,44	-35,9	27,4	-443,0	70	52,8	171,3	-1,57	0,00	-5,3	17,4	-199,9
6	84	22,8	264,7	-0,07	0,44	-0,3	-30,1	-317,7	71	288,6	86,8	-17,54	0,00	-28,8	39,8	-289,3
7	84	8,4	129,3	-0,03	0,00	-0,1	-37,7	-175,4	62	565,4	59,1	-0,21	0,07	-111,5	-8,8	-521,6
Total	588	968,4	1126,7	-4,26	2,94	-103,5	-8,7	-1999,1	483	1519,6	673,0	-20,36	0,15	-218,8	112,9	-1925,0

Continuação tabela 3

IPA-Sertânia																
1	84	355,8	88,7	-0,01	0,54	-42,5	9,0	-393,5	70	178,8	33,8	0,00	0,01	-20,0	70,3	-206,6
2	84	217,4	76,6	0,00	0,69	-24,2	11,1	-259,3	70	365,0	75,6	-0,38	0,37	-48,9	7,3	-384,4
3	84	4,8	185,0	0,00	0,16	0,0	-1,0	-191,0	70	65,4	95,5	-0,05	0,04	-4,3	-16,6	-173,2
4	84	29,4	202,7	0,00	0,04	-0,5	8,8	-222,9	70	3,6	150,9	0,00	0,01	0,0	2,2	-152,3
5	84	329,8	179,6	-0,32	0,04	-35,9	42,9	-430,4	70	52,8	171,3	-0,04	0,14	-5,3	1,0	-218,0
6	84	22,8	264,7	-0,01	0,13	-0,3	-27,8	-315,1	71	288,6	86,8	0,00	0,21	-28,8	50,1	-296,7
7	84	8,4	129,3	-0,01	0,00	-0,1	-42,6	-180,2	62	565,4	59,1	-0,10	0,15	-111,5	-10,8	-523,8
Total	588	968,4	1126,7	-0,35	1,60	-103,5	0,5	-1992,4	483	1519,6	673,0	-0,57	0,92	-218,8	103,5	-1955,0
V19																
1	84	355,8	88,7	-0,04	0,01	-42,5	2,7	-399,3	70	178,8	33,8	0,00	0,95	-20,0	83,7	-194,1
2	84	217,4	76,6	0,00	0,02	-24,2	16,1	-253,7	70	365,0	75,6	-1,23	1,15	-48,9	-5,9	-397,5
3	84	4,8	185,0	0,00	0,00	0,0	-7,5	-197,3	70	65,4	95,5	0,00	0,02	-4,3	-12,7	-169,4
4	84	29,4	202,7	0,00	0,00	-0,5	19,0	-212,7	70	3,6	150,9	0,00	0,00	0,0	7,5	-147,0
5	84	329,8	179,6	-0,04	0,00	-35,9	42,5	-430,9	70	52,8	171,3	-0,02	0,32	-5,3	10,1	-209,1
6	84	22,8	264,7	-0,01	0,00	-0,3	-34,2	-321,4	71	288,6	86,8	-16,92	0,15	-28,8	62,4	-267,4
7	84	8,4	129,3	0,00	0,00	-0,1	-48,8	-186,5	62	565,4	59,1	-1,99	0,24	-111,5	-26,6	-537,8
Total	588	968,4	1126,7	-0,09	0,04	-103,5	-10,2	-2001,8	483	1519,6	673,0	-20,17	2,82	-218,8	118,4	-1922,3
Orelha de Elefante Mexicana																
1	84	355,8	88,7	-0,01	0,00	-42,5	17,3	-384,7	70	178,8	33,8	0,00	0,27	-20,0	67,7	-209,4
2	84	217,4	76,6	0,00	0,00	-24,2	-4,3	-274,1	70	365,0	75,6	-0,96	2,78	-48,9	20,9	-372,6
3	84	4,8	185,0	0,00	0,00	0,0	-1,2	-191,1	70	65,4	95,5	0,00	1,30	-4,3	-25,1	-183,1
4	84	29,4	202,7	0,00	0,00	-0,5	3,8	-227,9	70	3,6	150,9	0,00	0,01	0,0	3,1	-151,4
5	84	329,8	179,6	-0,03	0,00	-35,9	57,9	-415,6	70	52,8	171,3	-0,04	0,03	-5,3	5,4	-213,4
6	84	22,8	264,7	-0,01	0,00	-0,3	-32,4	-319,6	71	288,6	86,8	-0,20	0,00	-28,8	47,4	-299,0
7	84	8,4	129,3	-0,01	0,00	-0,1	-45,8	-183,4	62	565,4	59,1	0,00	0,94	-111,5	-10,5	-524,3
Total	588	968,4	1126,7	-0,05	0,01	-103,5	-4,7	-1996,4	483	1519,6	673,0	-1,20	5,33	-218,8	109,1	-1953,2
3ª Época																
Orelha de Elefante Africana																
PER	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr
1	42	112,0	33,8	0,00	0,00	-12,1	45,4	-88,2	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	3,9	-107,3
2	42	12,8	27,0	0,00	0,00	-0,1	-40,7	-80,3	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	8,3	-97,9
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	10,9	-90,0	56	395,6	0,0	0,00	0,00	-58,6	49,2	-287,8
4	42	173,6	0,0	0,00	0,00	-17,2	27,8	-128,5	56	247,2	0,0	0,00	0,00	-24,7	-48,5	-270,9
5	42	204,4	6,8	-0,02	0,02	-29,9	16,1	-160,9	56	80,2	0,0	0,00	0,00	-4,1	-1,6	-77,7
6	56	75,3	13,5	0,00	0,00	-2,9	-8,8	-94,7	56	145,9	0,0	-0,01	0,03	-6,9	-4,9	-144,0
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-15,1	45	68,2	0,0	0,00	5,34	-3,1	-1,7	-72,1
Total	315	658,3	155,3	-0,03	0,02	-67,3	35,6	-706,5	381	1061,6	101,3	-0,01	5,37	-105,8	4,8	-1057,6
F8																
1	42	112,0	33,8	0,00	0,00	-12,1	44,7	-88,9	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	-0,5	-111,7
2	42	12,8	27,0	0,00	0,00	-0,1	-48,9	-88,6	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	12,9	-93,3
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	15,3	-85,6	56	395,6	0,0	0,00	0,11	-58,6	60,2	-276,9
4	42	173,6	0,0	-0,26	0,00	-17,2	41,5	-114,6	56	247,2	0,0	-0,27	0,03	-24,7	-41,0	-263,2
5	42	204,4	6,8	-0,04	0,04	-30,0	-30,8	-211,9	56	80,2	0,0	0,00	0,01	-4,1	-8,7	-84,7
6	56	75,3	13,5	0,00	0,04	-2,9	6,5	-79,4	56	145,9	0,0	-0,01	0,01	-6,9	-17,5	-156,6
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-30,4	45	68,2	0,0	0,00	0,99	-3,1	-3,4	-69,4
Total	315	658,3	155,3	-0,29	0,09	-67,3	-2,1	-748,1	381	1061,6	101,3	-0,28	1,14	-105,8	2,1	-1055,8
Miúda																
1	42	112,0	33,8	-0,01	0,00	-12,1	34,2	-99,4	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	7,1	-104,1
2	42	12,8	27,0	0,00	0,01	-0,1	-34,9	-74,6	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	-5,6	-111,8
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	19,5	-81,4	56	395,6	0,0	0,00	0,04	-58,6	65,2	-271,9
4	42	173,6	0,0	-0,01	0,03	-17,2	22,7	-133,7	56	247,2	0,0	0,00	0,08	-24,7	-50,5	-273,0
5	42	204,4	6,8	0,00	0,06	-30,0	-24,4	-205,6	56	80,2	0,0	0,00	0,00	-4,1	-2,8	-78,9
6	56	75,3	13,5	0,00	0,05	-2,9	7,2	-78,7	56	145,9	0,0	-0,05	0,00	-6,9	-7,5	-146,4
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-27,8	45	68,2	0,0	0,00	0,06	-3,1	-3,0	-68,1
Total	315	658,3	155,3	-0,03	0,15	-67,3	-3,5	-749,9	381	1061,6	101,3	-0,05	0,18	-105,8	2,9	-1054,2
IPA-Sertânia																
1	42	112,0	33,8	-0,07	0,00	-12,1	48,1	-85,5	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	3,0	-108,2

Continuação tabela 3

2	42	12,8	27,0	-0,03	0,01	-0,1	-49,0	-88,7	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	2,9	-103,3
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	30,7	-70,2	56	395,6	0,0	-0,01	0,03	-58,6	69,2	-267,8
4	42	173,6	0,0	-0,42	0,02	-17,2	28,4	-127,6	56	247,2	0,0	-0,30	0,09	-24,7	-43,8	-266,0
5	42	204,4	6,8	-0,51	0,11	-30,0	-30,0	-210,7	56	80,2	0,0	0,00	0,01	-4,1	-15,5	-91,5
6	56	75,3	13,5	0,00	0,14	-2,9	5,2	-80,8	56	145,9	0,0	0,00	0,04	-6,9	-8,7	-147,8
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-38,5	45	68,2	0,0	0,00	0,42	-3,1	-0,2	-65,7
Total	315	658,3	155,3	-1,03	0,27	-67,3	-5,2	-750,6	381	1061,6	101,3	-0,32	0,59	-105,8	7,0	-1050,3
V19																
1	42	112,0	33,8	0,00	0,00	-12,1	26,9	-106,7	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	4,8	-106,4
2	42	12,8	27,0	0,00	0,00	-0,1	-28,6	-68,3	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	-4,3	-110,4
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	13,9	-87,0	56	395,6	0,0	-0,81	0,02	-58,6	59,6	-276,6
4	42	173,6	0,0	0,00	0,00	-17,2	28,2	-128,2	56	247,2	0,0	-0,10	0,41	-24,7	-34,4	-257,2
5	42	204,4	6,8	-0,28	0,18	-30,0	-16,3	-197,3	56	80,2	0,0	0,00	0,09	-4,1	-6,9	-83,1
6	56	75,3	13,5	0,00	0,52	-2,9	2,2	-84,2	56	145,9	0,0	0,00	1,32	-6,9	-7,9	-148,2
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-25,9	45	68,2	0,0	0,00	7,38	-3,1	-6,4	-78,9
Total	315	658,3	155,3	-0,28	0,72	-67,3	0,3	-746,4	381	1061,6	101,3	-0,91	9,22	-105,8	4,6	-1060,7
Orelha de Elefante Mexicana																
1	42	112,0	33,8	0,00	0,01	-12,1	22,7	-110,9	56	62,2	54,0	0,00	0,00	-5,0	2,6	-108,6
2	42	12,8	27,0	0,00	0,01	-0,1	-37,2	-76,9	56	62,3	47,3	0,00	0,00	-3,4	-2,9	-109,1
3	42	78,8	27,0	0,00	0,00	-4,9	16,5	-84,5	56	395,6	0,0	0,00	0,20	-58,6	55,5	-281,7
4	42	173,6	0,0	-0,64	0,12	-17,2	34,7	-121,1	56	247,2	0,0	0,00	0,20	-24,7	-30,9	-253,6
5	42	204,4	6,8	0,00	0,39	-30,0	-26,2	-207,8	56	80,2	0,0	0,00	0,04	-4,1	-14,7	-90,8
6	56	75,3	13,5	0,00	0,09	-2,9	0,0	-85,9	56	145,9	0,0	-0,07	0,01	-6,9	-1,5	-140,4
7	49	1,4	47,3	0,00	0,00	0,0	0,0	-24,2	45	68,2	0,0	0,00	8,10	-3,1	-4,2	-77,3
Total	315	658,3	155,3	-0,65	0,63	-67,3	-13,7	-759,9	381	1061,6	101,3	-0,07	8,54	-105,8	4,0	-1061,5

PER: período. P: precipitação (mm). I: irrigação (mm). DP: drenagem profunda (mm). AC: ascensão capilar (mm) R: escoamento superficial (mm) ΔA: variação de armazenamento de água no solo (mm). ETr: evapotranspiração (mm; mm dia⁻¹).

O terceiro período de avaliação foi o mais curto dentre todos (315 dias), com isso, os valores de DP e AC, escoamento (67 mm), precipitação e irrigação foram mais baixos. Onde a água inserida no sistema de cultivo de palma forrageira totalizou 813,00 mm. Nota-se que o valores de evapotranspiração foram semelhantes para cinco dos seis clones de palma, variando de 746 a 760 mm. A OEA foi o clone que teve a menor taxa de ETr (706,5 mm) e que, ao fim do período, apresentava 35,6 mm de água armazenada na camada controle do solo (0,6 m).

No quarto período, o total de água inserido foi de 1163,00 mm (P+I) durante 381 dias. Nos períodos com maior quantidade de água inserida no sistema (PER: 3, 4 e 6), observaram-se maiores taxas de ETr e, com exceção do período 3, menor presença de água no solo, indicando que o fornecimento de água aumentou a absorção de água do solo pelos clones de palma. Ainda, nota-se que os valores de AC foram muito superiores aos valores de DP, onde o clone V19 apresentou o maior valor dentre todos os clones (9,22 mm). Ao fim do período experimental, após seis anos e meio de cultivo, os clones mantiveram taxa parecidas aos vistos nas épocas iniciais de cultivo. Destaque para a F8, que teve taxa de ETr de -1055,8 mm e ΔA no solo de -2,1 mm.

3.5 Índices hídricos

Os índices de eficiência no uso da água para diferentes clones de palma forrageira estão disponíveis na Tabela 4. A eficiência do uso da água da cultura com base na ETr (WUEc) se manteve semelhante para todos os clones nos dois primeiros ciclos (0,95 e 0,89 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, respectivamente), no terceiro ciclo a F8 teve a menor eficiência em relação aos demais (0,87 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) e no quarto a menor eficiência foi vista na OEM e V19 (0,73 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). Já a eficiência do uso da água da cultura com base na produção de biomassa (*WUEc) durante todo o ciclo, os clones OEM e OEA destacaram-se em relação aos demais clones. Em geral, nesse índice, a OEM teve valores superiores em todos os ciclos avaliados, com exceção do quarto onde a OEA foi superior.

Tabela 4. Eficiência do uso da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água de irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água de irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água da irrigação (EWPI) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.

Ciclo 1									
Clone	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
OEM	9680	11270	19964	7453,93	2404,06	2657,71	7797,57	5049,88	2392,2
OEA	9680	11270	19991	7271,69	2404,06	2657,71	6597,94	4867,63	2209,9
V19	9680	11270	19924	8270,73	2404,06	2657,71	6997,82	5866,67	3209,0
F8	9680	11270	19896	614,40	2404,06	2657,71	32089,99	-1789,66	-4447,4
IPA	9680	11270	20018	1250,38	2404,06	2657,71	11996,26	-1153,67	-3811,4
MIU	9680	11270	19964	2959,98	2404,06	2657,71	54782,91	555,92	-2101,8
Clone	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
OEM	0,95	1,31	1,14	1,09	2,02	0,45	0,21	0,37	0,69
OEA	0,95	0,49	0,42	0,40	1,17	0,43	0,20	0,31	0,59
V19	0,95	0,28	0,16	0,16	1,17	0,52	0,28	0,33	0,62
F8	0,95	0,83	0,66	0,63	0,10	-0,16	-0,39	1,53	2,85
IPA	0,96	0,83	0,66	0,63	0,29	-0,10	-0,34	0,57	1,06
MIU	0,95	0,10	0,06	0,06	0,75	0,05	-0,19	2,61	4,86
Ciclo 2									
Continuação tabela 4									
Clone	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
OEM	15196	6730	19532	18158,10	1435,60	631,57	12796,01	16722,50	16090,9
OEA	15196	6730	19250	12902,00	1435,60	631,57	3598,88	11466,41	10834,8
V19	15196	6730	19550	5238,50	1435,60	631,57	2399,25	3802,90	3171,3
F8	15196	6730	19669	988,61	1435,60	631,57	9996,88	-446,98	-1078,6
IPA	15196	6730	19223	4535,53	1435,60	631,57	13995,63	3099,93	2468,4
MIU	15196	6730	19579	4682,06	1435,60	631,57	53623,27	3246,46	2614,9

Continuação tabela 4

Clone	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
OEM	0,89	2,49	2,34	2,08	6,79	2,48	2,39	0,58	1,90
OEA	0,88	0,58	0,52	0,46	3,71	1,70	1,61	0,16	0,53
V19	0,89	0,75	0,60	0,53	1,54	0,57	0,47	0,11	0,36
F8	0,90	1,46	1,27	1,14	0,29	-0,07	-0,16	0,46	1,49
IPA	0,88	0,65	0,54	0,47	1,73	0,46	0,37	0,64	2,08
MIU	0,89	0,16	0,10	0,09	1,49	0,48	0,39	2,45	7,97
Ciclo 3									
Clone	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
OEM	6580	1550	7599	15401,06	330,64	495,22	14395,51	15070,42	14575,2
OEA	6580	1550	7499	6573,22	330,64	495,22	1999,38	6242,59	5747,4
V19	6580	1550	7506	1923,51	330,64	495,22	2399,25	1592,87	1097,7
F8	6580	1550	7065	614,40	330,64	495,22	799,75	283,76	-211,5
IPA	6580	1550	7464	3346,35	330,64	495,22	11196,51	3015,72	2520,5
MIU	6580	1550	7481	2771,98	330,64	495,22	13995,63	2441,34	1946,1
Clone	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
OEM	0,93	6,78	6,10	5,70	29,92	9,72	9,40	1,77	9,29
OEA	0,92	1,07	0,93	0,86	7,76	4,03	3,71	0,25	1,29
V19	0,92	1,36	1,03	0,95	2,98	1,03	0,71	0,30	1,55
F8	0,87	2,28	1,70	1,48	0,75	0,18	-0,14	0,10	0,52
IPA	0,92	0,91	0,62	0,57	4,97	1,95	1,63	1,38	7,22
MIU	0,92	0,18	0,16	0,14	4,51	1,58	1,26	1,72	9,03
Ciclo 4									
Clone	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
OEM	10620	1010	10615	9280,71	215,45	495,22	11996,26	9065,26	8570,0
OEA	10620	1010	10542	9706,81	215,45	495,22	5198,38	9491,37	8996,1
V19	10620	1010	10503	1848,37	215,45	495,22	3199,00	1632,92	1137,7
F8	10620	1010	10576	158,93	215,45	495,22	9597,01	-56,52	-551,7
IPA	10620	1010	10607	4725,72	215,45	495,22	25592,02	4510,27	4015,1
MIU	10620	1010	10558	2071,79	215,45	495,22	31190,27	1856,34	1361,1
Clone	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
OEM	0,91	3,92	3,45	2,52	29,01	8,98	8,49	1,03	11,88
OEA	0,91	4,15	3,34	2,52	29,04	9,40	8,91	0,45	5,15
V19	0,90	0,92	0,62	0,45	5,23	1,62	1,13	0,28	3,17
F8	0,91	0,11	0,05	0,04	0,48	-0,06	-0,55	0,83	9,50
IPA	0,91	1,76	1,45	1,07	12,29	4,47	3,98	2,20	25,34
MIU	0,91	0,88	0,75	0,56	6,43	1,84	1,35	2,68	30,88

OEM: Orelha de elefante mexicana. OEA: Orelha de Elefante Africana. MIU: Miúda. P: precipitação (m³). I: irrigação (m³). ETr: evapotranspiração real (m³). Receita (US\$). Custos variáveis (US\$). Custos fixos (US\$). Custos de oportunidade (US\$). Margem Bruta (US\$). Margem líquida (US\$). Valor do dólar americano: US\$ 5,21. WUEc (m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). *WUEc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). WPc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). *WPc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). WPI (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). GEWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). NEWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). EWPC (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). EWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

As WPc e *WPc indicaram que os clones do gênero Opuntia foram mais eficientes. Com destaque para a OEM que sempre se mostrou mais eficiente em relação aos demais clones, em todos os ciclos. A WPI indicou aumento para todos os clones, exceto a F8 ao longo dos quatro períodos de avaliação, com destaque para OEM, com o maior valor registrado (29,92 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

A GEWPI e NEWPI teve aumento significativo a partir do segundo período para todos os clones, com exceção da F8 que obteve alta taxa de mortalidade, diminuindo os rendimentos de matéria seca. Os destaques foram visualizados nos clones OEM, que no primeiro ciclo teve $0,61 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e no último ciclo registrou $9,54 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, aumento de 1463,9%. Resultados da mesma magnitude foram vistos no clone OEA tendo no primeiro ciclo $0,59 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e no último $9 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

A produtividade econômica da água da cultura (EWPC) também apresentou tendência de aumento ao longo dos períodos avaliados. Vale destacar que a Miúda se mostrou mais eficiente economicamente no uso da água em relação aos outros clones, apresentando média igual a $2,35 \text{ US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Os resultados da produtividade econômica da água de irrigação (EWPI) indicaram a mesma tendência de aumento durante os períodos analisados, com destaque para a miúda que apresentou aumento de 535,4%.

3.6 Concentrações e coeficiente de utilização biológica dos macronutrientes

Os valores expostos na Tabela 5 mostram as concentrações e o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes encontradas em diferentes clones de palma forrageira cultivada no semiárido.

Os resultados das concentrações dos nutrientes encontrados nos cladódios da palma e o coeficiente de utilização biológica (CUB) se diferenciaram estatisticamente a 1% de probabilidade. As maiores concentrações de nitrogênio (N) foram vistas em diferentes clones nos quatro ciclos, o clone F8 teve as maiores concentrações (N) no primeiro ($9,94 \text{ g kg}^{-1}$) e quarto ($9,52 \text{ g kg}^{-1}$) ciclo. A palma Miúda teve as maiores concentrações em dois ciclos diferentes, no segundo ciclo foi registrada a maior concentração de N em todos os clones, $10,64 \text{ g kg}^{-1}$, e no quarto ciclo com $9,52 \text{ g kg}^{-1}$. O clone V19 teve a maior concentração de N no terceiro ciclo, sendo a época de cultivo com os menores valores de N encontrado nos cladódios.

Todavia, como o CUB manifesta a utilização dos nutrientes para a produção matéria seca, os maiores valores de CUB-N foram vistos naqueles clones com as menores concentrações vistas por ciclo. No primeiro ciclo, a palma OEM teve concentração de $6,44 \text{ g kg}^{-1}$ de N e CUB-N de $155,28 \text{ kg kg}^{-1}$, no segundo ciclo a IPA apresentou $166,11 \text{ kg kg}^{-1}$ para o CUB-N e $6,02 \text{ g kg}^{-1}$ para a concentração de N.

Tabela 5. Concentrações de N, P, K, Ca e Mg e Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes dos diferentes clones de palma forrageira, em quatro ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro

Tratamentos	Teores					CUB				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹					kg kg ⁻¹				
Ciclo 1										
OEM	6,44 e	4,29 a	15,78 f	52,61 b	33,57 a	155,28 a	233,24 f	63,36 a	19,01 e	29,79 f
OEA	7,00 d	2,55 e	21,25 e	40,12 d	22,53 e	142,86 b	391,90 b	47,06 b	24,92 c	44,39 b
V19	9,52 b	2,61 d	28,09 d	37,75 e	30,05 b	105,04 d	383,13 c	35,60 c	26,49 b	33,28 e
F8	9,94 a	3,40 b	32,84 a	53,40 a	28,88 c	100,6 e	293,93 e	30,45 f	18,73 f	34,62 d
IPA	7,14 c	2,54 f	29,98 b	35,31 f	19,80 f	140,06 c	393,59 a	33,35 e	28,32 a	50,51 a
Miúda	7,00 d	3,11 c	28,88 c	41,35 c	23,63 d	142,86 b	321,14 d	34,62 d	24,19 d	42,33 c
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ciclo 2										
OEM	9,52 d	2,27 b	22,22 d	35,02 d	26,09 c	105,04 c	439,72 e	45,00 c	28,55 c	38,33 d
OEA	9,66 c	1,76 f	12,43 f	41,34 b	23,07 e	103,52 d	569,69 a	80,48 a	24,19 e	43,34 b
V19	10,08 b	1,77 e	28,90 b	29,11 f	34,93 a	99,21 e	565,84 b	34,60 e	34,36 a	28,63 f
F8	8,82 e	1,94 d	28,72 c	46,40 a	27,13 b	113,38 b	516,59 c	34,82 d	21,55 f	36,86 e
IPA	6,02 f	2,98 a	14,60 e	34,84 e	20,27 f	166,11 a	335,37 f	68,51 b	28,70 b	49,32 a
Miúda	10,64 a	2,22 c	29,21 a	35,75 c	23,61 d	93,98 f	451,23 d	34,23 f	27,97 d	42,35 c
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ciclo 3										
OEM	5,74 d	2,70 c	23,44 e	26,23 e	18,81 d	174,22 b	370,94 d	42,67 b	38,12 b	53,15 c
OEA	6,58 c	2,02 f	27,03 d	31,38 b	25,45 b	151,98 c	494,01 a	37,00 b	31,87 e	39,29 e
V19	8,26 a	2,49 d	36,05 a	30,90 c	27,38 a	121,07 e	401,86 c	27,74 f	32,36 d	36,53 f
F8	4,62 e	2,10 e	19,57 f	17,85 f	12,35 f	216,45 a	476,64 b	51,09 a	56,03 a	80,96 a
IPA	5,74 d	4,22 a	27,98 c	33,32 a	22,03 c	174,22 b	237,00 f	35,75 d	30,01 f	45,4 d
Miúda	7,42 b	3,29 b	31,92 b	26,44 d	18,45 e	134,77 d	304,18 e	31,33 e	37,82 c	54,19 b
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ciclo 4										
OEM	8,40 c	3,57 a	21,53 c	21,51 e	26,33 a	119,05 c	279,99 f	46,45 d	46,49 b	37,98 f
OEA	8,12 e	1,95 e	29,69 a	27,76 a	22,24 c	123,15 a	511,66 b	33,69 f	36,02 f	44,96 d
V19	9,10 b	1,83 f	16,48 f	26,60 c	18,33 d	109,89 d	544,98 a	60,67 a	37,6 d	54,55 c
F8	9,52 a	2,33 d	19,38 e	27,37 b	18,03 e	105,04 e	429,21 c	51,59 b	36,54 e	55,48 b
IPA	8,26 d	3,56 b	20,28 d	24,76 d	25,25 b	121,07 b	280,74 e	49,31 c	40,39 c	39,61 e
Miúda	9,52 a	2,78 c	24,57 b	19,07 f	17,08 f	105,04 e	359,45 d	40,7 e	52,45 a	58,55 a
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

OEM: Orelha de elefante mexicana. OEA: Orelha de Elefante Africana. Concentração dos nutrientes (g kg⁻¹). CUB: Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (kg kg⁻¹). N: nitrogênio. P: fósforo. K: potássio. Ca: cálcio. Mg: magnésio. Letras diferentes entre os tratamentos na mesma data diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade (p<0,01).

O clone F8 apresentou o maior coeficiente de utilização biológica do nitrogênio (216,45 kg kg⁻¹) na época em que teve a menor concentração de tal nutriente (4,62 g kg⁻¹). No quarto ciclo, tal fato ocorreu com o clone OEA, que apresentou CUB do nitrogênio de 123,15 kg kg⁻¹ quando teve a menor concentração de N (8,12 g kg⁻¹). A IPA e OEM foram os clones com as maiores concentrações de fósforo (P), a OEM indicou presença

de 4,29 e 3,57 g kg⁻¹, respectivamente no primeiro e último ciclo, enquanto a IPA teve 2,98 e 4,22 g kg⁻¹, no segundo e terceiro, nessa ordem. Contudo, os maiores valores de CUB-P foram vistos nos clones IPA, OEA e V19. O clone OEA foi o clone com o maior CUB-P no segundo e terceiro ciclo, sendo o resultado do segundo ciclo o maior CUB dentre todos os ciclos (569,69 kg kg⁻¹). Assim como o nitrogênio, os maiores valores do coeficiente estavam associados as menores concentrações do referido nutriente. Quatro clones (F8, Miúda, V19 e OEA) tiveram as maiores concentrações de potássio (K) em ciclos diferentes, onde a V19 obteve a maior concentração dentre todos os ciclos, 36,05 g kg⁻¹. As menores concentrações também foram visualizadas nos clones OEM, OEA, F8 e V19, todos clones do gênero *Opuntia* spp., todavia, tais concentrações refletiram nos maiores valores de CUB-K. O clone OEA, teve a menor concentração de K (12,43 g kg⁻¹), apresentou o maior CUB-K, com 80,48 kg kg⁻¹.

Nos dois primeiros ciclos, o clone F8 teve as maiores concentrações de cálcio (Ca), 53,40 e 46,40 g kg⁻¹, nessa ordem. Entretanto, nos ciclos finais apresentou redução significativa, onde os clones IPA e OEA apresentaram as maiores concentrações desse nutriente, 33,32 e 27,76 g kg⁻¹, respectivamente. Tal redução vista no clone F8, resultou na menor concentração de Ca encontrada nesse estudo, por outro lado, apresentou o maior valor de CUB para tal nutriente, 56,03 kg kg⁻¹. Os demais ciclos indicaram que os maiores valores foram vistos nos clones IPA, V19 e Miúda com 28,32, 34,36 e 52,45 kg kg⁻¹ no primeiro, segundo e quarto ciclo, respectivamente.

O magnésio (Mg) esteve mais presente nas plantas do gênero *Opuntia*, OEM e V19 foram os clones com as maiores concentrações. No primeiro e último ciclo, a OEM teve 33,57 e 26,33 g kg⁻¹ e, no segundo e terceiro, a palma V19 teve 34,93 e 27,38 g kg⁻¹, respectivamente. Para o CUB-Mg, os maiores valores foram vistos com mais frequência nos clones do gênero *Nopalea* para três dos quatro ciclos. No terceiro ciclo, a F8 apresentou o maior valor, 80,96 kg kg⁻¹, a IPA e Miúda apresentaram os maiores valores nos demais períodos de cultivo. A IPA alcançou 50,51 e 49,32 kg kg⁻¹ nos dois primeiros ciclos, enquanto a Miúda foi a maior no quarto, 58,55 kg kg⁻¹. Os resultados indicaram diferentes acúmulos nutricionais para os clones, sendo a F8, IPA e Miúda apresentaram tal ordem decrescente: Ca>K>Mg>N>P. Já para a OEM, OEA e V19 a ordem de acúmulos de nutrientes sofreu alteração, indicando que o Mg foi mais extraído do solo em relação ao K, assim, a ordem decrescente para esses clones foi de Ca>Mg>K>N>P.

3.7 Eficiência no uso dos macronutrientes

Os resultados de eficiência do uso dos macronutrientes com base na evapotranspiração real (ET_r) da área cultivada com diferentes clones de palma forrageira estão expostos na Tabela 6. Os resultados de eficiência apresentaram diferenças significativas entre si ($p < 0,01$). O clone OEM apresentou as maiores eficiências no uso de todos os nutrientes nos quatro ciclos de cultivo, com exceção do ciclo quatro, onde as EUN-K e EUN-Ca foram maiores no clone OEA (823,25 g K ha⁻¹ mm⁻¹, 769,94 g Ca ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente). Já o clone F8 se mostrou ser o menos eficiente dentre todos os ciclos para todos os nutrientes analisados.

Tabela 6. Eficiência do uso de macronutrientes (EUN, g mm⁻¹) com base na evapotranspiração (ET_r) de área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, em quatro ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro

Clones	Ciclo 1					Ciclo 2				
	EUN-N	EUN-P	EUN-K	EUN-Ca	EUN-Mg	EUN-N	EUN-P	EUN-K	EUN-Ca	EUN-Mg
g ha ⁻¹ mm ⁻¹										
OEM	73,55 a	48,96 a	180,24 b	600,81 a	383,43 a	222,68 a	53,20 a	519,75 a	819,17 a	610,27 a
OEA	46,51 c	16,95 c	141,19 c	266,58 b	149,69 c	122,51 b	22,26 b	157,59 b	524,28 b	292,64 b
V19	62,96 b	17,26 b	185,77 a	249,65 c	198,75 b	54,36 d	9,53 e	155,84 c	156,96 e	188,36 c
F8	5,82 f	1,99 f	19,24 f	31,29 f	16,92 f	8,92 f	1,96 f	29,03f	46,91 f	27,42 f
IPA	11,71 e	4,16 e	49,20 e	57,95 e	32,49 e	35,87 e	17,77 c	86,97 e	207,59 c	120,79 e
Miúda	29,41 d	13,08 d	121,36 d	173,73 d	99,27 d	55,48 c	11,56 d	152,32 d	186,40 d	123,13 d
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Clones	Ciclo 3					Ciclo 4				
	EUN-N	EUN-P	EUN-K	EUN-Ca	EUN-Mg	EUN-N	EUN-P	EUN-K	EUN-Ca	EUN-Mg
g ha ⁻¹ mm ⁻¹										
OEM	350,32 a	164,53 a	1430,41 a	1601,09 a	1148,20 a	231,85 a	98,58 a	594,20 b	593,67 b	726,75 a
OEA	112,05 b	34,47 c	460,28 d	534,33 b	433,41 b	225,18 b	54,20 b	823,25 a	769,94 a	616,87 b
V19	51,13 e	15,40 e	223,14 e	191,30 e	169,45 e	45,30 e	9,13 e	82,25 e	132,39 d	91,26 e
F8	7,23 f	3,28 f	30,61 f	27,91 f	19,32 f	4,33 f	1,06 f	8,81 f	12,44 f	8,20 f
IPA	58,96 d	43,34 b	287,35 d	342,28 c	226,27 c	97,60 c	42,09 c	239,63 c	292,50 c	298,32 c
Miúda	69,17 c	30,65 d	297,52 c	246,47 d	172,01 d	58,61 d	17,13 d	151,25 d	117,37 e	105,14 d
p-valor	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

OEM: Orelha de elefante mexicana. OEA: Orelha de Elefante Africana. EUN-N: nitrogênio. EUN-P: fósforo. EUN-K: potássio. EUN-Ca: cálcio. EUN-Mg: magnésio. Letras diferentes entre os tratamentos na mesma data diferem entre si estatisticamente pelo teste de tukey ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

As eficiências apresentaram tendência de aumento ao longo dos ciclos, tal disposição pode ser visualizada no clone OEM que apresentou os respectivos valores para os quatro períodos avaliados: 73,55, 222,68, 350,32 e 231,85 g N ha⁻¹ mm⁻¹. Os resultados da F8, clone que apresentou os menores valores de EUN-N, foram 5,82, 8,92, 7,23 e 4,33 g N ha⁻¹ mm⁻¹. Os demais nutrientes apresentaram a mesma tendência de aumento até o terceiro ciclo e redução no último. Os maiores valores foram encontrados no terceiro ciclo, onde a aplicação de água, via irrigação e precipitação foi a menor entre os ciclos. Todos os clones se diferenciaram entre si ($p < 0,01$), os clones do gênero *Opuntia* concentraram os maiores valores, com exceção da F8. Os dois clones do gênero *Nopalea* (IPA e Miúda) apresentaram os menores valores, ficando apenas acima da F8 na maioria dos resultados e superando o clone V19 em algumas análises (e.g., EUN-P e EUN-Ca no ciclo 2, EUN-N no ciclo 3). No terceiro ciclo, a IPA ficou apenas abaixo da OEM para EUN-P e superou, nessa ordem, os clones Miúda, V19 e F8 na EUN-Ca e EUN-Mg. No quarto ciclo, a IPA mostrou a mesma expressão de resultados vista anteriormente, sendo mais eficiente que a V19, Miúda e F8 no uso de todos os nutrientes.

4. DISCUSSÃO

4.1 Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte de diferentes clones de palma forrageira

Os índices morfofisiológicos são usados com o intuito de detalhar o desenvolvimento e o desempenho das plantas em diversas condições ambientais e em distintos sistemas de cultivo (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c; QUEIROZ et al., 2015). A ACE retrata o balanço da distribuição de matéria seca na área superficial fotossinteticamente ativa das folhas (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). A ACE apresentou os maiores valores no clone F8. Nesse caso, o clone apresentou os menores valores de rendimento de matéria fresca e seca, além de baixos valores nas variáveis biométricas. Ali et al. (2017) explicaram que a ACE apresenta peculiaridades singulares por espécie e, que mesmo sendo da mesma espécie pode haver diferenças. Queiroz et al. (2015) indicaram que, na maioria das vezes, a ACE pode ser inversamente proporcional a espessura do cladódio. Como a ACE é a relação entre a produção de matéria seca e a área do cladódio, os valores da F8 podem não retratar a realidade. Devido a alta taxa de mortalidade nos três últimos ciclos encontrados nesse clone (dados não expostos) proporcionou o produto da relação entre uma variável baixa (índice de área do cladódio) com um valor muito mais baixo (rendimento de matéria seca).

A TAL mostra a capacidade que a planta tem em transformar fotoassimilados em matéria seca (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). A TAL apresentou altos valores no início do cultivo, sendo estas motivadas pelo investimento feito na produção de maior área foliar. Isso é realizado com intuito de promover maior interceptação de luminosidade e aumentar a concentrações de fotoassimilados (CÂMARA et al., 2017). Tais achados corroboram com os resultados vistos nas Figuras 4a, 4b, 4c e 4d, onde os maiores valores iniciais foram nos clones do gênero *Opuntia*, que possuem maior área foliar comparado as plantas do gênero *Nopalea*. Já a redução da TAL pode ser indício de autosombreamento nessas plantas, promovido pelo surgimento de novos cladódios que resulta num maior índice de área foliar (QUEIROZ et al., 2015).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) indica a velocidade da planta em acumular matéria seca por unidade de área (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). O clone OEM foi o responsável por apresentar os maiores valores da taxa de crescimento absoluto (TCA), isso pode ser explicado devido às características marcantes dos clones do gênero *Opuntia*,

como a ampla área do cladódio que proporciona maior interceptação luminosa e aumenta a eficiência no uso de recursos naturais causando maior acúmulo de matéria seca (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; SILVA et al., 2015a).

A taxa de crescimento relativo (TCR) indica a habilidade em acumular matéria seca em relação à biomassa pré-existente (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c; QUEIROZ et al., 2015). Diferente da TCA, a TCR apresentou crescimento decrescente do início ao fim de cada ciclo. No início de cada cultivo, os altos valores de TCR registrados são relacionados ao desenvolvimento celular das plantas, a fim de produzir novos tecidos com o intuito de promover o aumento da área foliar. Com o passar do tempo, a curva decrescente pode ser explicada através da redução da área fotossinteticamente ativa e pela alta necessidade que as plantas tem em conservar os demais órgãos direcionando os fotoassimilados para essa função (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c; POMMERENING; MUSZTA, 2016).

As fases fenológicas retratadas nas Figuras 3, 4, 5 e 6 evidenciaram que as palmas do gênero *Nopalea* apresentaram valores maiores em comparação as do gênero *Opuntia* ao longo dos quatro ciclos. Resultados parecidos foram descritos por Araújo Júnior et al. (2021c) com o clone Miúda atingindo maior número de fenofases. Isso é explicado devido à capacidade que os clones de *Nopalea* emitirem maior número de cladódios, principalmente de ordem superior, isso faz com que a configuração de uma nova fase seja confirmada toda vez que a taxa de emissão de cladódios de ordem superior ultrapasse a taxa de emissão de cladódios de ordem inferior (AMORIM et al., 2017).

O tempo de cada fenofase é dependente das características de cada clone e do manejo adotado. Nos clones OEM, OEA, e IPA, a duração da fenofase é relacionada a uma característica estrutural explicada através da distribuição dos cladódios de primeira e segunda ordem serem superiores nesses clones. O que não ocorre nas plantas de Miúda, que possuem essa maior distribuição a partir dos cladódios de terceira ordem (NUNES et al., 2020b). O momento de corte está ligado a taxa de acúmulo de matéria seca de cada clone, e como é dependente de cada clone, o momento ideal de corte é influenciado pelas características produtivas de cada um deles. Os maiores acúmulos de matéria seca foram vistos no clone OEM, resultado já esperado devido aos altos valores de rendimento apresentado pelo mesmo. Entretanto, a diferença para os demais clones está associada aos altos índices de eficiência do uso da água, dos altos valores da área do cladódio, que favorecem maior acúmulo de água e eleva o acúmulo de massa por esse clone (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; JARDIM et al., 2020; SILVA et al., 2014a).

4.2 Crescimento e performance produtiva de massa fresca e seca

As características de crescimento, como o número total de cladódio, altura e largura da planta e as dimensões do cladódio, expõem as diferenças na dinâmica de crescimento entre os clones do gênero *Opuntia* e *Nopalea*. A Miúda é conhecida por apresentar alta emissão de cladódios de ordem superior devido às suas características morfológicas, tendo alta concentração nos cladódios terciários e quaternários. Essa elevada produção de cladódios (cladódios de terceira e quarta ordem) aumenta o assim a matéria seca total da planta (PINHEIRO et al., 2014).

O clone OEA, que teve as maiores dimensões do cladódio (CC, LC, PC e EC), tem como base o fato de possuir as características morfológicas presentes nas plantas do gênero *Opuntia*, que possui maior área fotossintética justamente por apresentar cladódios de dimensões maiores em relação às plantas do gênero *Nopalea* (SILVA et al., 2015a).

A correlação entre número de brotações e tamanho da área do cladódio pode ser explicada através da relação fonte-dreno, uma vez que, a concentração e distribuição de fotoassimilados para um número menor de órgãos da planta, potencializa o crescimento e desenvolvimento dessas partes específicas. Desta maneira, uma planta com grande área fotossintética (fonte) e com menos dreno (e.g., cladódios jovens de ordem superior) proporciona um aumento das áreas já existente (SANTOS et al., 2021).

Os rendimentos obtidos durante os quatro cortes de palma evidenciaram o potencial produtivo dos clones do gênero *Opuntia*, entretanto, o clone F8 (*Opuntia atropes* Rose) teve baixos rendimentos de matéria fresca e seca devido à alta taxa de mortalidade. No entanto, não retrata o potencial de produção de matéria seca, uma vez que o teor de matéria (TMS) se manteve igual estatisticamente. Corroborando com os resultados encontrados por Pessoa et al. (2020), que avaliou em três estágios fenológicos o teor de matéria seca de três clones: F8, IPA-20 (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) e Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Conforme os autores, em média a F8 apresentou o maior teor de matéria seca entre os três clones (106 g kg de matéria fresca), indicando alto potencial de produção de matéria seca em condições normais.

As plantas do gênero *Opuntia* apresentaram apenas maiores valores de produtividade tanto para matéria fresca e matéria seca quando comparada às plantas do gênero *Nopalea*, o que pode ser devido à elevada adaptabilidade e agressividade dessas plantas (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; RULE; HOFFMANN, 2018). Além disso, características morfofisiológicas favorecem uma maior taxa de acúmulo de matéria

seca devido a maior área fotossintética (i.e., maior área do cladódio) encontradas nos cactos desse gênero, que possibilita maior atividade metabólica (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; MORAIS et al., 2017; GARCÍA-NAVA et al., 2015). Todavia, os clones do gênero *Nopalea* destacam-se em comparação a *Opuntia* na produção numérica de cladódios, característica morfológica marcante destes clones (SILVA et al., 2017).

Tais diferenças produtivas foram descritas por Araújo Júnior et al. (2021a) quando comparou a produtividade de três clones de palma forrageira irrigada, sendo uma do gênero *Opuntia* (Orelha de Elefante Mexicana) e duas do gênero *Nopalea* (Miúda e IPA-Sertânia), onde o clone OEM apresentou rendimento de matéria fresca de 312 Mg ha⁻¹ e 31 Mg ha⁻¹ de matéria fresca, sendo superior à Miúda (191 Mg ha⁻¹ MF e 19 Mg ha⁻¹ MS) e a IPA-Sertânia (83 Mg ha⁻¹ MF e 7 Mg ha⁻¹ MS). Em condições de sequeiro, Campos et al. (2021) comprovaram a superioridade de um gênero sobre o outros. Avaliando cinco clones, os rendimentos de matéria fresca foram superiores para os clones de OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Gigante e Orelha de Onça (ambas *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) em relação às plantas de Miúda e IPA-Sertânia (ambas da espécie *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck).

4.3 Balanço hídrico do solo e índices de eficiência do uso da água

Os componentes que pertencem ao fluxo vertical de água no solo (DP e AC) estão diretamente ligados ao regime hídrico na área cultivada, a capacidade que o solo tem de reter água, as propriedades físicas (e.g., textura, estrutura, compactação) do solo e as propriedades hidráulicas e a dinâmica da água no solo (ALVES et al., 2022; GHIBERTO et al., 2015). As características do solo também exercem influência sobre o escoamento superficial (R), que pode ser atribuído ao percentual de areia do solo ou nos restos culturais presentes na área cultivada (TARGA; POHL; ALMEIDA, 2019). Na DP, existe influência da cultura e a mesma pode ser fator determinante para o seu acontecimento, uma vez que, as galerias criadas pelo sistema radicular das plantas podem proporcionar aumentos significativos na DP. Já a AC, que pode ser definida como o movimento da água de camadas mais profundas para as superficiais, esta intrinsecamente ligada a presença de micro e mesoporos no solo (LIBARDI, 2005; SILVA et al., 2015b).

A variação de armazenagem da água no solo é o componente que se modifica de acordo com atividade dos sistemas radiculares das plantas cultivadas e da cobertura vegetal na superfície do solo, além de sofrer interferência do volume hídrico inserido no

sistema de cultivo, das condições meteorológicas, dos aspectos físicos do solo e das características topográficas. Em regiões de clima semiárido é necessário correlacionar a ΔA com a quantidade de água que se perde para a atmosfera. Devido aos períodos de estiagem, que reduzem a disponibilidade hídrica no solo, e as características das culturas adaptadas ao ambiente (ALVES et al., 2020; MORAIS et al., 2017).

Embora não tenha havido grandes diferenças entre os clones, a evapotranspiração real acumulada (ΣET_r) se mostrou maior em períodos com maior incremento de água. Essa relação direta é descrita por Machado et al. (2015) que, assim como os dados descritos na Tabela 3, os maiores índices de ET foram consequência dos altos eventos de incremento hídrico nos mesmos períodos. As pequenas diferenças visualizadas na evapotranspiração entre os clones podem explicar, junto aos dados de produtividade (Tabela 2), a eficiência do uso da água. Com isso os clones com maior rendimento de matéria seca, se mostraram ser mais eficientes na utilização da lâmina de água disponibilizada, tendo em vista que essa diferença na ET foi mínima entre os clones. Alves et al. (2022) indicaram que essa eficiência pode estar associada metabolismo ácido das crassuláceas, que durante o período noturno, permite a abertura estomática, momento em que o déficit de pressão de vapor de água é menor, fator que minimiza a perda de água por evapotranspiração. Todavia, é preciso colocar que as características morfológicas intrínsecas de cada clone devem ser levados em considerados ao afirmar qual é o mais eficiente (BARBOSA et al., 2017).

4.4 Concentrações dos nutrientes, coeficiente de utilização biológicas dos nutrientes e eficiência no uso dos nutrientes

Os resultados das concentrações obtidos nesse estudo confirmaram que a extração de nutrientes possui alta variação conforme o clone (MOREIRA et al., 2020). A demanda nutricional das plantas do gênero *Opuntia* é menor quando comparada as espécies do gênero *Nopalea*. Isso pode estar relacionado ao fato de que os clones IPA e Miúda, possuem maior concentração de carboidratos solúveis totais e maior valor nutritivo em relação os clones do gênero *Opuntia* e por isso tenham maior demanda dos nutrientes (INÁCIO et al., 2020). Contudo, os clones F8 e V19 apresentaram em situações específicas, as maiores concentrações dos nutrientes. Tal situação pode estar relacionada as condições ambientais ou a eficiência de incorporação dos fertilizantes no solo (MOREIRA et al., 2020). Com exceção do terceiro ciclo, as concentrações estiveram para

todos os clones na faixa de suficiência ideal dos nutrientes proposto por Ferraz et al. (2020), que pudessem propiciar bom desenvolvimento das plantas, para os clones do gênero *Opuntia* a faixa para os nutrientes são de 6,7 a 20,6 g kg⁻¹ de N, 0,8 a 4,7 g kg⁻¹ de P, 23,0 a 33,4 g kg⁻¹ de K, 14,9 a 42,0 g kg⁻¹ de Ca e 5,9 a 14,0 g kg⁻¹ de Mg. Já para os clones do gênero *Nopalea* a faixa de suficiência é de 6,7 a 10,5 g kg⁻¹ de N, 1,0 a 1,6 g kg⁻¹ de P, 8,3 a 12,1 g kg⁻¹ de K, 20,6 a 22,5 g kg⁻¹ de Ca e 10,4 a 17,0 g kg⁻¹ de Mg. A palma forrageira exige que a fertilidade do solo esteja equilibrada, boas condições nutricionais do solo podem refletir em ótimas expressões de rendimento e dos valores morfométricos (SANTANA et al., 2021).

Como visto, os maiores coeficientes de utilização dos nutrientes foram maiores nos clones que apresentaram as menores concentrações dos nutrientes. Vale ressaltar, que o CUB expressa o aproveitamento que o clone de palma tem em produzir matéria seca baseado na absorção dos nutrientes (LÉDO et al., 2020). Silva et al. (2009) descrevem que esse coeficiente pode ser influenciado pelos fatores biológicos e edafoclimáticos, e que tais aspectos podem dificultar a expressão dos resultados obtidos através dessa análise. Todavia, esse estudo indicou que os maiores valores do CUB estiveram sempre associados aos clones que os cladódios apresentaram as menores concentrações e, geralmente esse cenário estava associado as plantas com maiores produtividades de matéria seca. Para a eficiência no uso dos nutrientes com base na ETr, os clones OEM e OEA obtiveram destaque nesse quesito. Ambos os clones citados anteriormente são do gênero *Opuntia*, plantas que possuem alta produtividade e alta eficiência no uso da água (SILVA et al., 2014b). Contudo, o clone F8 (*Opuntia atropes* Rose) proporcionou os menores valores de eficiência para todos os nutrientes em todos os ciclos. Como o rendimento de matéria seca é fundamental na elaboração desse indicador, é provável que a alta mortalidade vista nesse clone tenha influenciado nos baixos valores de CUB e EUN. Conforme visto nesse trabalho, o aumento crescente na eficiência do uso dos nutrientes ao decorrer dos ciclos foi ocasionado pela diminuição dos valores de ETr motivados pela redução das lâminas de água via precipitação e irrigação. É possível determinar essa possibilidade através do comportamento desses índices entre o terceiro e quarto ciclo, onde os valores de ETr dos clones diminuíram até o terceiro, gerando aumento na eficiência e, em seguida, aumentaram no quarto ciclo proporcionando uma queda na eficiência do uso dos nutrientes.

5. CONCLUSÕES

As respostas morfo-produtivas, consumo hídrico e o ganho econômico da palma forrageira ao uso de irrigação dependem do tipo de clone e a eficiência do uso da água depende do fornecimento hídrico. As taxas morfofisiológicas indicaram que o clone F8 tem maior distribuição de matéria seca na área superficial fotossinteticamente ativa dos cladódios, assim como, maior habilidade na conversão de fotoassimilados em matéria seca. Os clones do gênero *Opuntia* tem maior capacidade em acumular matéria seca em relação à biomassa pré-existente, e a OEM foi o clone que acumulou maior quantidade de matéria seca por unidade de área. O clone Miúda emitiu mais cladódios de ordem superior e atingiu maior número de fenofase durante o ciclo vegetativo. Os clones do gênero *Opuntia* foram mais produtivos, tanto em matéria seca quanto em matéria fresca, com destaque para OEM e OEA. O fornecimento hídrico tem maior influência sobre desempenho hídrico e eficiência do uso da água (WUEc) do que a espécie de palma forrageira. Com base na ETr, os clones tiveram a mesma eficiência na utilização da água aplicada no sistema via precipitação e irrigação. A produtividade da água total, assim como da água de irrigação indicou maior eficiência para os clones OEM e OEA. As produtividades econômicas bruta e líquida da água total de irrigação variou conforme o tipo de clone, com tendência de aumento a partir do segundo ciclo de cultivo. Os indicadores de eficiência do uso dos nutrientes sofreram grande influência da produtividade e da eficiência no uso da água dos clones, condicionando o clone OEM como o mais eficiente para tais indicadores. Portanto, as estratégias de manejo de água na palma forrageira devem considerar as características de cada espécie, assim como, todos os aspectos que envolvem a eficiência do sistema de aplicação de água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, A. M. et al. Specific leaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 236, p. 162–174, 2017.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, C. P. et al. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347–356, 2020.
- ALVES, H. K. M. N. et al. The use of mulch in cultivating the forage cactus optimizes yield in less time and increases the water use efficiency of the crop. **Irrigation and Drainage**, n. September, p. 1–15, 2022.
- AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. et al. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, p. 1–12, 2021a.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. A. et al. TEMPERATURA BASE DA PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA DE CULTIVO CONSORCIADO COM O SORGO. **XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro**, n. Juazeiro-BA/Petrolina-PE, p. SBAGRO, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N. et al. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, n. August, p. 12, 2021b.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. DO N. et al. Phenophases , morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. **Journal of Arid Environments journal**, v. 190, n. May 2020, p. 145510, 2021c.
- BARBOSA, M. L. et al. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 600–605, 2017.
- CÂMARA, F. A. A. et al. Crescimento de cultivares de Ipomoea batatas oriundas de rebentos produzidas de forma convencional e in vitro produced sprouts. **Revista de Ciencias Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 363–372, 2017.
- CAMPOS, A. R. F. et al. Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. **Journal of Arid Environments**, v. 193, n. January, p. 104564, 2021.
- CAMPOS, F. S. et al. Alternativa de forragem para caprinos e ovinos criados no semiárido. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 14, n. Abril, p. 5004–5013, 2017.

- CAO, D. et al. Spatiotemporal variations of global terrestrial vegetation climate potential productivity under climate change. **Science of the Total Environment**, v. 770, p. 145320, 2021.
- CHENG, L. et al. Live weight gain, animal behaviour and urinary nitrogen excretion of dairy heifers grazing ryegrass–white clover pasture, chicory or plantain. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 61, n. 4, p. 454–467, 2018.
- DEUS, J. A. L. DE et al. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 498–511, 2015.
- DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, n. December 2020, 2021.
- EMBRAPA. Métodos de Análises de Tecidos Vegetais Utilizados na Embrapa Solos. **Embrapa solos**, p. 41, 2000.
- FERNÁNDEZ, J. E. et al. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management**, v. 237, n. February, p. 106074, 2020.
- FERRAZ, R. L. DE S. et al. Variations in soil water replacement levels promote changes in forage cactus mineral composition and biomass productivity ARTICLES. **Revista Ambiente e Agua**, v. 15, n. 5, p. e2537, 2020.
- GARCÍA-NAVA, F. et al. Biophysical and physiological characteristics of nopalitos (Opuntia spp., Cactaceae) as influenced by domestication. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 62, n. 6, p. 927–938, 2015.
- GEBRU, M.; HOLDEN, S. T.; ALFNES, F. Adoption analysis of agricultural technologies in the semiarid northern Ethiopia : a panel data analysis. **Agricultural and Food Economics**, v. 6, n. 9, p. 16, 2021.
- GHIBERTO, P. J. et al. Soil physical quality of mollisols quantified by a global index. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 2, p. 167–174, 2015.
- INÁCIO, J. G. et al. Nutritional and performance viability of cactus Opuntia-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 35–43, 2020.
- JARDIM, A. M. DA R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, n. February 2020, p. 104464, 2021a.
- JARDIM, A. M. DA R. F. et al. 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**, v. 162, n. November 2020, p. 421–430, 2021b.
- JARDIM, A. M. R. F. et al. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum Análise multivariada na avaliação morfo-produtiva da palma forrageira consorciada com o sorgo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 11, p. 756–761, 2020.
- LÉDO, A. A. et al. Nutrient concentration and nutritional efficiency in ‘Gigante’ cactus

pear submitted to different spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 154–161, 2020.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da Água no Solo** Vol. 61. Edusp, 2005.

MACHADO, C. et al. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 731–740, 2015.

MORAIS, J. E. F. et al. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273–278, 2017.

MOREIRA, J. M. et al. Nutrients demand of cactus forage. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 811–820, 2020.

NUNES, J. D. S. L. et al. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 367–375, 2020a.

NUNES, J. DA S. L. et al. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú Morphophysiological and biophysical indices of forage cactus cultivated under water technologies in the Pajeú Rive. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 01, p. 128–139, 2020b.

OJEDA-PÉREZ, Z. Z.; JIMÉNEZ-BREMONT, J. F.; DELGADO-SÁNCHEZ, P. Continuous high and low temperature induced a decrease of photosynthetic activity and changes in the diurnal fluctuations of organic acids in *Opuntia streptacantha*. **PLoS ONE**, v. 12, n. 10, p. 1–18, 2017.

PESSOA, D. V. et al. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. **Journal of Arid Environments**, v. 181, n. June, p. 104243, 2020.

PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939–947, 2014.

POMMERENING, A.; MUSZTA, A. Relative plant growth revisited: Towards a mathematical standardisation of separate approaches. **Ecological Modelling journal**, v. 320, p. 383–392, 2016.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

QUEIROZ, M. G. DE et al. Relações Hídrico-econômicas da Palma Forrageira Cultivada em Ambiente Semiárido. **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 141–154, 18 jun. 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environmet for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2018. URL. R (<https://www.r-project.org/>).

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 363–371, 2017.

- RULE, N. F.; HOFFMANN, J. The performance of *Dactylopius opuntiae* as a biological control agent on two invasive *Opuntia* cactus species in South Africa. **Biological Control**, v. 119, n. January, p. 7–11, 2018.
- SALVADOR, K. R. DA S. et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2369–2390, 2021.
- SANTANA, M. A. et al. Efeito De Doses De Adubação Orgânica Na Produção De Palma Forrageira. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 167–172, 2021.
- SANTOS, J. P. A. DE S. et al. Técnicas de manejo sustentável para o aporte forrageiro da agricultura familiar no semiárido brasileiro: palma forrageira, irrigação e fondren. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v. 14, n. 7, p. 3910–3931, 2021.
- SANTOS, J. P. A. DE S. et al. Eficiência bioeconômica da adubação mineral na cultura do sorgo Bioeconomic efficiency of mineral fertilization in sorghum crop Eficiencia bioeconómica de la fertilización mineral en cultivo de sorgo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. 1–19, 2022.
- SILVA, A. P. DA et al. SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS PARA A CULTURA DO ABACAXI –. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, n. 5, p. 1269–1280, 2009.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015a.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 515–525, 2015b.
- SILVA, T. G. F. DA et al. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 1, n. 2, p. 45–68, 2017.
- SILVA, T. G. F. et al. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014a.
- SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, p. 108, 2014b.
- SILVA, T. G. F. et al. Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment 1 Rentabilidade do uso da irrigação no consórcio palma-sorgo para agricultores em ambiente semiárido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 132–139, 2023.
- SOUZA, M. D. S. et al. Growth , phenology and harvesting time of cactus- millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 1–15, 2021.
- TARGA, M. DOS S.; POHL, E.; ALMEIDA, A. A. DA S. Water balance in soil covered by regenerating rainforest in the Paraíba Valley region, São Paulo, Brazil. **Revista Ambiente e Agua**, v. 14, n. 6, p. e2482, 2019.

WANG, F. et al. Science of the Total Environment Warming reduces the production of a major annual forage crop on the Tibetan Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 798, n. 2, p. 149211, 2021.

ZHANG, H.; FLOTTMANN, S. Source-sink manipulations indicate seed yield in canola is limited by source availability. **European Journal of Agronomy**, v. 96, n. November 2017, p. 70–76, 2018.

CAPÍTULO 3 - RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS, DESEMPENHO HÍDRICO E NUTRICIONAL DE PALMA FORRAGEIRA ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA (*Opuntia stricta* (Haw.) SUBMETIDA A DIFERENTES DOSES DE NITROGÊNIO

Resumo: A aplicação de adubação nitrogenada pode promover diferentes respostas morfológicas, produtiva e de eficiência na palma forrageira. Por isso, objetivou-se determinar as respostas morfofisiológicas, produtivas, nutricionais e econômicas do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) submetida a quatro doses de nitrogênio sob condição irrigada no Semiárido. Foram aplicados quatro tratamentos: 50 (T1), 150 (T2), 300 (T3) e 450 (T4) kg ha⁻¹ de N. Para as análises de crescimento, foram coletados dados de biometria e biomassa para determinar a fenologia, taxas morfofisiológicas, momento ideal de corte e rendimentos de matéria fresca (MF) e seca (MS). A partir de dados de umidade do solo, propriedades físico-hídricas e produtividade foram calculados os componentes do balanço hídrico, eficiência do uso da água e o ganho econômico da cultura. A partir das análises do tecido vegetal da palma, determinou-se as concentrações dos nutrientes, coeficiente de utilização biológica e eficiência no uso dos nutrientes. Os rendimentos de MF e MS apresentaram resposta quadrática nos dois primeiros ciclos, e positiva e linear no terceiro, ao aumento da dosagem de nitrogênio. A área do cladódio específica e a taxa de assimilação líquida tiveram melhores respostas nas menores doses de N (50 e 150 kg ha⁻¹) e a taxa de crescimento absoluto e relativo, fenologia e momento de corte sofreram baixa influência dos níveis de N. As concentrações e o coeficiente de utilização biológica dos nutrientes, apresentaram resposta positiva ao modelo quadrático. Para as concentrações, o nitrogênio (T4 = 6,72 g N kg⁻¹ MS), fósforo (T1 = 6,28 g P kg⁻¹ MS) e potássio (T1 = 33,18 g K kg⁻¹ MS) apresentaram significância a 5% de probabilidade (p<0,05) e o modelo quadrático respondeu 99% da variabilidade dos dados. Conclui-se as taxas de crescimento relativo e absoluto tiveram mais influência das características dos clones do que as diferentes doses de nitrogênio e a dose mínima de N amentou a ACE. Os rendimentos de MS e MF e as concentrações dos nutrientes sofreram influência direta da adubação em diferentes doses de N. As menores doses de N foram mais eficientes na produção de MS do que as maiores doses. Com base na evapotranspiração real, a eficiência no uso do N aumentou conforme o aumento das doses e para os demais nutrientes as maiores eficiências ocorreram nos períodos de cultivos com a menor quantidade de água inserida no sistema.

Palavras chave: Eficiência no uso dos nutrientes, produção de forragem, balanço de água no solo

Abstract: The application of nitrogen fertilization can promote different chemical, regulatory and morphological responses in cactus pear. Therefore, the objective was to determine the morphophysiological, productive, and nutritional responses of the forage cactus clone Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) taken at four doses of suffering under irrigated condition in the semiarid region. Four treatments were applied: 50 (T1), 150 (T2), 300 (T3) and 450 (T4) kg ha⁻¹ of N. For growth analyses, biometry and biomass data were collected to determine phenology, rates morphophysiological characteristics, ideal cutting time and fresh (MF) and dry (DM) yields. From data on soil moisture, physical-hydric properties and productivity, the components of water balance, water use efficiency and economic gain of the crop were calculated. From the analyzes of the plant tissue of the cactus, the concentrations of nutrients were determined, the measurement of biological use and efficiency in the use of nutrients. The MF and DM yields showed a positive and quadratic response in the first two cycles, and a positive and linear response in the third, to the increase in disease dosage. The specific cladode area and the net assimilation rate had better responses at the lowest N doses (50 and 150 kg ha⁻¹) and the absolute and relative growth rate, phenology and cutting moment low influence of N levels. concentrated and evaluating the biological use of nutrients, showed a positive response to the quadratic model. For the concentrations, the helicopter (T4 = 6.72 g N kg⁻¹ DM), phosphorus (T1 = 6.28 g P kg⁻¹ DM) and potassium (T1 = 33.18 g K kg⁻¹ DM) demonstrated significance at 5% probability (p<0.05) and the quadratic model accounted for 99% of the data variability. It is concluded that the morphophysiological rates had an alternating influence between the characteristics of the clones and nitrogen fertilization. DM and FM yields and nutrient concentrations followed the direct influence of fertilization at different N doses. The lowest N doses were more efficient in DM production than the highest doses. Based on real evapotranspiration, the efficiency in the use of N increased as the doses increased and for the other nutrients the highest efficiencies occurred in the periods of cultivation with the least amount of water inserted in the system.

Keywords: Nutrient use efficiency, forage production, soil water balance

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de aumentar a eficiência das atividades agrícolas e pecuárias, tem-se evidenciado categoricamente ao passo que as variações climáticas e a demanda por alimento vem aumentando nas últimas décadas (AMANI-MALE; FEIZABADI; NOROUZI, 2022; CAO et al., 2021). Principalmente no setor pecuário, que tem sofrido déficit qualitativo-quantitativo da forragem produzida, especialmente, nas épocas de estiagem (LOPES et al., 2018). Com isso, a elevação produtiva das plantas forrageiras vem ganhando espaço importante nos estudos direcionado para a alimentação animal (ALVES et al., 2023).

A utilização da palma forrageira como alimento animal é uma das estratégias que pode ser usada na mitigação dos problemas relacionado ao fornecimento de forragem (ALVES et al., 2022). Além de ser rica em água e carboidratos, essa planta consegue suportar as condições edafoclimáticas encontradas em ambientes áridos e semiáridos, e ainda apresentar alto potencial produtivo (SILVA et al., 2023). Outra estratégia muito utilizada na elevação dos rendimentos de uma cultura é a adubação nitrogenada (CAMARGO et al., 2022). O nitrogênio tem parcela importante no desenvolvimento vegetal, estando presente na composição das moléculas orgânicas das plantas e é o principal controlador dos processos fotossintéticos (CUNHA et al., 2012; SOUZA et al., 2017). Atuando em conjunto com o potássio, o nitrogênio aumenta gradativamente a produção de fitomassa e sua ausência causa danos como a redução do crescimento (CIRINO JÚNIOR et al., 2022; FERRAZ et al., 2020).

Descrever as respostas morfofisiológicas, produtivas e agroeconômicas de palma forrageira tem se intensificado ao longo dos últimos anos. Jardim et al. (2021) descreveram o comportamento produtivo de diferentes clones de palma através de parâmetros fisiológico e bioquímicos. Além disso, os estudos dos manejos agrícolas tem se aperfeiçoado a fim de aumentar a eficiência dos sistemas produtivos de palma, como o uso do consórcio com outras culturas e uso de cobertura morta com o intuito de aumentar a rentabilidade do uso da irrigação e favorecer uma vantagem econômica para a produção de biomassa em regiões áridas e semiáridas (ALVES et al., 2022; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; JARDIM et al., 2021b; SILVA et al., 2023).

Para determinar o crescimento e a produtividade da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM - *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Dantas Neto et al. (2020) condicionaram a planta a diferentes cenários com (600 kg ha⁻¹ de N) e sem adubação nitrogenada usando uréia como fonte de N. Foi evidenciado que a presença de nitrogênio teve efeito significativo no desenvolvimento da palma OEM, aumentando os valores médios de altura (63,5 cm), largura (86,6 cm) e número de cladódios (13,9 cm) quando comparado as plantas que não receberam adubação (44,8, 56,3 e 7,70 cm, respectivamente). Embora fique claro que a presença do nitrogênio tenha causado efeito positivo no desenvolvimento da palma. É necessário descrever a eficiência biológica e econômica do uso do nutriente e indicar qual dose é capaz de proporcionar a palma forrageira resultados mais expressivos.

Pouco se conhece sobre o comportamento do crescimento estrutural, desempenho produtivo e hidro econômico da palma OEM submetida a diferentes doses de nitrogênio. Com isso, esse trabalho testou a hipótese de que diferentes doses de nitrogênio resultam em diferentes respostas nutricionais, morfológicas e produtivas. Assim, o objetivo desse estudo foi determinar as respostas morfofisiológicas, produtivas, nutricionais e econômicas dos clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a quatro doses de nitrogênio sob condição irrigada no Semiárido.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do Estudo

O experimento foi realizado no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Forrageiras”, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (7° 59' S; 38° 15' O e Altitude 431 m). A região apresenta clima do tipo BShw' (Semiárido quente-seco, com período chuvoso no verão e inverno seco) conforme a classificação de Köppen, com precipitação pluvial média de 667,2 mm, concentrada nos meses mais quentes do ano; umidade relativa do ar de 62,3%, demanda atmosférica superior a 1800 mm ano⁻¹ e temperatura média do ar de aproximadamente 25,9 °C (ALVARES et al., 2013; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; NUNES et al., 2020).

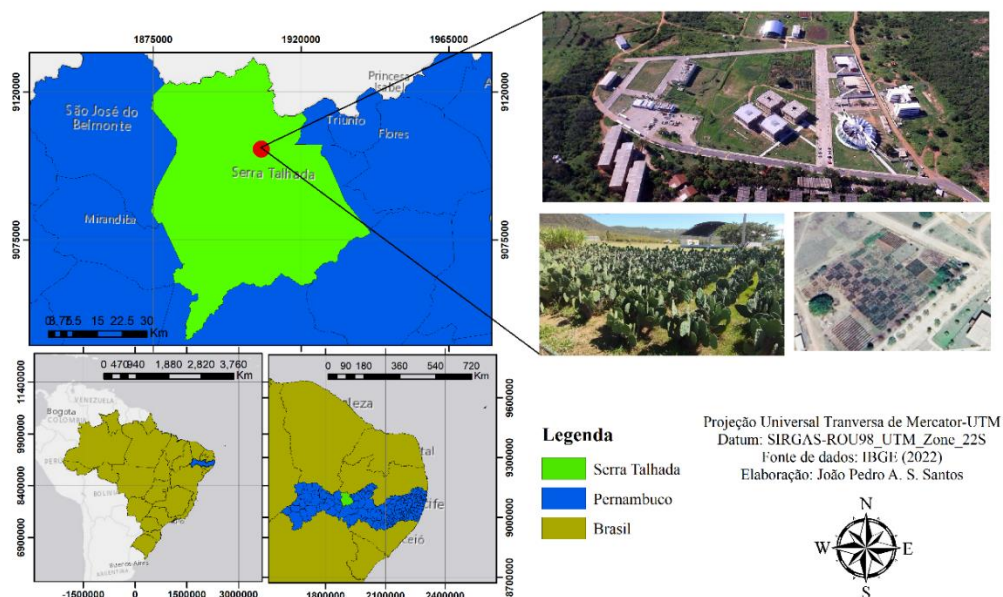


Figura 1. Mapa de localização da área experimental – UFRPE/UASt, Serra Talhada – PE, Brasil.

O solo da área experimental é plano, e classificado como um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, os atributos físicos e químicos foram obtidos através de uma coleta realizada a uma profundidade de 0,00–0,20 m, onde se deu os seguintes resultados: pH_(água) de 5,95, condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (ECe) de 0,32 dS m⁻¹, P_(Mehlich-1) de 168,96 mg dm⁻³, K⁺ de 13,8 cmol_c dm⁻³, Na⁺ de 1,09 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ de 3,45 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ de 1,90 cmol_c dm⁻³, H+Al de 0,6 cmol_c dm⁻³, soma das bases (SB) de 20,25 cmol_c dm⁻³, capacidade de troca catiônica (CEC) de 20,85 cmol_c dm⁻³, saturação por base (V%) = 97,15%, C_{orgânico} de 4,6 g kg⁻¹, matéria orgânica de 7,93 g kg⁻¹, areia de 828,6 g kg⁻¹, silte de 148,25 g kg⁻¹, argila de 23,15 g kg⁻¹ e densidade aparente do solo de 1,45 g cm⁻³.

2.2 Arranjo experimental, material vegetal, e tratamento aplicado

O plantio da área experimental foi realizado em 14 de outubro de 2018, com preparo inicial do solo constituído em aração e gradagem. A área apresentava dimensões de 12 × 20 m, com o espaçamento entre fileiras de cultivo de 1,25 m e entre plantas de 0,20 m (40.000 plantas ha⁻¹). O material vegetal utilizado foi o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) (OEM), a mesma resistente à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntia* Cockerell, 1929; Hemiptera: Dactylopiidae). Os cladódios foram plantados deixando 50% da sua extremidade inferior inserida no solo, e plantados em alinhamento dominó.

Os tratamentos foram aplicados no início de cada ciclo, assim como a adubação complementar de fósforo e potássio (CAVALCANTI et al., 2008), sendo composto por: testemunha (T1), 150 (T2), 300 (T3) e 450 (T4) kg ha⁻¹ de N (ureia como fonte). No tratamento testemunha foi realizada adubação de fundação com 50 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P e 97,5 kg ha⁻¹ de K. A mesma quantidade de P e K foi utilizada nos demais tratamentos. A partir do segundo ciclo as quantidades foram de 80 kg ha⁻¹ de P e 130 kg ha⁻¹ de K. Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados (DBC), em quatro repetições, com um total de 16 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por quatro fileiras de cultivo, com 12 plantas cada em uma área de 15 m². Foi considerada parcela útil as duas fileiras centrais, exceto duas plantas de cada extremidade.

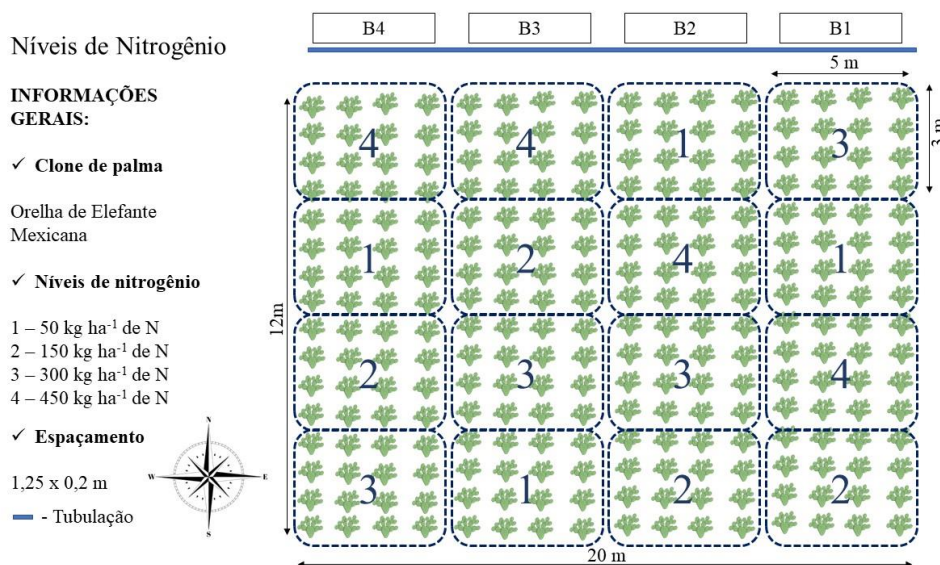


Figura 2. Informações gerais da área cultivada com diferentes clones de palma forrageira, Serra talhada – PE, Brasil.

2.3 Manejo de irrigação

A irrigação foi feita por sistema de gotejamento com emissores espaçados a 0,2 m entre si. Com vazão de 1,45 L h⁻¹, com uniformidade de aplicação de 92,2% a uma pressão de 1 atm. No primeiro ciclo, os eventos de irrigação foram realizados em intervalos fixos (segundas, quartas e sextas-feiras), e nos dois últimos ciclos foram uma vez por semana. A aplicação da lâmina foi com base na evapotranspiração da cultura (ET_c) (120%), sendo a ET_c o produto da relação entre a evapotranspiração de referência (ET₀) e o coeficiente da cultura (K_c). A ET₀ foi calculada a partir da equação de Penman-Monteith padronizada pelo boletim da FAO-56 (ALLEN et al., 1998). O K_c de 0,52 foi considerado conforme QUEIROZ et al. (2016) para cultivo de palma em ambiente semiárido.

A água utilizada na irrigação foi procedente de poço artesiano localizado na Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE e apresentou uma condutividade elétrica média de 1,51 dS m⁻¹ e pH de 6,84, classificada como C3 (alta salinidade) conforme a classificação de Richards (1954) e concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L⁻¹ e 28,17 mg L⁻¹, respectivamente (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b).

Desde o início do cultivo (outubro 2018), até o final do terceiro ciclo (setembro 2022), a palma recebeu via irrigação um total de 301,9 mm no primeiro ciclo (Figura 3A), 121,80 mm no segundo ciclo (Figura 3B) e 87,04 mm no terceiro ciclo (Figura 3C). Quando somados a precipitação pluvial ocorrida em cada ciclo, resultaram em 1821,59

mm; 780,10 mm e 1149,00, respectivamente. A evapotranspiração de referência (ET_0) apresentou média diária nos quatro ciclos de 4,9; 4,7 e 4,7 mm dia^{-1} , respectivamente.

2.3.1 Variáveis meteorológicas

Os dados de temperatura média, máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa do ar média, máxima e mínima (%); pressão atmosférica média, máxima e mínima (hPa); velocidade do vento (m s^{-1}), radiação global (MJ m^{-2}) e precipitação pluvial (mm) foram obtidos, a partir do monitoramento da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorológica (INMET) localizada ao lado da área experimental.

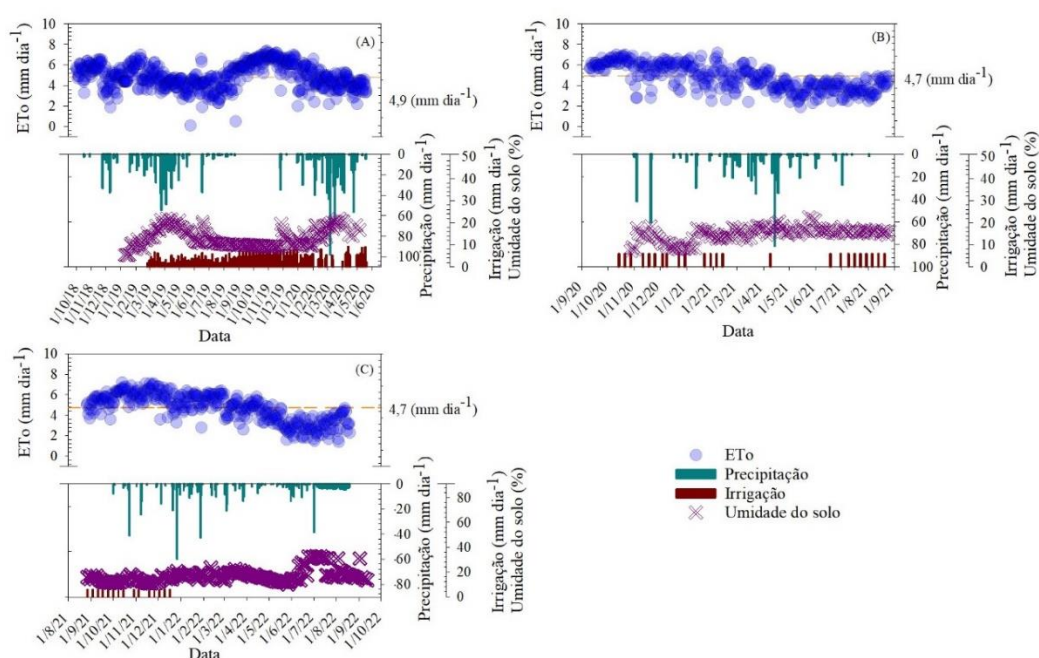


Figura 3. Evapotranspiração de referência (ET_0), umidade do solo, precipitação e lâmina de irrigação aplicada no cultivo de diferentes clones de palma forrageira no período de: (A) 15 de outubro de 2018 a 20 de maio de 2020; (B) 10 de setembro de 2020 a 24 de agosto de 2021; (C) 25 de agosto de 2021 a 14 de setembro de 2022.

2.4 Variáveis analisadas

2.4.1 Análise de crescimento

As campanhas biométricas foram obtidas em intervalos de trinta dias no primeiro ciclo e, nos dois últimos foi ao fim de cada ciclo, onde foram obtidas variáveis como: altura da planta (AP, cm) – medindo da superfície do solo até o cladódio no ápice da planta e largura da planta (LP, cm) - média de duas medidas cruzadas das extremidades laterais; número total de cladódio por planta (NTC, unidades) e número de cladódios por ordem (i.e., NC1 – advindos do cladódio basal (mãe); NC2 – advindos do cladódio NC1 e assim sucessivamente).

As dimensões dos cladódios foram determinadas através dos dados de comprimento do cladódio (CC, cm) – medindo da base do cladódio até seu ápice; largura do cladódio (LC, cm) – realizada de uma extremidade a outra, na região mediana do cladódio; perímetro do cladódio (PC, cm) - circunferência do cladódio com o auxílio de uma fita métrica, e espessura do cladódio (EC, mm) - espessura da região mediana do cladódio com auxílio de um paquímetro.

Posteriormente, foi calculado com base nos modelos matemáticos ajustados por Silva et al. (2014) a área do cladódio (AC, cm²) (Equação 1). O índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) foi calculado por meio da razão entre a área total dos cladódios e o espaçamento utilizado na área (SILVA et al., 2014a).

$$AC = \frac{0,7086 \times (1 - \exp^{-0,000045765 \times CC \times LC})}{0,0000045765} \quad (1)$$

Para a obtenção do peso fresco e seco da palma forrageira foram realizadas amostragens de biomassa a cada três meses no primeiro ciclo,. A obtenção do peso fresco foi no momento do corte, com auxílio da balança eletrônica, onde foi pesado a planta inteira, para a estimativa do peso fresco, e dois cladódios escolhidos a partir do terço médio da planta como subamostra para a determinação do peso seco por critério de representatividade em relação aos demais cladódios.

Nos dois últimos ciclos, a obtenção da biomassa foi feita ao término de cada período experimental, nesse caso, foram escolhidos um cladódio por ordem de surgimento para a obtenção do peso seco. O material vegetal foi fracionado e acondicionado em sacos de papel e posteriormente levado para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65 °C, até atingir o peso constante de matéria seca (kg), e assim obter o peso seco. O teor

de matéria seca (TMS) do cladódio foi obtido através da relação entre o peso fresco e o peso seco do cladódio. O rendimento de matéria fresca (Y.MF Mg ha⁻¹) foi estimado considerando o peso total fresco da planta e a densidade final das plantas da parcela útil. Para estimativa do rendimento de matéria seca (Y.MS Mg ha⁻¹) foi considerado os valores do teor de matéria seca e os valores estimados de matéria fresca.

Os índices morfofisiológicos foram determinados a partir dos dados coletados de biometria e biomassa. Os mesmos foram submetidos a análises de regressões sigmóides, usando a relação entre o IAC e matéria seca com os graus dias acumulados (GDA). Nos dois últimos ciclos, a determinação dos índices morfofisiológicos e a fenologia foi a partir da adaptação dos parâmetros das regressões sigmóides do IAC e matéria seca do primeiro ciclo. O GDA foi obtido por meio da diferença acumulada entre os valores de temperatura média do ar (°C) e a temperatura base da cultura (Tb, °C) (SOUZA et al., 2021), sendo adotado o valor de Tb de 22 °C, conforme Araújo Júnior et al. (2017). Foram calculadas a área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia), taxa de crescimento absoluto da cultura (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia) e taxa de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia), conforme as relações: TAL = TCA/IAC; TCR = TCA/MS e ACE = IAC/MS. O momento de corte foi determinado como sendo 25% após a máxima taxa de acúmulo de matéria seca.

A fenologia vegetativa da palma forrageira foi determinada a partir de análises de regressão. No cálculo da taxa de produção de cladódio utilizaram-se apenas as equações com coeficientes de determinação superiores a 0,85 e parâmetros significativos (p < 0,05) usando o teste t (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). Uma nova fase vegetativa foi determinada quando a taxa de emissão de cladódio de ordem inferior foi superada pela nova taxa de emissão de cladódio de ordem sucessora (AMORIM et al., 2017).

2.5 Balanço de água no solo

A determinação do balanço de água no solo baseou-se no modelo de Libardi (2005) que incide na conservação da massa de água em determinado volume de solo, descrito pela Equação 2.

$$-ET = P + I \pm R \pm Q_z \pm \Delta A \quad (2)$$

em que, ΔA = variação de armazenamento de água no solo num volume controle (mm); P = precipitação pluvial (mm); I = irrigação (mm); R = escoamento superficial (mm); Q_z = fluxo vertical de água no solo (mm); ET = evapotranspiração (mm).

A variação de armazenamento de água no solo foi determinada utilizando-se os valores iniciais e finais do conteúdo de água no solo. Sendo-os adquiridos por meio de leituras feitas por camada a cada 0,10 m, na profundidade de interesse ($Z = 0,70$ m), com o auxílio de uma sonda capacitiva (Diviner 2000®), conforme a Equação 3.

$$\Delta A = (\theta_f - \theta_i) \times L \quad (3)$$

em que, θ_f e θ_i = conteúdo de água volumétrico inicial e final, respectivamente ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); L = profundidade de interesse (mm).

O monitoramento da precipitação pluviométrica (P) teve o auxílio de um pluviômetro automático (Modelo QMR101, Vaisala Technologie®) situado na estação meteorológica automática. Em seguida, os valores foram integrados para o intervalo do período experimental conforme a Equação (4).

$$\int_{t_i}^{t_j} p \, dt = P \quad (4)$$

onde, p – lâmina da precipitação (mm dia^{-1}); t – tempo (dia^{-1}).

A lâmina total de irrigação (I) foi obtido a partir da integração dos valores de água aplicada durante o período experimental, conforme a Equação (5).

$$\int_{t_i}^{t_j} i \, dt = I \quad (5)$$

em que, i = intensidade de irrigação (mm dia^{-1}); t = tempo (dia^{-1}).

A obtenção do escoamento superficial (R) se deu por meio do ajuste da curva de regressão polinomial de grau 2 entre os dias que houve precipitação e o volume de água escoado. Com esse propósito, calhas de 1 m^2 foram instaladas na área experimental para captação do volume de água (litros).

A determinação do fluxo vertical de água no solo (Q_z) utilizou-se a base limite inferior do perfil do solo (profundidade previamente determinada: 0,60 m). Para isso, foram usados dados do potencial total de água da camada logo acima e abaixo do valor determinado, considerada ascensão capilar (AC) para valores positivos e, drenagem profunda (DP) quando negativos. Já a densidade do fluxo (q) foi quantificada a partir da equação proposta por Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005):

$$q = -K(\theta) \times \frac{\Delta \Psi_t}{\Delta z} \quad (6)$$

em que, q = densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) na profundidade de controle (0,60 m); $K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm

dia⁻¹); $\Delta\psi/\Delta z$ = gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas inferiores e superiores à profundidade determinada.

A condutividade hidráulica do solo em função da umidade $K(\theta)$ foi determinada com base no método do perfil instantâneo descrito por Libardi (2005):

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (7)$$

em que, $K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo (mm dia⁻¹); K_0 = condutividade hidráulica no solo saturado (mm dia⁻¹); γ = é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do conteúdo de água no solo (θ); θ_0 = conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição, sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SILVA et al., 2015a).

O gradiente de potencial total da água no solo ($\Delta\psi/\Delta z$), em mm⁻¹, nas camadas inferiores e superiores, foi estimado pela Equação 8:

$$\Psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (8)$$

em que, α e β são coeficientes adimensionais que foram ajustados, por meio do método do perfil instantâneo, para as camadas 0,50 m (10,551 e -03,348) e 0,70 m (24,712 e -7,485) (SILVA et al., 2015a). A evapotranspiração (ET, mm) foi determinada a partir do resíduo da equação do balanço de água no solo (Equação 2).

Os componentes do balanço de água no solo foram calculados e distribuídos em sete períodos por época experimental. Os períodos consistem em intervalos de dias não equidistantes, a diferença de dias em alguns períodos ocorreu devido ao período de avaliação das épocas não serem uniformes (Tabela 1).

Tabela 1. Datas de início e término dos sete períodos em que foram acumulados os componentes do balanço de água no solo durante o período de 16 de janeiro de 2019 a 9 setembro de 2022, Serra Talhada-PE

Período	Época 1		Época 2		Época 3	
	Início	Final	Início	Final	Início	Final
1	16/01/2019	20/03/2019	04/11/2020	09/12/2020	03/09/2021	22/10/2021
2	27/03/2019	29/05/2019	16/12/2020	20/01/2021	29/10/2021	17/12/2021
3	05/06/2019	07/08/2019	27/01/2021	03/03/2021	24/12/2021	11/02/2022
4	14/08/2019	16/10/2019	10/03/2021	14/04/2021	18/02/2022	08/04/2022
5	23/10/2019	25/12/2019	21/04/2021	26/05/2021	15/04/2022	03/06/2022
6	01/01/2020	05/03/2020	02/06/2021	07/07/2021	11/06/2022	29/07/2022
7	11/03/2020	06/05/2020	21/07/2021	25/08/2021	05/08/2022	09/09/2022

2.6 índices de eficiência hídrica

A partir dos dados de rendimento de matéria seca, precipitação, irrigação e evapotranspiração foram determinados dos índices hídricos para o cultivo palma forrageira. A eficiência do uso da água é o índice utilizado para quantificar a quantidade de água utilizada pela planta para produzir matéria seca a partir do volume de água inserida no sistema de cultivo. Este pode ser determinado com base em parâmetros como a produtividade final comercializável da cultura ou na biomassa total produzida, ou ao longo de todo o período de cultivo. Ainda, pode ser obtida contabilizando-se os investimentos econômicos fixos e variáveis na área cultivada (FERNÁNDEZ et al., 2020).

A eficiência do uso da água da cultura (WUEc e *WUEc) foi determinada de duas formas: a primeira (Equação 9) como a relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a quantidade de água aplicada (P+I), e a segunda (Equação 10) com base na relação entre a biomassa total da cultura, que corresponde a toda massa vegetal produzida pela planta ao longo do período cultivado e a ETr conforme Fernández et al. (2020):

$$WUEc = \frac{\Sigma ETr}{\Sigma P + I} \quad (9)$$

em que, WUEc = eficiência do uso da água da cultura ($m^3 \text{ ha}^{-1} m^3 \text{ ha}^{-1}$); ΣETr = evapotranspiração real ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); P = precipitação ($m^3 \text{ ha}^{-1}$); I = irrigação ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).

$$*WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma ETr} \quad (10)$$

em que, *WUEc = eficiência do uso da água da cultura ($kg \text{ ha}^{-1} m^3 \text{ ha}^{-1}$); biomassa = Biomassa seca total da cultura ($kg \text{ ha}^{-1}$); ET = evapotranspiração real ($m^3 \text{ ha}^{-1}$).

Os índices hídricos com base nos rendimentos de produtividade foram calculados da seguinte forma: produtividade da água da cultura (WPc e *WPc) foi calculada em duas configurações, em ambas usa-se rendimento de matéria seca final comercializável da cultura (Y) numerador, entretanto, o denominador da primeira (Equação 11) é a evapotranspiração real (ETr) e o da segunda (Equação 12) total de água envolvida na produção durante todo o ciclo (P + I) (FERNÁNDEZ et al., 2020).

$$WPc = \frac{Y}{\Sigma ETr} \quad (11)$$

em que, WP_c = produtividade da água da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria seca (kg ha^{-1}) a partir dos cladódios de segunda ordem; ETr = evapotranspiração real ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

$$*WP_c = \frac{Y}{P + I} \quad (12)$$

em que, $*WP_c$ = produtividade da água da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria seca (kg ha^{-1}); P = precipitação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade da água de irrigação (WPI) foi alcançada avaliando o rendimento de produtividade da cultura sobre a quantidade de água aplicada via irrigação (I) (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$WPI = \frac{Y}{\Sigma I} \quad (13)$$

em que, WPI = produtividade da água irrigação ($\text{kg ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Y = rendimento de matéria fresca e seca (kg ha^{-1}); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade econômica bruta da água de irrigação ($GEWPI$) foi calculada a partir da relação entre a margem bruta (Margem bruta = Receita - Custos variáveis) (em qualquer moeda; nesse caso foi utilizado dólar americano) e a irrigação aplicada durante todo o ciclo de cultivo (FERNÁNDEZ et al., 2020). Equação 14:

$$GEWPI = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad (14)$$

em que, $GEWPI$ = produtividade econômica bruta da água de irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Margem bruta ($\text{US\$ ha}^{-1}$); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A receita foi determinada considerando o valor da $Mg \text{ ha}^{-1}$ de matéria fresca em 28,79 US\$ (1 US\$ = 5,21 BRL (Brazilian Real)). Os custos variáveis consideraram a energia elétrica, a depreciação dos componentes e a mão de obra (manutenção). Para os custos fixos considerou-se a sucção e conjunto de moto-bomba, recalque e a implementação da cultura.

A produtividade econômica líquida da irrigação foi obtida através da relação entre a margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis) e a lâmina de irrigação acumulada de todo o período de cultivo (FERNÁNDEZ et al., 2020), conforme Equação 15:

$$NEWPI = \frac{\text{Margem líquida}}{\Sigma I} \quad (15)$$

em que, $NEWPI$ = produtividade econômica líquida da irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$); Margem líquida ($\text{US\$ ha}^{-1}$); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$).

A produtividade econômica da água da cultura (EWPc) foi calculada baseada na relação entre o lucro produzido pela cultura (receita variável, custos fixos e de oportunidade) e a quantidade total de água aplicada em toda a área cultivada (Equação 16) (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$EWPc = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (16)$$

em que, EWPc = produtividade econômica da água da cultura (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Profit = lucro do custo de oportunidade (US\$); P = precipitação (m³ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

O custo de oportunidade é o ganho econômico da cultura direcionada para outra finalidade, nesse caso, determinado como o valor ganho através da venda de cladódios por unidade (FERNÁNDEZ et al., 2020). A determinação do custo de oportunidade foi obtida através do valor da unidade do cladódio (0,03 US\$) multiplicado pela quantidade de cladódio comercializáveis (cladódios do terço médio de cada planta) produzido por todas as plantas do stand.

A produtividade econômica da água de irrigação (EWPi) foi calculada com base no valor do Profit e a lâmina de água aplicada via irrigação (FERNÁNDEZ et al., 2020):

$$EWPi = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (17)$$

em que, EWPi = produtividade econômica da água de irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Profit = custo de oportunidade (US\$); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

2.7 Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes e eficiência do uso de nutrientes

O coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (CUB) foi determinado com base no peso da matéria seca e concentrações de nutrientes nos cladódios da palma (Equações 18 e 19), utilizando método adotado por Léo et al. (2020).

$$CUB = \frac{YMS}{A_{(i)}} \quad (18)$$

em que, CUB - coeficiente de utilização biológica do nutriente, kg kg⁻¹; YMS – produção de matéria seca, kg ha⁻¹ e A_(i) – acúmulo do nutriente, kg ha⁻¹, obtido conforme Equação 19.

$$A_{(i)} = CN_{(i)} \times YMS \quad (19)$$

em que, CN_(i) - teor do nutriente, kg kg⁻¹.

Os teores de nitrogênio foram determinados pelo método de Kjeldahl e o fósforo, potássio, cálcio e magnésio foram determinados a partir da espectrometria de emissão atômica com indução de plasma, seguindo metodologia da EMBRAPA (2000).

A eficiência do uso dos nutrientes (EUN) foi obtido a partir da relação entre o rendimento da cultura (Y), a concentração dos nutrientes presente na planta [Nu] e a evapotranspiração real acumulada (ΣETr) (SILVA et al., 2014b).

$$EUN(w) = \frac{Y \cdot [Nu]}{\Sigma ETr} \quad (20)$$

em que, EUN – eficiência do uso dos nutrientes ($g\ ha^{-1}\ mm^{-1}$); (w) - refere-se ao nutriente em análise (N, P, K, Ca e Mg); Y - é o rendimento da cultura ($kg\ ha^{-1}$); [Nu] – concentração do nutriente na amostra ($g\ kg^{-1}$); ETr – evapotranspiração real (mm).

2.8 Análises estatísticas

Os dados de produtividade (Y - matéria fresca e seca), biometria das plantas e dos cladódios, índices hídricos, concentração dos nutrientes, coeficiente de utilização biológica e eficiência no uso dos nutrientes foram submetidos a análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Sendo significativo, as médias foram submetidas a análise de regressão linear e quadrática. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R. O ajuste das curvas de regressão dos índices morfofisiológicos e fenologia, assim como a confecção dos gráficos foram realizados no SigmaPlot (versão 14.0).

3. RESULTADOS

3.1 Índices morfofisiológicos de palma forrageira

Observa-se na Figura 7 o comportamento dos índices morfofisiológicos do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana cultivada sob diferentes doses de nitrogênio. Nota-se que houve diferença no comportamento das curvas de todos os índices por ciclo e conforme o tratamento aplicado na palma.

Na área específica do cladódio (ACE) (Figuras 4A, 74 e 4C), o tratamento com T1 apresentou comportamento semelhante da curva e proporcionou os maiores valores nos três ciclos. Tendo a máxima ACE (2,78, 4,31 e 2,90 ha Mg⁻¹, respectivamente) no início e reduzindo ao fim dos ciclos. O tratamento T2 apresentou os menores valores de ACE e comportamento semelhante da curva entre os ciclos. A máxima área específica (0,59, 0,23 e 0,21 ha Mg⁻¹) ocorreu após o início do ciclo (1000, 600 e 650 GDA) e reduzindo ao fim de cada ciclo. Os demais tratamentos (T3 e T4) tiveram valores médios de ACE, sendo o tratamento T3 com comportamento diferente entre os ciclos, o primeiro com máxima após o início e os dois últimos com máxima no início.

A taxa de assimilação líquida (TAL) (Figuras 4D, 4E e 4F) apresentou comportamento da curva semelhante entre os ciclos. As plantas de OEM adubadas com 150 kg ha⁻¹ de N tiveram os maiores resultados dentre todos os tratamentos, com máxima assimilação líquida no início de cada ciclo (0,10, 0,21 e 0,20 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente). Os demais tratamentos apresentaram resultados e comportamento da curva semelhantes, com os valores variando entre os ciclos. A curva apresentou tendência positiva até o meio dos ciclos, e em seguida redução até o final. No primeiro ciclo a máxima ocorreu aos 1500 °Cdias, no segundo aos 600 °Cdias e o terceiro aos 650 °Cdias. Os resultados expressos da taxa de crescimento absoluto (TCA) (Figuras 4G, 4H e 4I), apresentaram diversidade entre os ciclos conforme os tratamentos sobre a palma OEM apresentando comportamento crescente da curva até a metade do ciclo (ciclo 1: 1500 °Cdias, ciclo 2: 600 °Cdias e ciclo 3: 650 °Cdias) e, posteriormente, declinando até o momento em que os ciclos foram finalizados. Entretanto, nota-se que visualmente os tratamentos não apresentaram diferenças, embora os valores tenham sido distintos. Os tratamentos T3 no primeiro ciclo, T1 no segundo ciclo e T2 no terceiro ciclo, foram os maiores entre todos, chegando a 0,0382, 0,1279 e 0,0704 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente.

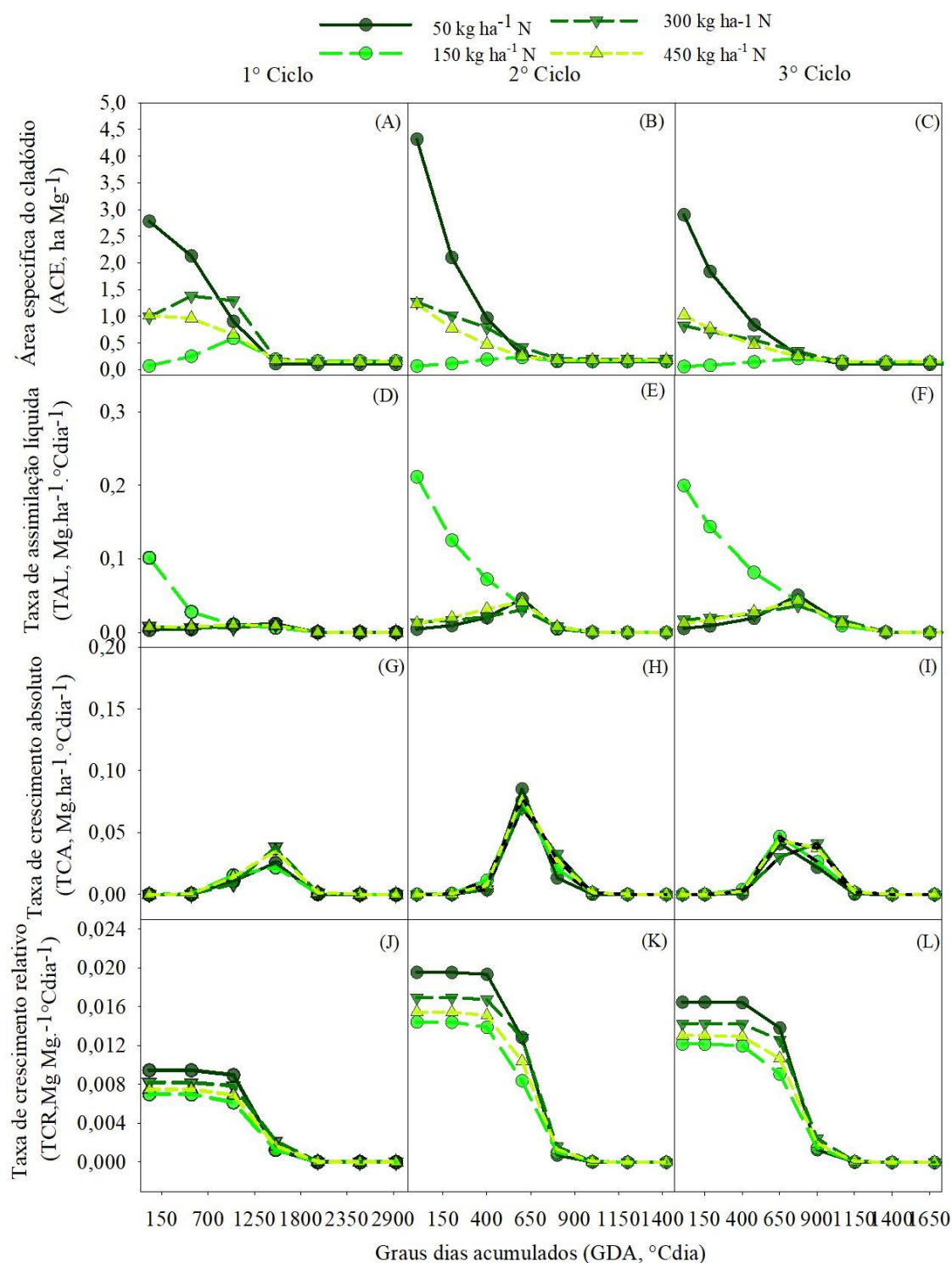


Figura 4. Índices morfofisiológicos da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana cultivada sob diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

Para a taxa de crescimento relativo (TCR) (Figuras 4J, 4K e 4L), o comportamento da curva e os resultados expressos com a influência dos tratamentos sobre a palma

forrageira apresentaram os mesmos comportamentos. Tendo alto acúmulo de matéria seca no período inicial da época de cultivo e reduzindo conforme o fim do ciclo. Os clones com a menor dosagem de nitrogênio foram os que mais acumularam em todos os períodos estudados, tendo a máxima no segundo ciclo com $0,01953 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$. As plantas que receberam dosagem de 150 kg ha^{-1} de N tiveram os menores acúmulos de matéria seca em relação a pré-existente nas plantas, com o menor valor visto no primeiro ciclo, valor de $0,007 \text{ Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$.

3.2 Fenofases, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte da palma forrageira

As Figuras 5, 6 e 7 expõe as fenofases da palma OEM submetida a diferentes doses de nitrogênio através da taxa de emissão de cladódio nos três ciclos de cultivo, respectivamente. Assim como o momento ideal de corte por meio do acúmulo de matéria seca observa-se que o clone OEM atingiu em média, a fase vegetativa 2 (F2) para todos os tratamentos nos três ciclos de avaliação. Com exceção para o tratamento T4 no primeiro ciclo, que chegou a emitir cladódio de terceira ordem, numa taxa que se configurou a F3.

No primeiro ciclo (Figura 5), os maiores picos de emissão de cladódios foram registrados na F2 para os tratamentos T1, T2 e T3 (Figuras 5A, 5B e 5C) e na F3 para o tratamento T4 (Figura 5D). O tratamento T2 (Figura 5B) teve os maiores valores de emissão de cladódios, tanto na F1 ($0,1250 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdias}^{-1}$) quanto na F2 ($0,7752 \text{ Unid. }^{\circ}\text{Cdias}^{-1}$), ocorrendo aos 904 e 1087 GDA, respectivamente.

Embora tenha havido diferença na taxa de emissão, o acúmulo de matéria seca, e por consequência, o momento de corte não apresentou grande diferença entre os tratamentos, tendo o máximo pico entre 1284 e 1375 GDA, gerando um momento de corte próximo aos 1650 GDA. Apenas o tratamento T4 (Figura 5D) apresentou o máximo acúmulo de matéria seca simultaneamente a máxima emissão de cladódio, os demais foram logo após o pico da taxa de emissão de cladódio.

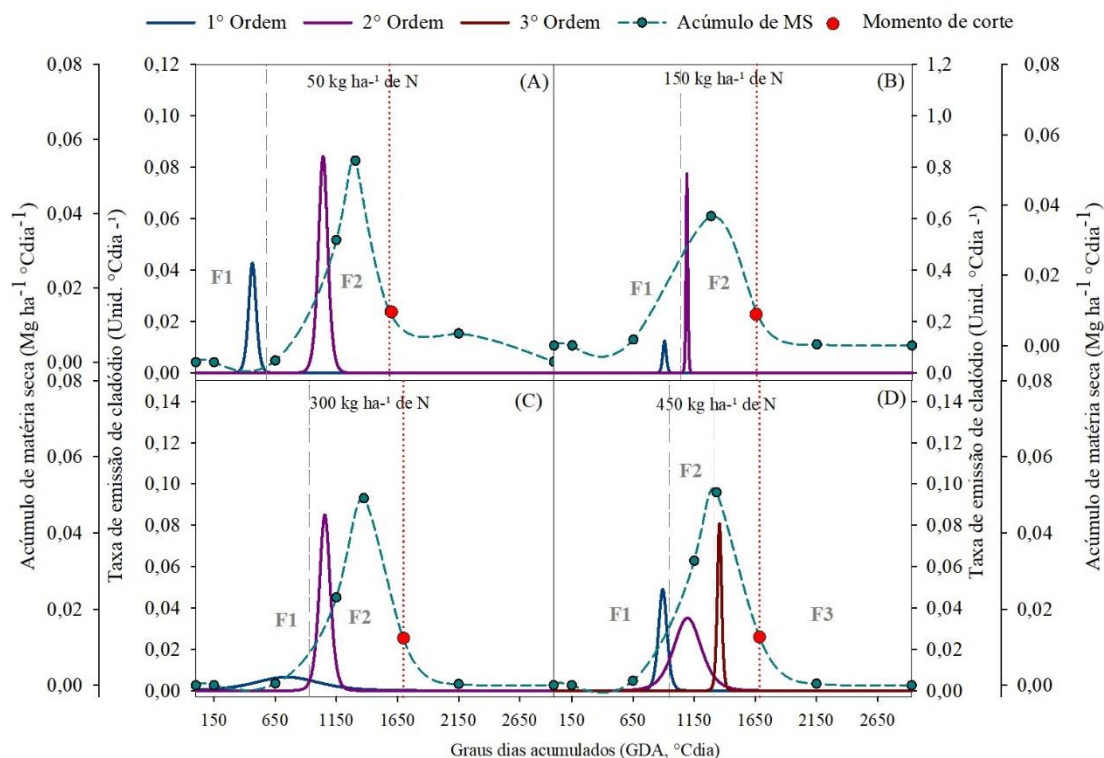


Figura 5. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do primeiro ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

O segundo ciclo (Figura 6B) indicou que o tratamento T2 teve os maiores valores de taxa de emissão de cladódio. Os cladódios de segunda ordem (F2) emitiram 1,42 Unid. °Cdias⁻¹, aproximadamente, o dobro do valor encontrado no mesmo tratamento na primeira época de avaliação.

Os tratamentos T1, T3 e T4 (Figuras 6A, 6C e 6D, respectivamente) aumentaram expressivamente a unidade de cladódio produzida por graus dias para os cladódios de 2^a ordem, chegando a atingir o triplo do valor encontrado no primeiro ciclo (0,23, 26 e 0,10 Unid. °Cdias⁻¹, respectivamente). Outro ponto semelhante visto entre o primeiro e o segundo ciclo foi o momento ideal de corte, que se concentrou, para todos os tratamentos próximo à metade do período experimental. Assim como no primeiro ciclo, o tratamento com a menor dose de nitrogênio proporcionou o momento de corte mais antecipado (768 GDA). Entretanto, esse valor não teve grande variação em relação aos demais tratamentos ficando próximo aos 800 graus dias acumulados.

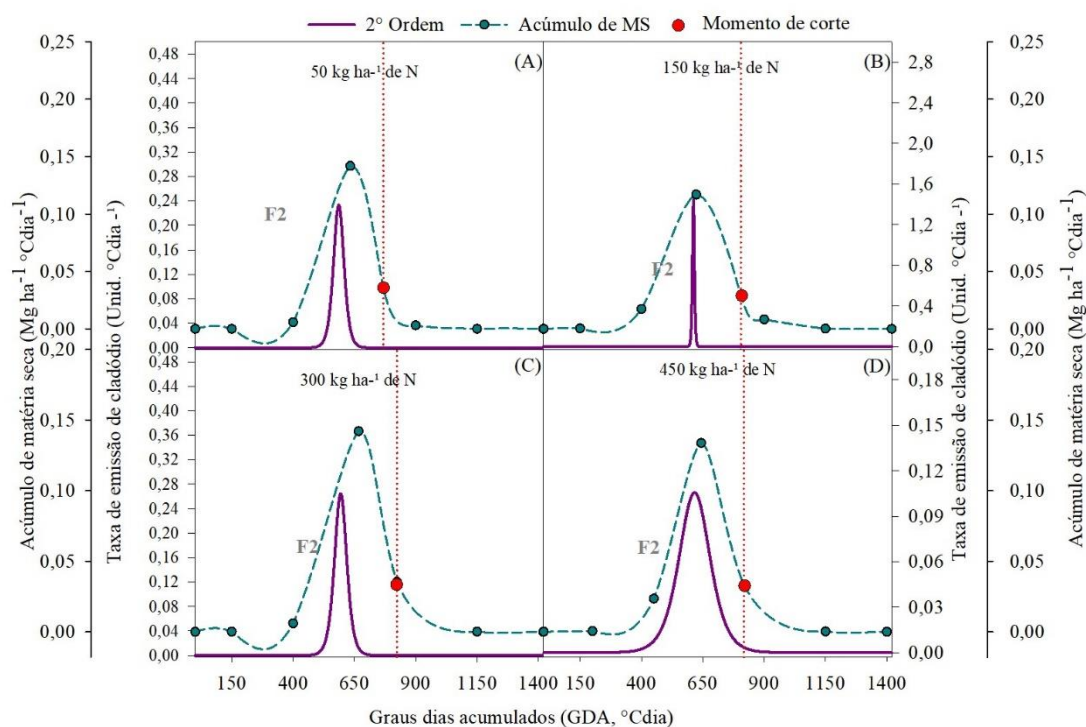


Figura 6. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do segundo ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

O último período de avaliação (Figura 7) não apresentou comportamento diferente do seu antecessor. Nota-se que todos os tratamentos tiveram redução nos valores alcançados para a taxa de emissão de cladódios e acúmulo de matéria seca. Assim como nos ciclos anteriores estudados, o tratamento T2 (Figura 7B) teve o maior valor entre os tratamentos e o T4 o menor.

O acúmulo de matéria seca também apresentou redução para todos os tratamentos, entretanto, não apresentou influência no momento de corte, que seguiu o mesmo comportamento visto nos ciclos anteriormente estudados. No geral, os clones de palma forrageira tiveram o momento ideal de corte em meados de cada ciclo, indicando não haver diferença em relação à dosagem de nitrogênio aplicada.

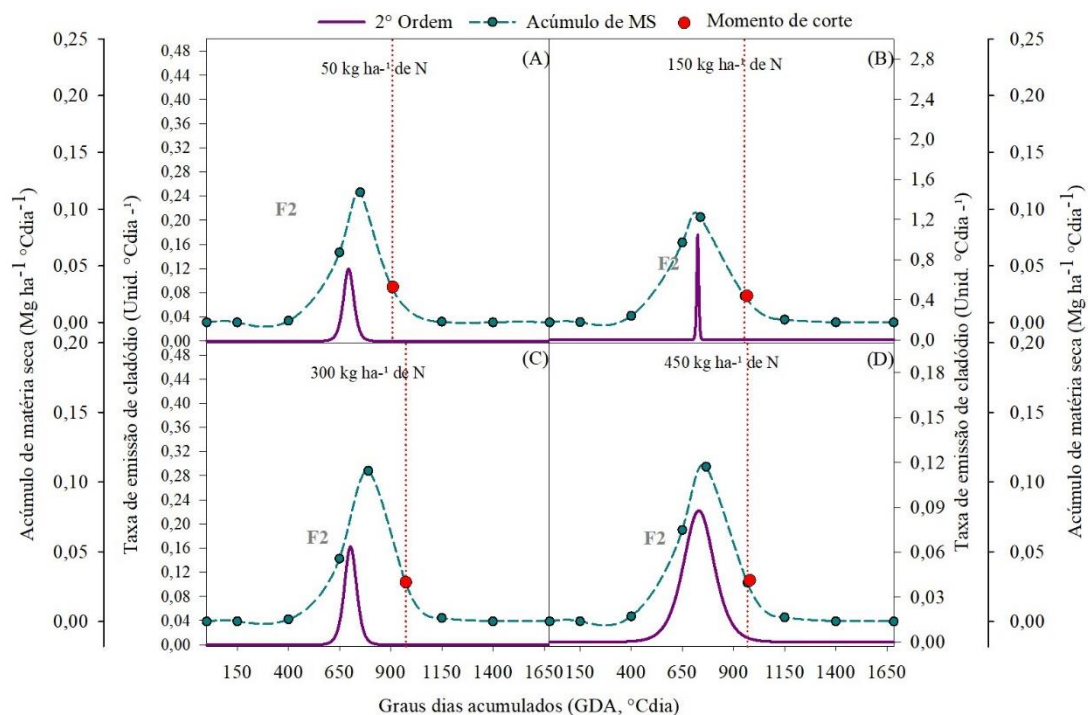


Figura 7. Taxa de emissão de cladódio, acúmulo de matéria seca e momento ideal de corte do terceiro ciclo de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetido a diferentes doses de N. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

3.3 Biometria final e rendimentos de produtividade em massa fresca e seca

As variáveis biométricas da planta (Figura 8) e do cladódio (Figura 9), o número total de cladódio (NTC), altura (AP) e largura (LP) da planta, comprimento (CC), largura (LC), espessura (EC) e perímetro (PC) do cladódio apresentaram resposta positiva e quadrática nos dois primeiros ciclos, e positiva e linear no terceiro ciclo ao aumento da dosagem de nitrogênio. Exceção para largura e espessura do cladódio (Figuras 9E e 9K, respectivamente) no segundo ciclo, que teve resposta positiva e linear. Para o número total de cladódio nos dois primeiros ciclos (Figuras 8A, 58 e 8C), a máxima dosagem foi de 288,18 e 311,60 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. Com exceção da menor dose aplicada, todas as outras propiciaram em um dos ciclos o maior número de cladódios produzidos por planta.

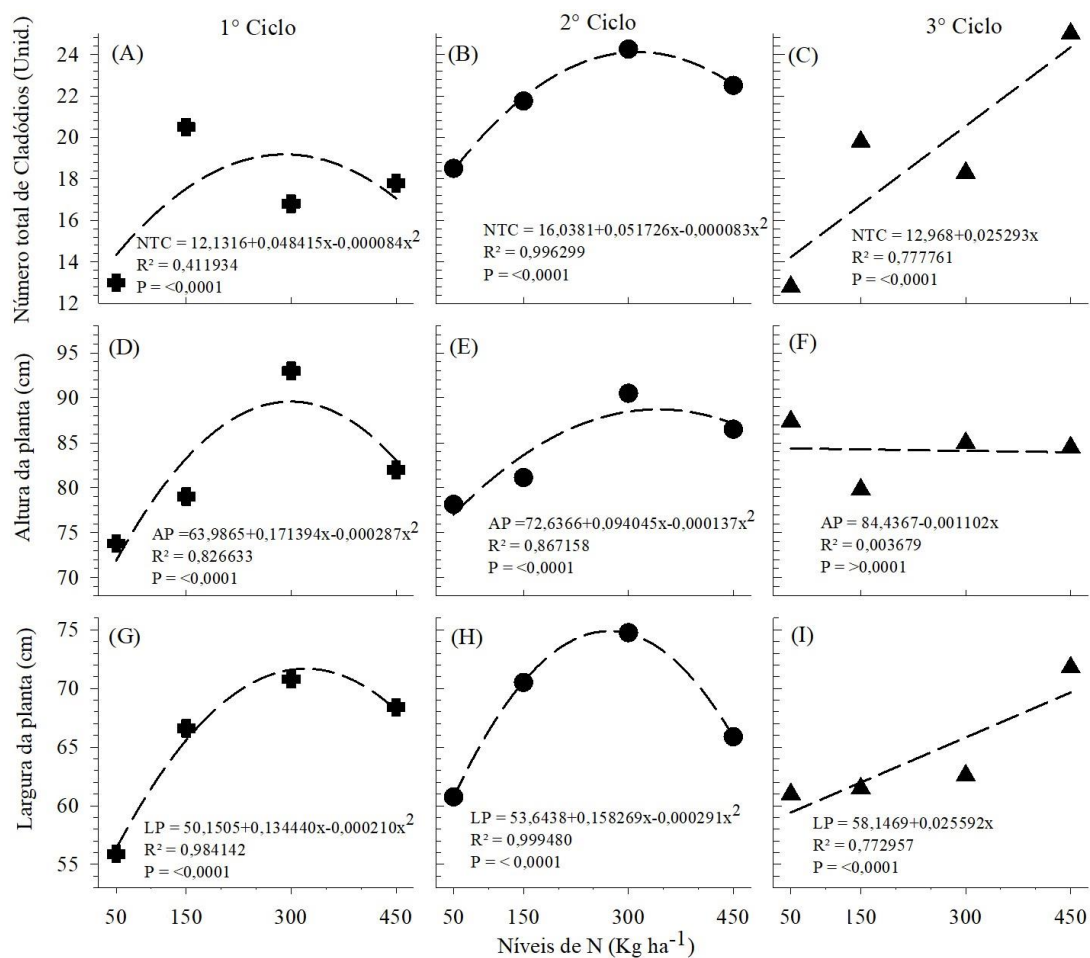


Figura 8. Número total de cladódio (NTC), altura da planta (AP) e largura da planta (LP) de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

No primeiro ciclo, 20,5 unidades de cladódios no tratamento com 150 kg ha⁻¹ de N (T2), e no segundo ciclo, com 24,25 unidades de cladódios no tratamento com T3. No último ciclo, o número de brotações aumentou conforme o aumento da dosagem aplicada, isso fez com que o T4 tenha produzido 25 unidades de cladódios, indicando um incremento de 95,13% entre a menor e a maior dose

A AP para os dois primeiros ciclos (Figuras 8D e 8E) indicaram a máxima dosagem de 298,59 e 343,22 kg ha⁻¹ de N. Os maiores valores foram visualizados no tratamento T3 quando comparando com a menor dosagem, proporcionando um aumento na altura das plantas de 19,25 cm (26,1%) e 12,37 cm (15,83%). O último ciclo (Figura 8F) indicou o tratamento T1 como responsável por apresentar a maior altura da planta (87,4 cm), já as plantas adubadas no T2, indicou o menor valor na altura das plantas (79,8

cm). Com relação a LP, os dois primeiros ciclos indicaram que o tratamento T3 influenciou nas maiores larguras encontradas em todas as plantas estudadas, 70,75 e 74,75 cm, respectivamente. A máxima dosagem para tais resultados foram de 320,10 e 271,94 kg ha⁻¹ de N para o primeiro e segundo ciclo, nessa ordem. No último ciclo, as plantas adubadas com a maior dose obtiveram as maiores larguras (71,8 cm). O incremento para tais resultados, em comparação com o resultado da menor dose foram de 26,61%, 23,04% e 17,70% para os três respectivos ciclos.

Os resultados das variáveis biométricas do cladódio (Figura 9) indicaram de forma geral no primeiro ciclo, destaque para as plantas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N, com exceção da espessura do cladódio (Figura 9G) que teve o maior valor (28,29 mm) no tratamento com T2. A máxima dosagem para o CC, LC e PC foram de 291,23, 292,63 e 299,52 kg ha⁻¹ de N e o incremento foi de 10,6%, 6,6% e 9% em comparação aos menores resultados, visto no tratamento com a menor dose entre os tratamentos.

No segundo ciclo, os maiores resultados para o CC e EC foram vistos no tratamento T3, já os resultados de LC e PC foram visualizados na maior dosagem entre os tratamentos. Para as variáveis (CC e EC) com os modelos quadráticos, a máxima dosagem foi de 337,39 e 293,82 kg ha⁻¹ de N, nessa ordem. Analisando as quatro variáveis, o maior incremento foi visto no comprimento do cladódio (Figura 9B) (12,62%) quando comparado ao menor valor apresentado (25,67 cm, referente a 50 kg ha⁻¹ de N).

O terceiro ciclo indicou comportamento decrescente para as quatro variáveis de crescimento dos cladódios, indicando que as duas menores dosagens proporcionaram os maiores valores para a EC, e o maior valor (23,13 mm) foi visto no tratamento com 300 kg ha⁻¹ de N. Para o CC, LC PC, os menores valores foram encontrados no tratamento T3. Apesar do comportamento decadente, a diferença entre os maiores e menores valores visto em tais variáveis foi de apenas 3,5% (CC), 6,6% (LC) e 6,1% (PC). Já o incremento na EC foi influenciado pelo aumento da dosagem, apresentando incremento de 12,1% em comparação com o tratamento (T2) que apresentou o menor valor (20,63 mm).

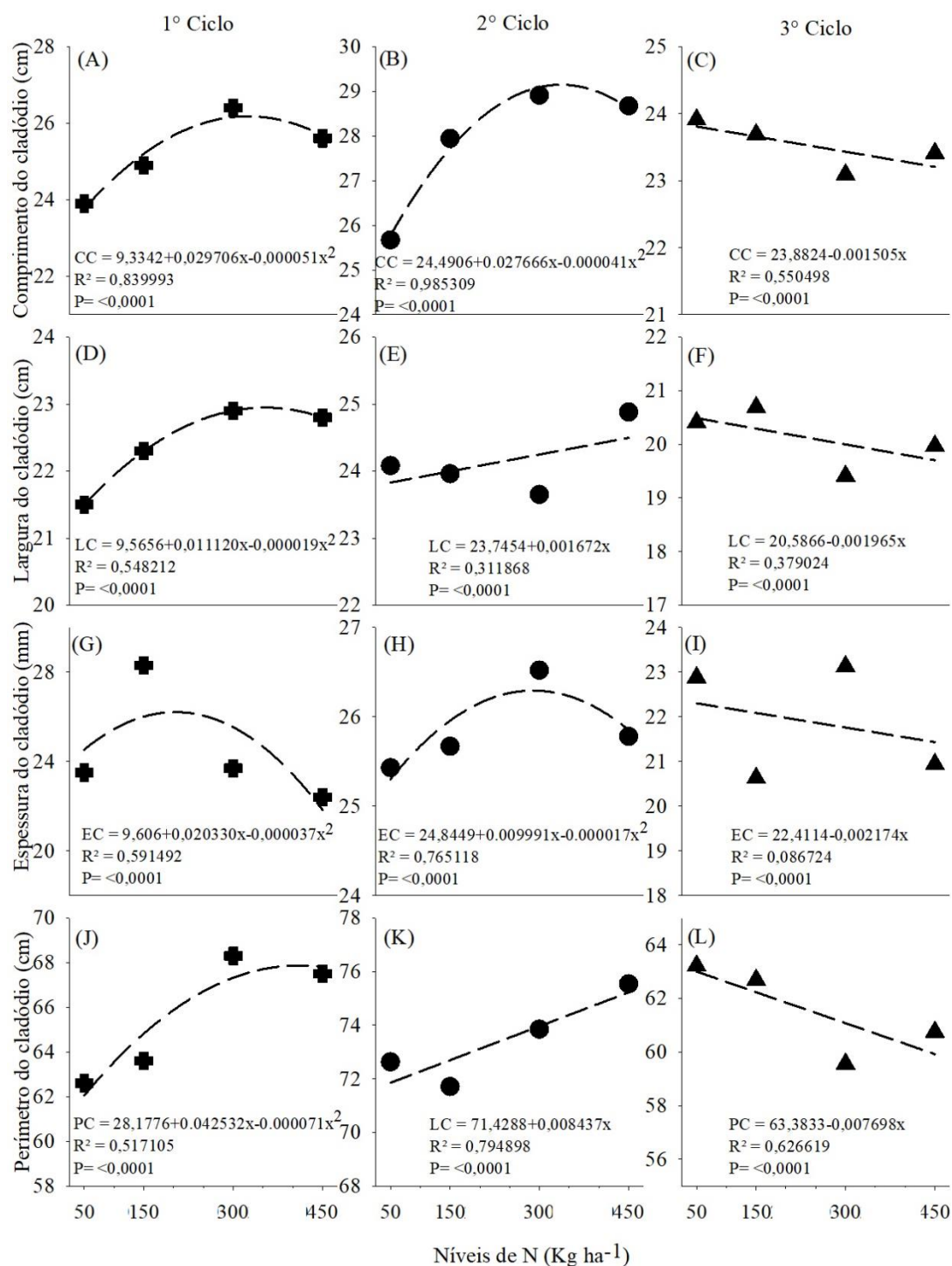


Figura 9. Comprimento do cladódio (CC, cm), largura do cladódio (LC, cm), espessura do cladódio (EC, mm) e perímetro do cladódio (PC, cm) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio. T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

Os rendimentos produtivos dos três ciclos da palma Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes doses de nitrogênio estão expostos na Figura 10. A produtividade de matéria fresca (MF) e seca (MS) apresentou resposta positiva e quadrática nos dois primeiros ciclos, e positiva e linear no terceiro, ao aumento da dosagem de nitrogênio. Em relação às regressões quadráticas, a dosagem máxima foi de 286,19 e 413,33 kg ha⁻¹ de N para MF nos dois primeiros ciclos (Figura 10A e 10B, respectivamente). Já para produtividade de MS, a máxima dosagem foi de 299,12 e 416,79 kg ha⁻¹ de N nos dois primeiros ciclos (Figuras 10D e 10E, respectivamente).

Verificou-se que para o primeiro ciclo, o incremento na produtividade de MF foi de 101,2% maior para a dosagem de 300 kg ha⁻¹ de N (T3), com produtividade igual a 322 MF Mg ha⁻¹, quando comparado a menor dosagem (50 kg ha⁻¹ de N, T1), que obteve produtividade de 160,05 MF Mg ha⁻¹. No segundo ciclo, a maior produtividade de matéria fresca foi 433,3 Mg ha⁻¹ (450 kg ha⁻¹ de N, T4) e a menor foi de 363,1 Mg ha⁻¹ (T1) gerando um incremento de 19,33%.

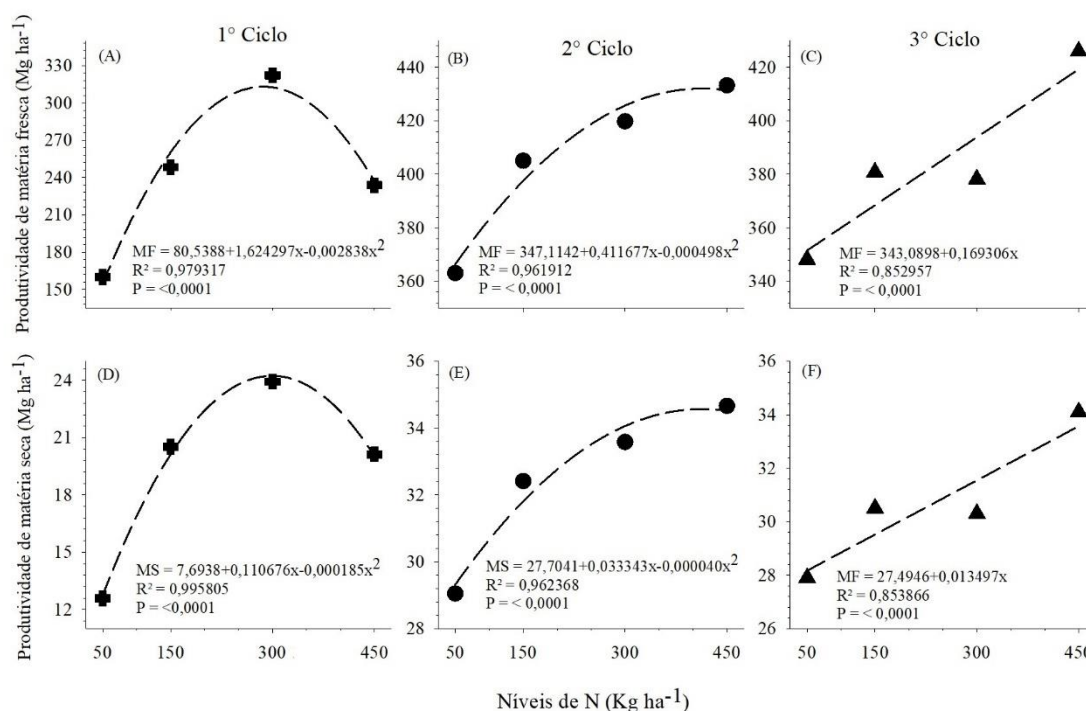


Figura 10. Rendimento de matéria fresca (MF) e seca (MS) de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em três ciclos consecutivos, adubadas com diferentes doses de nitrogênio T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

Para o terceiro ciclo, o maior rendimento de MF (426 Mg ha^{-1}) foi visto na maior dose (T4) e o menor rendimento ($348,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) na menor dose (T1), com incremento de 22,34%. Para a produtividade de matéria seca, a Orelha de Elefante Mexicana seguiu proporcionalmente o mesmo comportamento no incremento entre as doses. Nos três ciclos (Figura 10D, 10E e 10F), o acréscimo na produtividade de MS foi de 90,07, 19,65 e 22,22%, respectivamente.

3.4 Balanço hídrico do solo

Os componentes do balanço de água no solo, avaliados em três épocas de cultivo em clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes doses de nitrogênio estão expostos Tabela 2.

Com exceção do T1 no primeiro e segundo ciclo, a drenagem profunda (DP) foi maior que a ascensão capilar (AC), para todos os tratamentos em todos os ciclos. Destaca-se o último ciclo, que apresentou o maior valor (30,6 mm) dentre todos os ciclos e tratamentos. Nota-se que os demais componentes, principalmente o escoamento superficial (R) sofreram mais influência da água inserida no sistema do que os tratamentos impostos com as doses de nitrogênio. A primeira época de avaliação foi a maior entre todas (483 dias) e teve maior volume de água inserida no sistema, 1822 mm via precipitação e irrigação. Tal época indicou que a maior variação de armazenagem (ΔA) ocorreu nas plantas adubadas com 450 kg ha^{-1} de N (74,9 mm), 25,2 mm a mais que as plantas adubadas com a dosagem 50 kg ha^{-1} de N, indicando que a maior dosagem pode ter influenciado numa menor utilização de água disponibilizada para as plantas.

A segunda época teve o menor período (301 dias) de avaliação entre todas, assim como o menor volume de água inserida no sistema (780 mm), essa época apresentou ΔA negativa, com exceção do T3, que pode ter sofrido influência do sétimo período de avaliação, devido ao baixo incremento de água inserido no sistema, isso ocasionou elevada extração de água do solo. A terceira época teve 378 dias de avaliação, nesse período as plantas receberam via irrigação e precipitação 1149 mm. A variação de armazenamento de água no solo foi positiva para o tratamento com a menor dose, e negativa para os demais tratamentos, o que pode ser indicio que as plantas que receberam maior dose de nitrogênio absorveram mais água.

Tabela 2. Componentes do balanço hídrico em solo cultivado com clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes doses nitrogênio em ambiente semiárido

1° Época									2° Época									3° Época								
OEM 50 kg ⁻¹ Nitrogênio																										
PER	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr	Dias	P	I	DP	AC	R	ΔA	ETr		
1	70	179	38	0,0	0,0	-7,7	47,0	-162,5	42	112	29	0,0	0,0	-12,1	2,5	-126,4	56,1	21	46	0,0	0,0	-0,3	2,8	-64,2		
2	70	365	28	-0,6	1,4	-43,9	-16,9	-366,6	42	53	12	0,0	0,0	-3,1	26,2	-35,5	56,0	104	41	0,0	0,0	-6,5	2,5	-135,1		
3	70	65	36	0,0	0,2	-4,4	-11,0	-107,8	42	85	23	0,0	0,0	-3,9	12,0	-91,9	56,0	385	0	0,0	0,1	-53,2	36,2	-296,0		
4	70	4	60	0,0	0,0	0,0	-2,5	-65,8	42	235	6	-0,1	0,1	-34,2	-6,2	-213,1	55,9	229	0	0,0	0,1	-23,0	-41,3	-247,2		
5	70	53	68	0,0	0,2	-4,3	3,2	-113,2	42	121	0	-0,1	0,1	-12,1	-9,9	-119,2	56,0	98	0	-0,3	0,0	-4,6	2,4	-91,1		
6	71	289	28	0,0	0,3	-28,4	35,4	-252,6	42	50	12	0,0	0,1	-1,9	2,9	-57,2	56,0	152	0	-0,4	0,0	-8,0	2,9	-141,0		
7	62	565	45	-1,0	0,2	-101,7	-5,4	-464,4	49	1	41	0,0	0,1	0,0	-61,9	-104,0	42,0	72	0	0,0	0,0	-3,4	4,2	-64,7		
	483	1520	302	-1,6	2,2	-190,4	49,7	-1532,9	301	658	122	-0,2	0,3	-67,3	-34,4	-747,3	378,1	1062	87	-0,7	0,3	-99,0	9,7	-1039,4		
OEM 150 kg ⁻¹ Nitrogênio																										
1	70	179	38	-0,1	0,0	-7,7	50,3	-159,1	42	112	29	-0,2	0,0	-12,1	10,2	-118,4	56,1	21	46	0,0	0,0	-0,3	-10,0	-77,0		
2	70	365	28	-0,6	0,0	-43,9	-6,1	-354,4	42	53	12	0,0	0,0	-3,1	25,0	-36,6	56,0	104	41	0,0	0,0	-6,5	-2,4	-140,1		
3	70	65	36	-0,6	0,0	-4,4	-15,1	-111,2	42	85	23	0,0	0,0	-3,9	5,0	-98,9	56,0	385	0	-0,2	0,0	-53,2	29,4	-302,5		
4	70	4	60	0,0	0,0	0,0	-6,4	-69,6	42	235	6	-0,2	0,0	-34,2	-0,5	-207,3	55,9	229	0	-0,2	0,0	-23,0	-17,6	-223,3		
5	70	53	68	-0,1	0,0	-4,3	1,3	-114,9	42	121	0	-0,5	0,0	-12,1	-6,2	-115,0	56,0	98	0	-0,1	0,0	-4,6	-6,7	-100,4		
6	71	289	28	-0,2	0,0	-28,4	35,5	-251,9	42	50	12	-0,2	0,0	-1,9	1,0	-58,8	56,0	152	0	-0,7	0,0	-8,0	3,4	-140,1		
7	62	565	45	-2,5	0,1	-101,6	-5,1	-462,8	49	1	41	-0,2	0,0	0,0	-63,3	-105,1	42,0	72	0	-0,1	0,0	-3,4	-12,4	-81,2		
	483	1520	302	-4,2	0,1	-190,3	54,3	-1523,7	301	658	122	-1,4	0,0	-67,3	-28,7	-740,1	378,1	1062	87	-1,4	0,0	-99,0	-16,3	-1064,5		
OEM 300 kg ⁻¹ Nitrogênio																										
1	70	179	38	-0,2	0,0	-7,7	42,8	-166,5	42	112	29	-0,1	0,0	-12,1	10,3	-106,8	56,1	21	46	0,0	0,0	-0,3	6,2	-60,8		
2	70	365	28	-2,4	0,0	-43,9	-7,6	-354,1	42	53	12	0,0	0,0	-3,1	13,7	-58,9	56,0	104	41	0,0	0,0	-6,5	-12,6	-150,2		
3	70	65	36	-0,8	0,0	-4,4	-14,3	-110,2	42	85	23	-0,1	0,0	-2,9	14,4	-67,9	56,0	385	0	-1,0	0,0	-53,2	39,2	-292,0		
4	70	4	60	0,0	0,0	0,0	-2,7	-65,9	42	235	6	-1,6	0,0	-16,4	-3,7	-144,7	55,9	229	0	-0,7	0,0	-23,0	-24,7	-229,9		
5	70	53	68	0,0	0,0	-4,3	0,8	-115,4	42	121	0	-3,0	0,0	-30,9	-3,8	-195,4	56,0	98	0	-0,1	0,0	-4,6	-10,6	-104,3		
6	71	289	28	-0,3	0,0	-28,4	32,1	-255,3	42	50	12	-2,2	0,0	-0,4	12,5	-20,3	56,0	152	0	-0,8	0,0	-8,0	6,6	-136,8		
7	62	565	45	-2,9	0,3	-101,3	1,4	-456,7	49	1	41	-0,5	0,0	-1,5	-30,5	-92,5	42,0	72	0	-0,2	0,0	-3,4	-8,9	-77,6		
	483	1520	302	-6,6	0,3	-190,0	52,4	-1523,9	301	658	122	-7,6	0,0	-67,3	12,9	-686,5	378,1	1062	87	-2,9	0,0	-99,0	-4,9	-1051,6		
OEM 450 kg ⁻¹ Nitrogênio																										
1	70	179	38	0,0	0,0	-7,7	51,1	-158,4	42	112	29	-0,2	0,3	-12,1	11,2	-117,8	56,1	21	46	0,0	0,0	-0,3	0,2	-66,9		
2	70	365	28	-0,9	0,6	-43,9	-10,9	-359,4	42	53	12	0,0	0,1	-3,1	12,6	-49,2	56,0	104	41	0,0	0,0	-6,5	-4,0	-141,7		
3	70	65	36	0,0	1,5	-4,4	-14,4	-112,5	42	85	23	-0,1	0,1	-3,9	28,9	-75,0	56,0	385	0	0,0	0,1	-53,2	30,3	-301,8		
4	70	4	60	0,0	0,2	0,0	-2,9	-66,4	42	235	6	-1,4	0,0	-34,2	-1,0	-206,6	55,9	229	0	-0,2	0,1	-23,0	-28,9	-234,7		
5	70	53	68	0,0	0,2	-4,3	2,0	-114,4	42	121	0	-0,4	0,0	-12,1	-15,8	-124,7	56,0	98	0	0,0	0,1	-4,6	-10,4	-104,3		
6	71	289	28	0,0	0,1	-28,4	37,6	-250,1	42	50	12	-0,4	0,0	-1,9	2,4	-57,3	56,0	152	0	-30,3	0,4	-8,0	12,0	-102,3		
7	62	565	45	-2,6	0,1	-101,7	12,5	-444,8	49	1	41	0,0	0,0	0,0	-73,9	-115,9	42,0	72	0	0,0	0,3	-3,4	-14,3	-83,5		
	483	1520	302	-3,6	2,6	-190,4	74,9	-1506,0	301	658	122	-2,5	0,5	-67,3	-35,7	-746,5	378,1	1062	87	-30,6	1,0	-99,0	-15,2	-1035,2		

P: precipitação (mm). I: irrigação (mm). DP: drenagem profunda (mm). AC: ascensão capilar (mm) R: escoamento superficial (mm) ΔA: variação de armazenamento de água no solo (mm). ETr: evapotranspiração real (mm; mm dia⁻¹). Tratamentos: T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N).

Avaliando por período, é possível notar que a evapotranspiração real (ETr) sofreu influência da quantidade de água inserida. Entretanto, o tratamento com 450 kg ha⁻¹ de N na primeira época apresentou ETr abaixo dos demais, tendo diferença de 26,9 mm para as plantas do tratamento T1.

Tal diferença foi vista na segunda época envolvendo as plantas do T3, que obtiveram ETr muito abaixo (-686,5 mm) dos demais tratamentos (-747,3, 740,1 e 746,5 mm para T1, T3 e T4, respectivamente), na terceira época a diferença foi de 29 mm, envolvendo as plantas adubadas com 150 kg ha⁻¹ de N (1064,5 mm) e as adubadas com 450 kg ha⁻¹ de N (1035,2 mm). Nota-se que na segunda época, a água liberada para a atmosfera via evapotranspiração foi maior quando comparado as outras. De toda a água inserida no sistema, 93,59 % foi evapotranspirada, seguido de 91,18% na terceira e 83,47% na primeira.

3.5 Índices hídricos

Os índices hídricos para o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes doses de nitrogênio estão expostos na Tabela 3. Os resultados não foram significativos a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), entretanto, o modelo quadrático respondeu na maioria dos índices mais 90% da variabilidade dos dados.

A eficiência do uso da água com base na ETr (WUEc) e na quantidade de água inserida no sistema (Precipitação + irrigação) não indicou grandes diferenças entre os tratamentos, mas sim entre os ciclos, sendo o segundo ciclo de avaliação com os maiores valores, sendo dois (T1 e T4) dos quatro tratamentos com 0,96 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹. Já a *WUEc considera a biomassa das plantas, indicou que as plantas adubadas com a menor dosagem (50 kg ha⁻¹ de N) tiveram os menores valores, sendo a maior diferença vista no primeiro ciclo, quando o valor foi de 1,00 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, sendo 78% menor que o tratamento (T3) que teve a maior *WUEc, 1,78 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹.

As produtividades da água da cultura (WPC, *WPC), apresentaram diferentes tendências entre os tratamentos ao longo dos ciclos. Para a WPC, os maiores valores foram visualizados nos tratamentos com maiores dosagens (T3 e T4). No primeiro e segundo ciclo, 1,57 e 4,89 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹ para 300 kg ha⁻¹ de N e 3,29 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹ para 450 kg ha⁻¹ de N, nos dois últimos ciclos, respectivamente. A *WPC apresentou a mesma tendência vista na WPC, tanto nos tratamentos que apresentaram os maiores valores (T3 e T4) quanto no tratamento que teve os menores resultados (T1).

A produtividade da água de irrigação (WPI), além de ter indicado valores diferentes entre os tratamentos, mostrou um incremento elevado a partir do segundo ciclo. No primeiro ciclo o maior valor foi visto no tratamento T3 (7,92 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹), nos dois últimos ciclos o tratamento com a maior dose (T4), foi o responsável pelos maiores valores, 28,49 e 39,20 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, respectivamente, gerando um incremento de 83% no tratamento T4 entre o primeiro e último ciclo.

Tabela 3. Eficiência do uso da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água de irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água de irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPc) e produtividade econômica da água da irrigação (EWPI) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.

Ciclo 1									
Tratamento	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
T1	15196	3020	15329	4607,97	324,98	2715,35	9788,87	4282,99	1567,64
T2	15196	3020	15237	7150,19	324,98	2872,89	16986,56	6825,22	3952,33
T3	15196	3020	15239	9270,63	324,98	3109,21	12955,85	8945,66	5836,45
T4	15196	3020	15060	6731,29	324,98	3345,52	14395,39	6406,31	3060,79
Tratamento	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPc	EWPI
T1	0,84	1,00	0,82	0,69	4,17	1,42	0,52	0,54	3,24
T2	0,84	1,61	1,35	1,13	6,79	2,26	1,31	0,93	5,62
T3	0,84	1,78	1,57	1,31	7,92	2,96	1,93	0,71	4,29
T4	0,83	1,62	1,34	1,11	6,67	2,12	1,01	0,79	4,77
R ²	0,9562	0,9705	0,9937	0,9939	0,9958	0,9793	0,9766	0,3383	0,3439
p-valor	0,2318	0,1552	0,0673	0,0654	0,0540	0,1074	0,1065	0,6681	0,6649
Ciclo 2									
Tratamento	P	I	ETr	Receita	Custos varáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
T1	6583	1218	7473	10453,93	131,07	258,91	15259,12	10322,86	10063,96
T2	6583	1218	7401	11663,15	131,07	416,45	18138,20	11532,08	11115,63
T3	6583	1218	6865	12086,37	131,07	652,76	21305,18	11955,30	11302,54
T4	6583	1218	7465	12475,05	131,07	889,08	20441,46	12343,98	11454,90
Tratamento	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPc	EWPI
T1	0,96	4,37	3,88	3,72	23,81	8,48	8,26	1,96	12,53
T2	0,95	5,02	4,38	4,15	26,60	9,47	9,13	2,33	14,89
T3	0,88	5,62	4,89	4,31	27,59	9,82	9,28	2,73	17,49
T4	0,96	5,26	4,65	4,45	28,49	10,13	9,40	2,62	16,78
R ²	0,6579	0,9897	0,9875	0,9654	0,9627	0,9627	0,9247	0,9903	0,9894
p-valor	0,4075	0,0999	0,1201	0,3358	0,3438	0,3395	0,3452	0,1249	0,1310
Ciclo 3									

Continuação tabela 3

Tratamento	P	I	ETr	Receita	Custos variáveis	Custos fixos	Custos de oportunidade	Margem bruta	Margem líquida
T1	10620	870	10394	10024,95	93,62	258,91	15259,12	9931,33	9672,42
T2	10620	870	10645	10963,53	93,62	416,45	18138,20	10869,91	10453,46
T3	10620	870	10516	10888,68	93,62	652,76	21305,18	10795,05	10142,29
T4	10620	870	10352	12264,88	93,62	889,08	20441,46	12171,25	11282,17
Tratamento	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
T1	0,90	3,18	2,68	2,43	32,07	11,42	11,12	1,33	17,54
T2	0,93	3,25	2,87	2,65	35,06	12,49	12,02	1,58	20,85
T3	0,92	3,26	2,88	2,64	34,83	12,41	11,66	1,85	24,49
T4	0,90	3,73	3,29	2,97	39,20	13,99	12,97	1,78	23,50
R ²	0,8475	0,9434	0,9117	0,8766	0,8668	0,8680	0,7500	0,9907	0,9895
p-valor	0,2595	0,3242	0,5990	0,7928	0,8075	0,8017	0,8069	0,1235	0,1303

P: precipitação (m³). I: irrigação (m³). ETr: evapotranspiração real (m³). Receita (US\$). Custos variáveis (US\$). Custos fixos (US\$). Custos de oportunidade (US\$). Margem Bruta (US\$). Margem líquida (US\$). Valor do dólar americano: US\$ 5,21. WUEc (m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). *WUEc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). WPc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). *WPc (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). WPI (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). GEWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). NEWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). EWPC (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). EWPI (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹). Tratamentos: T1 (50 kg ha⁻¹ de N), T2 (150 kg ha⁻¹ de N), T3 (300 kg ha⁻¹ de N) e T4 (450 kg ha⁻¹ de N). Resultados ajustados ao modelo de regressão quadrática à 5% de probabilidade (p<0,05).

Para as produtividades econômica bruta (GEWPI) e líquida (NEWPI) da água de irrigação, os valores apresentaram o mesmo comportamento ascendente do primeiro ao último ciclo. Tais valores variaram conforme a produtividade obtida em cada tratamento e conforme a quantidade de água aplicada, seja por irrigação, precipitação ou de ambas as maneiras. Para tais índices, o maior valor foi visto no tratamento T3 no primeiro ciclo e T4 no segundo e terceiro ciclo. Com relação ao incremento envolvendo os maiores valores visto no último ciclo, o GEWPI teve 85% e NEWPI 92%.

A produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água da irrigação (EWPI) tiveram os maiores valores no tratamento T2 (primeiro ciclo) e T3 (segundo e terceiro ciclo). No EWPC, as plantas do tratamento (T3) que apresentaram os maiores valores no fim do estudo ocasionaram um incremento de 74% do primeiro para o segundo ciclo e redução de 48% do segundo para o terceiro ciclo. O EWPI apresentou tendência crescente do início ao fim do estudo, tendo incremento de 82% nos valores no terceiro ciclo para o tratamento T3, comparado com os valores encontrados no mesmo tratamento durante o primeiro ciclo.

3.6 Concentrações e coeficiente de utilização biológica dos macronutrientes

As concentrações de nitrogênio, fosforo, potássio, cálcio, magnésio e o coeficiente de utilização biológica desses nutrientes com base no rendimento de matéria seca da palma Orelha de Elefante Mexicana, submetida a diferentes doses de nitrogênio estão expostos na Tabela 4.

No primeiro ciclo, tanto para as concentrações quanto para o CUB apresentaram respostas positivas ao modelo quadrático. Para as concentrações, o nitrogênio, fósforo e potássio apresentaram significância a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) e o modelo quadrático respondeu 99% da variabilidade dos dados. O CUB se mostrou significativo apenas para o nitrogênio, entretanto, apenas o magnésio não apresentou R^2 acima de 90%.

Tabela 4. Concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg) e coeficiente de utilização biológica dos nutrientes do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro.

Tratamentos	Concentração dos nutrientes					CUB				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹					kg kg ⁻¹				
Ciclo 1										
T1	5,88	6,28	33,18	42,32	25,48	170,07	159,17	30,14	23,63	39,24
T2	5,60	4,94	28,12	34,25	19,09	178,57	202,26	35,56	29,20	52,38
T3	5,74	3,87	24,11	32,95	20,65	174,22	258,72	41,48	30,35	48,42
T4	6,72	4,30	24,98	33,95	22,75	148,81	232,35	40,04	29,46	43,95
R ²	0,998781	0,998631	0,999778	0,93387	0,76467	0,99998	0,96807	0,99071	0,94903	0,73536
p-valor	0,0328	0,0415	0,0190	0,2448	0,3315	0,0039	0,1936	0,1261	0,2141	0,3480
Ciclo 2										
T1	5,60	4,09	23,66	34,36	19,68	178,57	244,30	42,27	29,10	50,81
T2	5,46	4,57	18,19	39,83	24,39	183,15	218,97	54,96	25,11	40,99
T3	7,98	5,17	20,17	58,94	37,58	125,31	193,34	49,58	16,97	26,61
T4	7,14	4,15	22,77	33,19	23,61	140,06	241,24	43,92	30,13	42,36
R ²	0,677759	0,903969	0,763046	0,74198	0,78525	0,67776	0,90397	0,76305	0,74198	0,78525
p-valor	0,6777	0,2028	0,3242	0,3424	0,3336	0,7270	0,1688	0,3543	0,2750	0,2272
Ciclo 3										
T1	5,18	5,02	24,96	34,80	23,01	193,05	199,32	40,07	28,74	43,46
T2	5,32	5,65	28,59	30,49	17,65	187,97	176,91	34,97	32,79	56,65
T3	8,40	5,83	20,40	37,16	24,29	119,05	171,55	49,03	26,91	41,17
T4	-	4,81	14,65	28,67	19,53	-	234,20	76,83	39,26	57,64
R ²		0,996371	0,893283	0,30904	0,02014		0,98431	0,99524	0,61249	0,18866
p-valor	-	0,0391	0,4927	0,7114	0,9498	-	0,0931	0,1011	0,5792	0,8528

Concentração dos nutrientes (g kg⁻¹). CUB: Coeficiente de utilização biológica dos nutrientes (kg kg⁻¹). N: nitrogênio. P: fósforo. K: potássio. Ca: cálcio. Mg: magnésio. T1 (50 kg ha⁻¹). T2(150 kg ha⁻¹). T3(300 kg ha⁻¹). T4(450 kg ha⁻¹). Resultados ajustados ao modelo de regressão quadrática à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para o nitrogênio, as maiores concentrações foram visualizadas no T4 (plantas adubadas com a maior dose), todavia, tal comportamento não foi o mesmo para o CUB, onde o maior valor foi no T2, que teve o rendimento de 20,52 Mg ha⁻¹ de MS, valor próximo ao rendimento obtido pelo tratamento T4, indicando que as plantas adubadas com 150 kg ha⁻¹ de N apresentaram maior eficiência nutricional na produção de matéria seca. As concentrações de fósforo, potássio, cálcio e magnésio variaram conforme os tratamentos, onde as maiores concentrações foram encontradas no tratamento testemunha (6,28 g kg⁻¹ de P e 33,18 g kg⁻¹ de K, 42,32 g kg⁻¹ de Ca e 25,48 g kg⁻¹ de Mg). Assim como o N, os maiores valores de CUB não foram visualizados nos tratamentos com as maiores concentrações dos respectivos nutrientes. Com exceção do magnésio, que o CUB foi maior no tratamento T2 (52,38 kg kg⁻¹), os demais nutrientes (P, K e Ca) foram maiores nas plantas adubadas com 300 kg ha⁻¹ de N (T3) (258,72, 41,48 e 30,35 kg kg⁻¹, respectivamente).

No segundo ciclo, os resultados não foram significativos, embora o modelo quadrático tenha respondido mais de 90% da variabilidade dos dados de concentração e CUB para o fósforo, onde a maior concentração foi vista no T3 (5,17 g kg⁻¹ de P) e maior CUB no T1 (244,30 kg kg⁻¹). Para o nitrogênio, o CUB apresentou aumento para os tratamentos T1 e T2 e redução de para o T3 e T4, quando comparado ao ciclo anterior. O tratamento (T3) com maior concentração (7,98 g kg⁻¹ de N) propiciou o menor coeficiente de utilização biológica do nutriente (125,31 kg kg⁻¹), tal o resultado é 32% menor que o valor obtido no T2 (183,15 kg kg⁻¹).

Para as concentrações, o último ciclo apresentou resultados significantes ($p < 0,05$) apenas para o nutriente fósforo ($R^2 = 0,99$), entretanto, o CUB do P não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. Assim como nos ciclos anteriores, as concentrações variaram conforme o tratamento. No geral, para o nitrogênio, o CUB apresentou os maiores valores nos tratamentos que receberam as menores doses de N, indicando baixa eficiência ao passo que a dose era elevada. Em média, a ordem de extração de nutriente pela OEM foi Ca>K>Mg>N>P para T1 e T2 e Ca>Mg>K>N>P para T3 e T4.

3.7 Eficiência no uso dos macronutrientes

A eficiência no uso dos macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio) do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana submetida a

diferentes doses de nitrogênio pode ser visualizado na Tabela 5. A EUN-N não se mostrou significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), entretanto, o modelo quadrático respondeu 99% da variabilidade dos dados para EUN-N para o primeiro ciclo.

O nitrogênio variou conforme o tratamento, sendo mais eficiente nas maiores doses aplicadas para todos os ciclos. No primeiro ciclo, os demais nutrientes também apresentaram variação entre os tratamentos. Todavia, apenas a EUN-Ca se mostrou significativo a 5% de probabilidade ($p < 0,05$), onde os maiores valores ($461,19$ e $517,39$ g Ca $ha^{-1} mm^{-1}$) foram vistos nas doses com 150 e 300 kg ha^{-1} de N, respectivamente. Tal comportamento foi visto na EUN-P, EUN-K, onde os tratamentos T2 e T3 obtiveram os maiores valores, sendo respectivamente iguais a $66,58$ e $60,70$ g P $ha^{-1} mm^{-1}$, $378,68$ e $378,53$ g K $ha^{-1} mm^{-1}$. Os maiores valores de eficiência foram visualizados no segundo ciclo, entretanto, tais resultados não foram significativos. Nota-se que, para todos os nutrientes existe um aumento do primeiro para o segundo ciclo e, em seguida, redução do segundo para o terceiro ciclo.

Tabela 5. Eficiência do uso de macronutrientes (EUN, g mm^{-1}) com base na evapotranspiração (ETr) da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes doses de nitrogênio, em três ciclos de cultivos no Semiárido brasileiro

Tratamentos		EUN-N	EUN-P	EUN-K	EUN-Ca	EUN-Mg
		g $ha^{-1} mm^{-1}$				
Ciclo 1	T1	48,29	51,60	272,53	347,54	209,30
	T2	75,42	66,58	378,68	461,19	257,12
	T3	90,14	60,70	378,53	517,39	324,33
	T4	89,82	57,53	333,83	453,75	304,12
	R ²	0,9926	0,6224	0,9067	0,9993	0,9721
	p-valor	0,1150	0,4275	0,2155	0,0207	0,2113
Ciclo 2	T1	217,32	158,85	918,02	1333,50	763,79
	T2	239,03	199,93	796,52	1743,76	1067,92
	T3	390,57	253,15	987,25	2884,75	1839,21
	T4	331,89	192,69	1058,32	1542,65	1097,29
	R ²	0,7920	0,9228	0,7170	0,7791	0,8127
	p-valor	0,5237	0,2029	0,6184	0,3267	0,3250
Ciclo 3	T1	139,04	134,67	669,96	934,00	617,59
	T2	152,43	161,96	819,22	873,71	505,76
	T3	242,03	167,96	587,70	1070,76	699,87
	T4	0,00	158,29	482,50	944,34	643,20
	R ²	-	0,9645	0,7547	0,2870	0,2274
	p-valor	-	0,1534	0,5781	0,7252	0,9788

EUN-N: nitrogênio. EUN-P: fósforo. EUN-K: potássio. EUN-Ca: cálcio. EUN-Mg: magnésio. T1 (50 kg ha^{-1}). T2(150 kg ha^{-1}). T3(300 kg ha^{-1}). T4(450 kg ha^{-1}). Resultados ajustados ao modelo de regressão quadrática à 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

4. DISCUSSÃO

4.1 Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte de palma forrageira

Os índices morfofisiológicos obtidos detalham o desenvolvimento e o desempenho das plantas em diversas condições ambientais, e em distintos sistemas de cultivo. A área do cladódio específica (ACE) indicou o balanço da distribuição de matéria seca na área superficial fotossinteticamente ativa das folhas (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). Partindo do princípio que a menor dose, no geral, propiciou os menores valores de comprimento, largura, perímetro e espessura do cladódio, isso pode ter causado os altos valores de ACE, uma vez que esse índice, explana uma relação entre a produção de matéria seca e o IAC e, na maioria das vezes, apresenta resultado inversamente proporcional a espessura do cladódio (QUEIROZ et al., 2015). Esses baixos valores da superfície do cladódio associadas com uma produtividade moderadamente elevada pode ter causado os altos valores de ACE.

A taxa de assimilação líquida (TAL), que relaciona a produção de matéria seca com a produção de fotoassimilados (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c), indicou o tratamento T2 como superior em todos os ciclos, as plantas apresentaram média de 20 cladódios por planta por ciclo, provavelmente influenciada pelo aporte de nitrogênio, responsável por estimular a divisão celular e gerar novas brotações de cladódios (DANTAS NETO et al., 2020). Vale salientar que o aumento na disponibilidade de nitrogênio provoca efeitos positivos sobre a taxa de assimilação de carbono, importante nos principais componentes do sistema fotossintético, tais como clorofilas, e melhoria na atividade da ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxigenase (RubisCO) e na fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPcase) (CRUZ et al., 2007; TAIZ et al., 2017). Geralmente, esse índice apresenta altas concentrações no período inicial dos ciclos, motivada pela necessidade da planta em promover alta interceptação de luminosidade e, para isso, tem alta produção de cladódios nesse período (CÂMARA et al., 2017). Nota-se que não há padrão de comportamento ligado ao aumento das doses. Entretanto, é característica intrínseca dos clones do gênero *Opuntia* apresentar alta TAL no início do ciclo, devido a maior área foliar, assim como redução até o final, motivada pelo autosombreamento através do surgimento de novos cladódios (QUEIROZ et al., 2015).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) visa indicar a velocidade de acúmulo de matéria seca por unidade de área. Nesse caso, os tratamentos impuseram baixa influência

no comportamento da curva, sendo mais associada ao tipo de clone. A OEM possui maior acúmulo de matéria seca, devido a extensa área do cladódio, característica das plantas do gênero *Opuntia*, que proporciona maior capacidade na interceptação luminosa, aumentando a eficiência no uso de recursos naturais (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; SILVA et al., 2015b).

A taxa de crescimento relativo (TCR) apresentou altos valores no início do ciclo, isso é motivado pelo desenvolvimento celular, produção de novos tecidos e aumento da área foliar. O declínio da curva visualizado é causado pela distribuição de fotoassimilados para os órgãos já existentes da planta (i.e., redução da produção de novos cladódios) e diminuição da área fotossinteticamente ativa (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c; POMMERENING; MUSZTA, 2016; QUEIROZ et al., 2015). A adubação mínima de nitrogênio (T1) apresentou, visualmente, a maior TCR em comparação com os demais tratamentos. A ausência ou aplicação excessiva de nitrogênio pode acarretar reduções na TCR, assim como na TAL, durante crescimento inicial das plantas (DOMINGOS et al., 2015).

O comportamento fenológico da palma OEM (Figuras 8, 9 e 10) evidenciaram a característica comumente encontrada nas plantas do mesmo gênero. A fenofase 2 (F2) foi o pico máximo para os tratamentos ao longo dos ciclos, com exceção das plantas do tratamento T4 no primeiro ciclo. O fato indica baixa emissão de cladódios de ordem superior e concentração no fornecimento de fotoassimilados nos cladódios inferiores, a fim de aumentar a área fotossinteticamente ativa dos cladódios (AMORIM et al., 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021c). As maiores taxas de emissão de cladódio foram vistas no tratamento T2 (150 kg ha⁻¹ de N). Devido o nitrogênio ser influente no desenvolvimento celular e, conseqüentemente, na produção de novas brotações (DANTAS NETO et al., 2020) associados a características do gênero, pode-se dizer que, a dose do T2 potencializou a brotação de novos cladódios de segunda ordem. Uma vez que tal dose está próximo da recomendação de adubação mineral com nitrogênio a partir do segundo ciclo de cultivo (CAVALCANTI et al., 2008).

As diferentes doses na adubação nitrogenada não tiveram influência na determinação do momento ideal de corte da palma OEM. Nota-se que tal variável sofreu mais influência da característica que o clone tem em acumular matéria seca. Por mais que no rendimento final tenha havido diferença, tal relação não deve ser considerada, uma vez que, o momento de corte é estimado através do ponto máximo de acúmulo. O alto acúmulo de matéria seca encontrado no clone OEM é derivado dos altos índices de

eficiência do uso da água, dos altos valores da área do cladódio, que favorecem maior acúmulo de água e eleva o acúmulo de massa verde e seca (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; SILVA et al., 2014a).

4.2 Crescimento e rendimentos de produtividade em massa fresca e seca

O aumento produtivo da palma está diretamente ligado ao crescimento e desenvolvimento morfológico (AMORIM et al., 2017). As maiores doses de nitrogênio, em geral, influenciaram no maior número total de cladódio, nas maiores alturas e larguras das plantas e nas maiores dimensões dos cladódios. Isso pode ser respondido através de uma função atribuída pelo nitrogênio, responsável por estimular a divisão celular e promover o desenvolvimento da planta. Indicando que quanto maior a oferta de N maior será o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira (BARROS et al., 2016; DONATO et al., 2014; NETO et al., 2020; SILVA et al., 2016). É possível notar redução nos valores médios das variáveis de comprimento, largura, espessura e perímetro do cladódio ao passo que a dose de N é elevada no último ciclo. Tal relação pode ser relacionada a dose excessiva somada com resíduos do nutriente no solo do ciclo anterior. O excesso, assim como a deficiência pode causar danos ao desenvolvimento das plantas e distúrbios biológicos nas plantas, provocando reduções na produtividade final (SABZI et al., 2021).

Os rendimentos de matéria fresca e seca da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, assim como os dados de crescimento e desenvolvimento, tanto da planta quanto do cladódio, no geral, aumentaram conforme o aumento da dosagem de nitrogênio aplicada. Os rendimentos dessa cultura variam conforme as condições em que está inserida (CUNHA et al., 2012). Dentre os mais variados fatores, um dos mais importantes é a condição nutricional do solo. Uma vez que, a maioria dos solos presentes no Semiárido apresentam baixo teor de matéria orgânica e, conseqüentemente, baixa disponibilização de nitrogênio (NETO et al., 2020). Com isso, fontes externas de nitrogênio tornam-se essenciais no aumento da produção de biomassa da palma forrageira (CUNHA et al., 2012).

4.3 Balanço hídrico do solo

O fluxo vertical do solo representado pela drenagem profunda (DP) e ascensão capilar (AC), não apresentou valores relevantes que pudessem ser analisados. Tais componentes estão vinculados as propriedades físicas (e.g., textura, estrutura, compactação), capacidade de retenção de água do solo, regime hídrico na área cultivada e as propriedades hidráulicas e a dinâmica da água no solo (ALVES et al., 2022; GHIRBERTO et al., 2015; LIBARDI, 2005). A DP representa a perda de água para fora da zona radicular através do limite inferior do volume de solo considerado. Seu acontecimento pode ser relacionado a criação de galerias no solo proveniente do sistema radicular das plantas. Entretanto, é possível que ao invés de sair, a água volte a entrar através desse limite, saindo das camadas mais profundas até as superficiais, formando assim a ascensão capilar (AC) (LIBARDI, 2010).

O escoamento superficial (R) sofreu mais influência dos períodos com maior incremento de água, via precipitação e irrigação, do que com os tratamentos aplicados. Isso se dá após eventos de chuvas, entretanto, outras características devem ser consideradas, como a textura do solo e os resíduos agrícolas presentes em áreas cultivadas (TARGA; POHL; ALMEIDA, 2019).

A variação de armazenagem da água no solo é influenciada pela atividade dos sistemas radiculares das plantas cultivadas e da cobertura vegetal encontrada na superfície do solo (ALVES et al., 2020). Vale ressaltar que a adição de N pode influenciar, de maneira significativa, o desenvolvimento radicular de plantas com metabolismo CAM, variando segundo o tipo de manejo utilizado (SILVA et al., 2021). Quando a ΔA é estudada em ambiente de clima semiárido é necessário correlacioná-la com a quantidade de água perdida para a atmosfera. Pois, os períodos de estiagem presentes nessas regiões reduzem a disponibilidade hídrica no solo (MORAIS et al., 2017). A alta extração de água vista em alguns períodos estudados, pode estar relacionado ao sistema radicular da palma forrageira, que após grandes períodos de estiagem, possui alta capacidade de absorver a água disponibilizadas na superfície do solo (SNYMAN, 2006).

A disponibilidade de água e nitrogênio no solo aumenta a eficiência dos mecanismos de absorção de água e outros nutrientes. Isso pode ter proporcionado alterações na dinâmica de crescimento radicular, estimulando as raízes laterais ao crescimento, com o intuito de cobrir uma maior área de superfície de solo. Essa estratégia é uma adaptação importante da cultura para atingir maior produtividade em regiões de clima árido e semiárido (EDVAN et al., 2013; MORGAN; CONNOLLY, 2013; XIA et al., 2018).

Em relação à evapotranspiração, os resultados expuseram a influência do incremento de água no componente hídrico referido. Tal relação é comumente descrita em estudos relacionados ao balanço de água no solo, onde os maiores valores de ET sempre ocorrem após eventos de precipitação (MACHADO et al., 2015). Targa, Pohl, Almeida (2019) descreveram que o maior volume da evapotranspiração ocorreu nos dias após em que houve os maiores volumes de precipitação.

4.4 Índices hídricos

A eficiência do uso da água que tem como conceito principal relacionar, por meio de uma razão adimensional, o volume de água utilizada com o volume de água inserida no sistema (FERNÁNDEZ et al., 2020). Já a produtividade da água, o conceito muda para o produto alcançado (e.g., rendimento final da cultura em massa fresca e seca ou o número total de cladódios) em relação o insumo empregado, que nesse caso pode variar para irrigação, precipitação, ou a evapotranspiração (HEYDARI, 2014). Relacionando aos conceitos agroeconômicos, a contabilização dos custos monetários irá variar segundo a quantidade investida e a arrecadação, bruta ou líquida gerada pela cultura ao fim dos ciclos de cultivo (FERNÁNDEZ et al., 2020).

Como visto, os resultados indicaram aumento na eficiência a partir do segundo ciclo, isso ocorreu devido à diminuição da quantidade de água inserida e do aumento da produtividade. Nota-se que, os valores apresentaram diferenças motivadas pela produtividade encontrada em cada tratamento (Figura 4). Para os índices que envolve a irrigação, o crescimento a partir do segundo ciclo é reflexo da diminuição da lâmina de irrigação aplicada, que no primeiro ciclo foi de 302 mm, e nos dois últimos foram de 122 e 87 mm, respectivamente. O mesmo comportamento é visualizado nos índices que retratam o ganho econômico, onde é possível identificar aumento a partir do segundo ciclo, motivada pela diminuição dos custos variáveis.

A palma forrageira possui várias características que lhe competem a habilidade de se adaptar a condições com baixa disponibilidade hídrica e continuar mantendo alta produtividade (FREIRE et al., 2018). A alta eficiência da irrigação pode estar relacionada as condições ambientais que a palma foi cultivada e o aumento na suplementação de nitrogênio em cultivos com restrições hídricas (LI e LING, 2019). Regiões que possuem precipitação anual entre 400 e 800 mm favorecem o cultivo da palma, reduzindo a necessidade do uso da irrigação (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a) e, por consequência,

aumentando os ganhos econômicos relacionado a produtividade, e o uso do nitrogênio também pode propiciar

4.5 Concentrações dos nutrientes, coeficiente de utilização biológicas dos nutrientes e eficiência no uso dos nutrientes

As concentrações de N variaram conforme a dose aplicada, sendo as maiores doses responsáveis pelas maiores concentrações. A extração de nutrientes por parte da palma forrageira varia conforme o clone, condições ambientais e eficiência no manejo de incorporação dos nutrientes (MOREIRA et al., 2020). Nesse caso, a incorporação de N no solo foi o fator mais importante no aumento das concentrações de N nos cladódios e na eficiência do uso de tal nutriente. Isso ocorre, em detrimento da sensibilidade que as concentrações das proteínas e minerais tem a modificação no fornecimento de nutrientes para as plantas (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021).

Os resultados obtidos nesse estudo condizem com os valores clássicos de concentração de N, P, K, Ca e Mg. Nas plantas do gênero *Opuntia*, a faixa de suficiência para esses nutrientes são entre 6,7 e 20,6 g kg⁻¹ para N, 0,8 e 4,7 para P, 23,0 e 33,4 para K, 14,9 e 42,0 para Ca e 5,9 e 14,0 para Mg (FERRAZ et al., 2020). Outro fator importante na composição química dos cladódios é a densidade populacional da área, Dubeux Júnior et al. (2006) retrataram que as concentrações de N nos cladódios das plantas do gênero *Opuntia* foram maiores na densidade com 5.000 plantas ha⁻¹ (11,2 g kg⁻¹) quando comparado a densidade com 40.000 plantas ha⁻¹ (9,0 g kg⁻¹). Isso ocorre devido o maior número de cladódios jovens presentes em populações menos densas e pela competição por luz, água e nutrientes que ocorre entre as plantas nas áreas mais densas (DUBEUX JÚNIOR et al., 2021).

O coeficiente de utilização biológica (CUB) foi utilizado a fim de determinar a eficiência nutricional da palma forrageira OEM. O CUB pode ter o resultado influenciado pelo manejo aplicado na área cultivada e por fatores biológicos e edafoclimáticos que podem complexar a determinação da compreensão que esclarece efetivamente seus valores em condições diferentes (SILVA et al., 2009).

Em geral, os maiores coeficientes de utilização biológica dos nutrientes foram visualizados nas menores doses de N aplicada. Tal comportamento foi visualizado por Léo et al. (2020), que reportaram maiores valores de CUB nos tratamentos com ausência de adubação e que apresentaram os maiores valores de conteúdo de matéria seca.

Avaliando a eficiência no uso dos nutrientes pela palma OEM, é possível determinar o quanto de nutriente foi retirado da solução solo com base no volume de água utilizado pela cultura, através do processo de evapotranspiração (SILVA et al., 2014b). Os resultados vistos nesse estudo indicaram que o aumento na EUN ocorreu quando o fornecimento de água foi menor entre os ciclos. Isso pode ser explicado através do potencial produtivo da palma forrageira e sua eficiência no uso da água para a produção de matéria seca. Tal comportamento pode estar relacionado a quantidade de água inserida no sistema, uma vez que, os dados de evapotranspiração sofreram influência direta do incremento de água via precipitação e irrigação.

5. CONCLUSÕES

Uma aplicação apropriada de N em palma Orelha de Elefante Mexicana pode aumentar a matéria fresca e seca ao longo dos ciclos. A produção total de cladódios está mais associada ao clone do que a uma dosagem exata de nitrogênio, todavia, as variáveis biométricas dos cladódios (altura e largura das plantas) foram maiores com a aplicação de 300 kg ha⁻¹ de N. O balanço da distribuição de matéria seca na área superficial fotossinteticamente ativa dos cladódios respondeu melhor a mínima presença de N, e a aplicação moderada de nitrogênio (150 kg ha⁻¹) aumentou a capacidade que a planta tem em transformar fotoassimilados em matéria seca. Contudo, a capacidade em acumular matéria seca em relação à biomassa pré-existente e por unidade de área, assim como o momento de corte, está mais condicionada as características produtivas da OEM do que o fornecimento de N em diferentes doses. A taxa de emissão de cladódios foi maximizada nas plantas que receberam a dose de 150 kg ha⁻¹ de N. O consumo hídrico e a eficiência na utilização da água para a produção de matéria seca têm relação mais estreita com o fornecimento de água por período de cultivo. Para o CUB do nitrogênio, as altas dosagens de N que proporcionaram os maiores rendimentos de matéria fresca e seca, foram menos eficientes que as menores dosagens aplicadas. Com base na evapotranspiração, a EUN-N aumentou conforme o aumento das doses e para os demais nutrientes as maiores eficiências ocorreram nos períodos de cultivos com a menor quantidade de água inserida no sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, C. P. et al. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 347–356, 2020.
- ALVES, H. K. M. N. et al. The use of mulch in cultivating the forage cactus optimizes yield in less time and increases the water use efficiency of the crop. **Irrigation and Drainage**, n. September, p. 1–15, 2022.
- ALVES, J. P. et al. Yield, chemical composition, and efficiency of utilization of applied nitrogen from BRS Kurumi pastures. **Ciência Rural**, v. 53, n. 1, p. 1–9, 2023.
- AMANI-MALE, O.; FEIZABADI, Y.; NOROUZI, G. A model-based evaluation of farmers' income variability under climate change (case study: autumn crops in Iran). **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. 1–12, 2022.
- AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. et al. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, p. 1–12, 2021a.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N. A. et al. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. **XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro**, n. Juazeiro-BA/Petrolina-PE, p. SBAGRO, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. et al. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, n. August, p. 12, 2021b.
- ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. et al. Phenophases , morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. **Journal of Arid Environments journal**, v. 190, n. May 2020, p. 145510, 2021c.
- BARROS, J. L. et al. Palma Forrageira 'Gigante' Cultivada com Adubação Orgânica. **Revista Agrotecnologia - Agrotec**, v. 7, n. 1, p. 53–65, 2016.
- CÂMARA, F. A. A. et al. Crescimento de cultivares de Ipomoea batatas oriundas de rebentos produzidas de forma convencional e in vitro produced sprouts. **Revista de Ciencias Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 363–372, 2017.
- CAMARGO, F. C. et al. Morphogenetic and structural traits of Ipyporã grass subjected

to nitrogen fertilization rates under intermittent grazing. **Ciência Rural**, v. 52, n. 5, p. 1–9, 2022.

CAO, D. et al. Spatiotemporal variations of global terrestrial vegetation climate potential productivity under climate change. **Science of the Total Environment**, v. 770, p. 145320, 2021.

CIRINO JUNIOR, B. et al. Initial growth of forage cactus clones at different potassium fertilization levels. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 23, n. e-70836E, 2022.

CRUZ, J. L. et al. Níveis de nitrogênio e a taxa fotossintética do mamoeiro “golden”. **Ciencia Rural**, v. 37, n. 1, p. 64–71, 2007.

CUNHA, D. DE N. F. V. da et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1156–1165, 2012.

DANTAS NETO, J. et al. Growth and yield of cactus pear under irrigation frequencies and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 10, p. 664–671, 2020.

DOMINGOS, V. D. et al. Initial growth of *Brachiaria subquadripata* (Trin.) Hitchc. Plants under different nutritional conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 560–566, 2015.

DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileirade Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 1, p. 151–158, 2014.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357–372, 2006.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, n. December 2020, 2021.

EDVAN, R. L. et al. Biomass accumulation and root growth of cactus pear in different harvest periods. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 11, n. 4, p. 373, 2013.

EMBRAPA. Métodos de análises de tecidos vegetais Utilizados na Embrapa Solos. **Embrapa solos**, p. 41, 2000.

FERNÁNDEZ, J. E. et al. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management**, v. 237, n. February, p. 106074, 2020.

FERRAZ, R. L. de S. et al. Variations in soil water replacement levels promote changes in forage cactus mineral composition and biomass productivity ARTICLES. **Revista Ambiente e Agua**, v. 15, n. 5, p. e2537, 2020.

FREIRE, J. D. L. et al. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequency. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 90, n. 4, p.

3893–3900, 2018.

GHIBERTO, P. J. et al. Soil physical quality of mollisols quantified by a global index. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 2, p. 167–174, 2015.

HEYDARI, N. Water productivity in agriculture: Challenges in concepts, terms and values. **Irrigation and Drainage**, v. 63, n. 1, p. 22–28, 2014.

JARDIM, A. M. da R. F. et al. 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**, v. 162, n. November 2020, p. 421–430, 2021a.

JARDIM, A. M. da R. F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, n. February 2020, p. 104464, 2021b.

LÉDO, A. A. et al. Nutrient concentration and nutritional efficiency in ‘Gigante’ cactus pear submitted to different spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 154–161, 2020.

LI, Jie; LING, Zhen. Effects of different amounts of nitrogen and irrigation on growth, evapotranspiration, and water and nitrogen use efficiency of *Jatropha Curcas* L. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Editora IOP, 2019. p. 022027.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da Água no Solo** Vol. 61. Edusp, 2005.

LIBARDI, Paulo Leonel. Água no solo. **Física do solo**. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 103-52, 2010.

LOPES, M. N. et al. Biomass flow and water efficiency of cactus pear under different managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 2, p. 324–333, 2018.

MACHADO, C. et al. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 731–740, 2015.

MORAIS, J. E. F. et al. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273–278, 2017.

MOREIRA, J. M. et al. Nutrients demand of cactus forage. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 811–820, 2020.

MORGAN, J. B.; CONNOLLY, E. L. Interações planta-solo : absorção de nutrientes. **Nature Education Knowledge**, v. 4, n. 8, p. 1–6, 2013.

NUNES, J. D. S. L. et al. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, p. 367–375, 2020.

POMMERENING, A.; MUSZTA, A. Relative plant growth revisited: Towards a

mathematical standardisation of separate approaches. **Ecological Modelling journal**, v. 320, p. 383–392, 2016.

QUEIROZ, M. G. de et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.

QUEIROZ, M. G. de et al. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 141–154, 18 jun. 2016.

R CORE TEAM. **R: A language and environmet for statistical computing**. R Foundation for statistical computing. Vienna, Austria, 2019. URL. R (<https://www.r-project.org/>).

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Soil Science*: August 1954 - Volume 78 - Issue 2 - p 154

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 363–371, 2017.

SABZI, S. et al. Early detection of excess nitrogen consumption in cucumber plants using hyperspectral imaging based on hybrid neural networks and the imperialist competitive algorithm. **Agronomy**, v. 11, n. 3, 2021.

SILVA, A. P. da et al. Sistema de recomendação de fertilizantes e corretivos para a cultura do abacaxi.. **Revista bBrasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1269–1280, 2009.

SILVA, P. F. da et al. Morphology and biomass yield of forage cactus under mineral fertilization in organic soil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 37, p. 3497–3505, 2016.

SILVA, T. G. F. da et al. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 515–525, 2015a.

SILVA, T. G. F. da et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10–18, 2015b.

SILVA, F. O. D. R. et al. Root development and productivity of ‘pérola’ pineapple as a function of fertigation management. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 2, p. 1–9, 2021.

SILVA, T. G. F. da et al. Area do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014a.

SILVA, T. G. F. da et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, p. 108, 2014b.

SILVA, T. G. F. da et al. Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 132–139, 2023.

SOUZA, M. D. S. et al. Growth , phenology and harvesting time of cactus- millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 1–15, 2021.

SOUZA, T. C. et al. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 12, n. 4, p. 555–560, 2017.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TARGA, M. dos S.; POHL, E.; ALMEIDA, A. A. da S. Water balance in soil covered by regenerating rainforest in the Paraíba Valley region, São Paulo, Brazil. **Revista Ambiente e Agua**, v. 14, n. 6, p. e2482, 2019.

XIA, C. et al. Effect of *Epichloë gansuensis* endophyte and transgenerational effects on the water use efficiency, nutrient and biomass accumulation of *Achnatherum inebrians* under soil water deficit. **Plant Soil**, v. 424, n. 1–2, p. 555–571, 2018.