

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GABRIEL ITALO NOVAES DA SILVA

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS DE
CULTIVOS DE PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES INTERVENÇÕES DE
MANEJOS AGRONÔMICOS

RECIFE – PE

2023

GABRIEL ITALO NOVAES DA SILVA

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS DE
CULTIVOS DE PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES INTERVENÇÕES DE
MANEJOS AGRONÔMICOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: DSc. Thieres George Freire da Silva

Co-orientador: DSc. Abelardo Antônio de Assunção

Montenegro

Co-orientadora: DSc. Ana Virgínia Marinho

RECIFE – PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S586c Silva, Gabriel Italo Novaes da Silva
CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS DE CULTIVOS DE
PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES INTERVENÇÕES DE MANEJOS AGRONÔMICOS / Gabriel Italo Novaes
da Silva Silva. - 2023.
110 f. : il.
- Orientador: Thieres George Freire da Silva.
Coorientador: Abelardo Antonio de Assuncao Montenegro e Ana Virginia Marinho.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, Recife, 2023.
1. Orelha de Elefante Mexicana (OEM). 2. Índices morfofisiológicos. 3. Indicadores hídrico-econômicos . 4.
Rendimento de forragem. 5. Umidade do solo. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Marinho, Abelardo Antonio
de Assuncao Montenegro e Ana Virginia, coorient. III. Título

GABRIEL ITALO NOVAES DA SILVA

CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E INDICADORES AGROMETEOROLÓGICOS DE CULTIVOS DE PALMA FORRAGEIRA SOB DIFERENTES INTERVENÇÕES DE MANEJOS AGRONÔMICOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola

APROVADO em 24 de fevereiro de 2023

Banca Examinadora

DSc. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE

Orientador

DCs. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – UFRPE

Examinador Interno

DCs. Antônio José Steidle Neto – UFSJ

Examinador Externo

DCs. Magna Soelma Beserra de Moura – EMBRAPA

Examinadora Externa

Aos meus pais, Acieldo (*in memoriam*) e Geonice

A minha esposa Mara.

Amo Vocês!

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus, pela sua graça e misericórdia infinita e por ter me ajudado em todos os momentos, durante o mestrado. Louvado seja Deus!

Ao meu pai, Acieldo (*in memoriam*), mesmo que não esteja mais presente fisicamente entre nós e não pode celebrar essa conquista, mas celebremos quando soubermos da aprovação para ingressar, te amo eternamente paiinho, saudades. A minha mãe, Geonice, obrigado por todo apoio durante a realização desse sonho. Agradeço imensamente pelos ensinamentos, cuidado e amor.

A minha esposa Mara, o melhor presente que Deus me concedeu, obrigado pela preocupação, carinho, por me incentivar em todo o momento. Te amo!

Aos meus tios e primos, por torcer pelo meu sucesso. Amo todos vocês!

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, obrigado por ser a minha casa durante essa pós-graduação.

Ao meu orientador professor Dr. Thieres George, por todo incentivo, palavras de motivação. Obrigado por toda oportunidade a qual o senhor me concedeu. O senhor é uma grande inspiração, no qual levarei para a minha vida e tenho como aprendizado nunca desistir dos meus sonhos.

Ao MAI-DAI Reúso (processo CNPq 403622/2020-4), na pessoa do Professor Abelardo Antônio Assunção Montenegro, pela oportunidade de desenvolver uma pesquisa de qualidade.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco - FACEPE (APQ-1159-1.07/14, APQ-0300-5.03/17, APQ0414-5.03/20, 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, à própria FACEPE pela concessão da bolsa de estudo (BCT-0221-5.03/21).

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por toda dedicação e apoio ao longo da implantação e condução do experimento, meus sinceros agradecimentos.

Ao Laboratório de Água e Solo (LAS), pela dedicação e apoio durante a implantação e coleta de dados, em especial Gisele Almeida, meu muito obrigado.

Aos colaboradores, Lázaro e seu Cícero, saibam que essa pesquisa não seria possível de ser realizada, sem os seus esforços e dedicação. Meus sinceros agradecimentos.

Aos meus colegas do mestrado, obrigado por tudo durante as disciplinas. Em especial, gostaria de agradecer ao meu trio, Ana Claudia e Cléber (Clebinho), obrigado por tudo durante

as disciplinas, muitas preocupações e incertezas em “algumas disciplinas”, mas que se tornaram leves, graças a vocês. Muito obrigado a todos, e desejo sucesso a cada um.

Aos meus amigos e irmãos em Cristo Ewerton, Lucas Mourato, Samuel, Jezreel, Emerson, e minha família do Caxixola, obrigado por cada oração em meu favor, que o Senhor os recompense com bênçãos do céu.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

GABRIEL ITALO NOVAES DA SILVA, filho de Aciello José da Silva e Geonice Josefina Novaes da Silva, nasceu no dia 21 de agosto de 1996, na cidade de Floresta Pernambuco, Brasil. Concluiu o ensino médio e o curso técnico em agropecuária no Instituto Federal do Sertão Pernambucano Campus Floresta no ano de 2014. Em 2016, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST). Durante o período da graduação foi integrante do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido – GAS, coordenado pelo professor Dr. Thieres George Freire da Silva. Foi bolsista de iniciação científica (PIBIC) durante três anos e meio, recebendo auxílio da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE). Em março de 2021 iniciou o mestrado no curso de Pós-Graduação, em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, em Recife, Pernambuco, Brasil. Submetendo a defesa da dissertação em fevereiro de 2023.

“O Senhor é o meu rochedo, e o meu lugar forte, e o meu libertador; o meu Deus, a minha fortaleza, em quem confio; o meu escudo, a força da minha salvação, e o meu alto refúgio”.

(Salmos 18.2)

Silva, Gabriel Italo Novaes da. Crescimento, produtividade e indicadores agrometeorológicos de cultivos de palma forrageira sob diferentes intervenções de manejos agronômicos. 2023. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

RESUMO GERAL

Por causa das condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro e as mudanças climáticas, as atividades pecuárias normalmente enfrentam dificuldades para a produção de forragens. A utilização de diferentes estratégias de manejos agronômicos pode intensificar a produção de alimentos para os rebanhos. Dentre elas, destaca-se a utilização de plantas adaptadas (e.g., palma forrageira), além da diversificação de manejos com o uso de irrigação com água de baixa qualidade, diferentes densidades e orientação de cultivo, e frequências de corte. Pesquisas voltadas para essa temática ainda são incipientes na literatura para a cultura da palma forrageira. Diante disso, objetivou-se avaliar as características morfofisiológicas, agronômicas, balanço de água no solo (BAS) e indicadores de eficiência hídrico-econômicos sob diferentes manejos agronômicos. Quatro experimentos foram conduzidos no município de Serra Talhada – PE, no período de 2020 a 2022, sendo o experimento I – densidade de cultivo com modificação de espaçamento entre plantas (0,10, 0,20, 0,30 0,40 e 0,50 m), fileiras espaçadas em 1,0 m e orientação de plantio Leste-Oeste; experimento II – com o mesmo arranjos de espaçamentos , porém com fileiras na orientação de plantio, sendo Norte-Sul; experimento III –espaçamentos entre fileiras variando entre 1,00, 1,25, 1,50 e 1,75 m e espaçamento entre plantas de 0,20 m; e, experimento IV em arranjo fatorial 4x3 (quatro frequências de corte (6, 9, 12+6 e 18 meses) e três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana - OEM, Miúda – MIU e IPA Sertânia – IPA). Todos experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados (DBC) e quatro repetições. Na ocasião da colheita foram obtidos e dados biométricos para a determinação de índices morfofisiológicos (taxa de crescimento absoluto e relativo - TCA e TCR; taxa de assimilação líquida - TAL; e, área do cladódio específica - ACE), delimitação das fenofases e do momento de corte e, a produtividade de matéria fresca (MF) e de matéria seca (MS). Por meio de leituras de umidade e das propriedades físico-hídricas do solo foi realizado o BAS e calculados os índices hídricos-econômicos da cultura. A orientação de cultivo Leste-Oeste proporcionou um maior rendimento de MS, já as maiores densidades de cultivo 100.000 plantas ha⁻¹ (espaçamentos entre plantas) e 50.000 plantas ha⁻¹ (espaçamento

entre fileiras) apresentaram maior rendimento de forragem. As diferentes frequências de corte mostraram que independente da frequência, o maior rendimento de forragem ocorreu para o clone OEM. De modo geral, os índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, BAS e os indicadores hídrico-econômicos foram influenciados pelos diferentes manejos agrônômicos. Dessa forma, a utilização das maiores densidades de plantio (100.000 plantas ha⁻¹, espaçamentos entre plantas e 50.000 plantas ha⁻¹, espaçamento entre fileiras), e o clone OEM independente da frequência de corte são manejos que podem ser adotados para a produção da palma forrageira em regiões semiáridas.

Palavras-chaves: Orelha de Elefante Mexicana (OEM); índices morfofisiológicos; indicadores hídricos-econômicos; rendimento de forragem e umidade do solo.

Silva, Gabriel Italo Novaes da. **Growth, reduction and agrometeorological indicators of forage cactus crops under different agronomic management interventions.** 2023. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

GENERAL ABSTRACT

Due to the edaphoclimatic conditions of the Brazilian semi-arid region and climate change, livestock activities normally face difficulties in forage production. The use of different agronomic management strategies can intensify the production of food for the herds. Among them, the use of adapted plants (e.g., forage cactus) stands out, in addition to the diversification of management practices with the use of irrigation with low quality water, different densities and cultivation orientation, and cutting frequencies. Research focused on this theme is still incipient in the literature for the forage cactus. Therefore, the objective was to evaluate the morphophysiological and agronomic characteristics, soil water balance (SWB) and water-economic efficiency indicators under different agronomic managements. Four experiments were conducted in the municipality of Serra Talhada - PE, from 2020 to 2022, with experiment I - cultivation density with modification of spacing between plants (0.10, 0.20, 0.30 0.40 and 0.50 m), rows spaced at 1.0 m and planting orientation East-West; experiment II – with the same spacing arrangements, but with rows in the planting orientation, being North-South; experiment III – spacing between rows varying between 1.00, 1.25, 1.50 and 1.75 m and spacing between plants of 0.20 m; and, experiment IV in a 4x3 factorial arrangement (four cutting frequencies (6, 9, 12+6 and 18 months) and three cactus pear clones (Orelha de Elefante Mexicana - OEM, Miúda – MIU and IPA Sertânia – IPA). All experiments were conducted in a randomized block design (RBD) with four replications. At the time of harvest, biometric data were obtained for the determination of morphophysiological indices (absolute and relative growth rate - AGR and RGR; net assimilation rate - NAR; and specific cladode area - SCA), delimitation of phenophases and moment of cutting and the productivity of fresh matter (FM) and dry matter (DM). By means of moisture readings and the physical-hydric properties of the soil, the SWB was carried out and the water-economic indexes of the crop were calculated. The East-West crop orientation provided a higher DM yield, while the higher crop densities 100,000 plants ha⁻¹ (plant spacing) and 50,000 plants ha⁻¹ (row spacing) showed higher forage yield. The different cutting frequencies showed that regardless of the frequency, the highest forage yield occurred for the OEM clone. In general, the morphophysiological indices, phenophases, cutting time,

SWB and water-economic indicators were influenced by the different agronomic managements. In this way, the use of the highest planting densities (100,000 plants ha⁻¹, spacing between plants and 50,000 plants ha⁻¹, spacing between rows), and the OEM clone regardless of the cutting frequency are managements that can be adopted for the production forage cactus in semi-arid regions.

Keywords: Orelha de Elefante Mexicana (OEM); morphophysiological indices; water-economic indicators; productivity; and soil moisture

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	9
GENERAL ABSTRACT	11
APRESENTAÇÃO.....	20
CAPÍTULO I: DIFERENTES MANEJOS AGRONÔMICOS NA PALMA FORRAGEIRA ALTERA OS ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO?.....	22
1. Introdução.....	24
2. Material e métodos	26
3. Resultados	34
4. Discussão	58
5. Conclusão	64
Referências.....	65
CAPÍTULO 2: MANEJO DE CORTE NA PALMA FORRAGEIRA ALTERA ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS, FENOLOGIA, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ÍNDICES HÍDRICOS-ECONÔMICOS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.....	73
1. Introdução.....	75
2. Material e métodos	76
4. Discussão	100
5. Conclusão	105
Agradecimentos	105
Referências.....	105

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – DIFERENTES MANEJOS AGRONÔMICOS NA PALMA FORRAGEIRA ALTERA OS ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO?

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_0 , mm dia⁻¹) e disponibilidade hídrica via precipitação (P, mm dia⁻¹) e Irrigação (I, mm dia⁻¹) com dois ciclos de palma forrageira em ambiente semiárido, cultivada sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas e fileiras) e orientação de plantio Leste-Oeste e Norte Sul.

Figura 2. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específico (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob orientação Leste-Oeste e diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Figura 3. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específico (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob orientação Norte-Sul e diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Figura 4. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, cultivado com orientação Leste-Oeste e diferentes densidades 100.000 (A e B), 50.000 (C e D), 33.333 (E e F), 25.000 (G e H) e 20.000 plantas ha⁻¹ (I e J) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

Figura 5. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, cultivado com orientação Norte-Sul e diferentes densidades 100.000 (A e B), 50.000 (C e D), 33.333 (E e F), 25.000 (G e H) e 20.000 plantas ha⁻¹ (I e J) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

Figura 6. Rendimento de massa fresca (A, B, C e D) e de massa seca (E, F, G e H) da palma forrageira do primeiro ciclo – setembro/2020 a agosto/2021 (A, C, E e G) e do segundo ciclo –

agosto/2021 a agosto/2022 (B, D, F e H), sob orientação Leste-Oeste (A, B, E e F) e Norte-Sul (C, D, G e H), cultivada sob diferentes densidades de plantio (espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Figura 7. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específica (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre fileiras) em ambiente semiárido.

Figura 8. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, cultivada com diferentes densidades 50.000 (A e B), 40.000 (C e D), 33.333 (E e F) e 28.571 plantas ha⁻¹ (G e H) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

Figura 9. Produtividade de massa fresca (MF) e de massa seca (MS) do primeiro ciclo (A e B) e do segundo ciclo (C e D) produtivo da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras) em ambiente semiárido.

CAPÍTULO 2: O MANEJO DE CORTE ALTERA FENOLOGIA, INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS, AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ÍNDICES HÍDRICOS-ECONÔMICOS DA PALMA FORRAGEIRA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET₀, mm dia⁻¹) e disponibilidade hídrica via precipitação (P, mm dia⁻¹) e Irrigação (I, mm dia⁻¹) no cultivo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] – OEM, Miúda [*Nopalea cochenellifera* (L.) Salm-Dyck] – MIU e IPA Sertânea [*Nopalea cochenellifera* (L.) Salm-Dyck] - IPA em ambiente semiárido, cultivada sob diferentes manejos de corte.

Figura 2. Índices morfofisiológicos [Taxa de crescimento absoluto – TCA (A, B, C e D); e Taxa de crescimento relativo – TCR (E, F, G e H) em cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, sob diferentes manejos de corte (6, 9, 12 e 18 meses) em ambiente semiárido.

Figura 3. Índices morfofisiológicos [Taxa de assimilação líquida – TAL (A, B, C e D); e Área do cladódio específico - ACE (E, F, G e H) em cultivo de palma forrageira, clone Orelha de

Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, sob diferentes manejos de corte (6, 9, 12 e 18 meses) em ambiente semiárido.

Figura 4. Estádios fenológicos na fase vegetativa de diferentes clones de palma forrageira [Orelha de Elefante Mexicana – OEM, IPA Sertânea – IPA, e Miúda (MIU)], submetida a diferentes manejos de corte [6 meses (A), 9 meses (B), 12 meses (C), e 18 Meses (D)] em função dos graus-dias acumulados (GDA, °Cdia), conduzidos no Semiárido brasileiro.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – A UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES E ORIENTAÇÃO DE PLANTIO ALTERAM AS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS, AGRONÔMICAS E A EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DA PALMA FORRAGEIRA?

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico Ta Háplico típico em Serra Talhada, PE, Brasil.

Tabela 2. Descrição dos custos (custo fixo e custo variáveis) para o cultivo da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio no semiárido brasileiro.

Tabela 3. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, $m^2 m^{-2}$) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes densidades de cultivo e orientação Leste-Oeste em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Tabela 4. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, $m^2 m^{-2}$) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes densidades de cultivo e orientação Norte-Sul em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Tabela 5. Rendimento de massa fresca (MF, $Mg ha^{-1}$) e de massa seca (MS, $Mg ha^{-1}$) da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, sob efeito isolado da orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul em região semiárida.

Tabela 6. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Leste-Oeste, em ambiente semiárido.

Tabela 7. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas) em orientação de plantio Norte-Sul, em ambiente semiárido.

Tabela 8. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Leste-Oeste.

Tabela 9. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Norte-Sul.

Tabela 10. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, $m^2 m^{-2}$) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes densidades de cultivo (espaçamento entre fileiras) em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Tabela 11. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras), em ambiente semiárido.

Tabela 12. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre fileiras).

CAPÍTULO 2: O MANEJO DE CORTE ALTERA FENOLOGIA, INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS, AS CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ÍNDICES HÍDRICOS-ECONÔMICOS DA PALMA FORRAGEIRA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Tabela 1. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidade) e número de cladódios de 1ª, 2ª e terceira ordem (NC1, NC2 e NC3, nesta ordem) de três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – OEM, Miúda – MIU, e IPA Sertânea – IPA), submetida a diferentes manejos de cortes na região Semiárida brasileira.

Tabela 2. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidade) e número de cladódios de 1ª, 2ª e terceira ordem (NC1, NC2 e NC3, nesta ordem) de três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – OEM, Miúda – MIU, e IPA Sertânea – IPA), submetida a diferentes manejos de cortes na região Semiárida brasileira.

Tabela 3. Rendimento de massa fresca e seca ($Mg ha^{-1}$) da palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, submetida a diferentes manejos de corte em um região Semiárida brasileira.

Tabela 4. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 6 meses em ambiente semiárido.

Tabela 5. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 9 meses em ambiente semiárido.

Tabela 6. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 12+6 meses em ambiente semiárido.

Tabela 7. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 12+6 meses em ambiente semiárido.

Tabela 8. Benefícios econômicos e indicadores hídrico-econômicos em três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea) submetida a diferentes frequências de corte, cultivada em uma região Semiárida brasileira.

APRESENTAÇÃO

A OvinoCaprinocultura é uma importante atividade econômica na região semiárida do Brasil, porém é extremamente impactada pelo clima, por causa da baixa e irregular precipitação pluviométrica, altas temperaturas e elevada demanda atmosférica induzirem a uma forte sazonalidade da produção de forragens, seja da vegetação nativa (Caatinga) ou das plantas forrageiras cultivadas, proporcionando redução em quantidade e qualidade. Com isso, a utilização de diferentes práticas agrícolas pode ser adotada para o planejamento e a tomada de decisão, visando garantir aumento na produção de forragens sem que ocorra prejuízos aos ecossistemas

Dentre as estratégias de manejos podem se destacar a utilização de espécies adaptadas como a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.). Essa cultura apresenta características morfológicas, anatômicas e fisiológicas, que permite o seu crescimento e desenvolvimento em ambientes com déficit hídrico, onde se pode destacar o mecanismo fotossintético ácido das crassuláceas (MAC), que ocorre abertura estomática no período noturno para captação do CO₂, aumentando a sua eficiência na utilização de água. A cactácea apresenta um alto conteúdo de água, minerais, e carboidratos não fibrosos, além de uma boa aceitabilidade pelos animais ruminantes.

Embora seja uma cultura adaptada as condições edafoclimáticas da região Semiárida, a utilização do uso mínimo de irrigação pode favorecer a sua produção. Esse manejo permite um melhor desenvolvimento e pode proporcionar um maior rendimento. Outras estratégias de manejo que podem ser adotados para garantir maior aproveitamento dos recursos naturais, como água, luz e nutrientes, é a utilização de diferentes densidades de plantio e orientação de cultivo. Essas estratégias aumentam a produção por unidade de área, devido a maior população de plantas e melhor aproveitamento da radiação solar. Além disso, podem também permitir que a cultura seja utilizada como uma prática conservacionista, devido uma maior cobertura do solo reduzira erosão do solo.

A intensificação da produção de forragem também pode ser influenciada pelo manejo de corte. A frequência de corte se refere ao intervalo de corte entre um ciclo e outro. O corte da palma dependerá da demanda de forragem para alimentar o rebanho, podendo ser realizado em períodos curtos de tempo a depender das características edafoclimáticas. Esse método influencia nas características estruturais da cultura, trazendo impactos diretos sob a produtividade. Além de ser um manejo que permite redução de custos com aplicação de insumos.

Sabe-se que a adoção de diferentes manejos agrícolas em cultivos de palma forrageira pode proporcionar distintas respostas das morfofisiológicas e características agronômicas. Logo, estudos avaliando os índices morfofisiológicos, crescimento, fenofases e momento de corte devem ser realizados nas regiões de clima semiárido para entender o desenvolvimento da cultura e melhorar o planejamento e a eficiência dos recursos naturais, além de reduzir os custos, proporcionando ao criador um maior benefício econômico.

CAPÍTULO I: DIFERENTES MANEJOS AGRONÔMICOS NA PALMA FORRAGEIRA ALTERA OS ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E DINÂMICA DE ÁGUA NO SOLO?

Resumo: O aumento da produção de palma forrageira em regiões semiáridas é um fator essencial para a manutenção da produção animal em épocas de estiagens. A utilização de diferentes manejos agronômicos pode melhorar as respostas do crescimento e da produtividade, favorecendo os índices hídrico-econômicos da palma forrageira. Com isso, objetivou-se avaliar os índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, produtividade, balanço hídrico e indicadores hídricos-econômicos em cultivo de palma forrageira sob diferentes densidades e orientações de plantio. O estudo foi desenvolvido no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil, com a condução de três experimentos e dois ciclos produtivos para o clone de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob delineamento em blocos casualizados e quatro repetições. Dois experimentos foram compostos por cinco densidades de plantio (100.000, 50.000, 33.000, 25.000 e 20.000 plantas ha⁻¹) modificadas pelo espaçamento entre plantas (0,10, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 m com distância fixa de 1,00 m entre fileiras), o primeiro com orientação Leste-Oeste e o segundo orientação Norte-Sul. O terceiro experimento apresentou quatro densidades de plantio (50.000, 40.000, 33.000 e 28.571 plantas ha⁻¹) afetadas pela a distância entre fileiras (1,00, 1,25, 1,50 e 1,75 m com distância fixa de 0,20 m entre plantas). Na ocasião da colheita foram obtidos dados biométricos para a determinação de índices morfofisiológicos (taxa de crescimento absoluto e relativo - TCA e TCR; taxa de assimilação líquida - TAL; e, área do cladódio específica - ACE) e delimitação das fenofases e do momento de corte, e a produtividade de matéria fresca (MF) e matéria seca (MS). Por meio de leituras de umidade e das propriedades físico-hídricas do solo foi realizado o balanço de água no solo (BAS) e calculados os índices hídricos-econômicos da cultura. De maneira geral, os índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte também foram mais influenciados para as maiores densidades. A produtividade de MS foi influenciada pela orientação Leste-Oeste. As densidades de plantio afetaram as produtividades de MF e MS positivamente com maiores magnitudes nas densidades de 100.000 plantas ha⁻¹ com arranjo de 1,00 x 0,10 m e na densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ no arranjo de 1,00 x 0,20 m; assim como, os componentes do BAS e os indicadores hídrico-econômicos. A utilização de maiores densidades de cultivo [100.000 plantas ha⁻¹(espaçamento entre plantas) e 50.000 plantas ha⁻¹(espaçamento entre fileiras)], com

orientação de cultivo Leste-Oeste na cultura da palma forrageira podem ser manejos empregados para aumento da produção de forragem, em regiões semiáridas.

Palavras-chaves: Orelha de Elefante Mexicana (OEM); densidades de cultivo; orientação de cultivo; índices morfofisiológicos; indicadores hídricos-econômicos.

Abstract: The increase in cactus pear production in semi-arid regions is an essential factor for maintaining animal production in times of drought. The use of different agronomic managements can improve growth and productivity responses, favoring the water-economic indexes of forage cactus. Thus, the objective was to evaluate the morphophysiological indices, phenophases, cutting moment, productivity, water balance and water-economic indicators in cactus pear cultivation under different densities and planting orientations. The study was carried out in the municipality of Serra Talhada, Pernambuco, Brazil, with the conduction of three experiments and two production cycles for the forage cactus clone, Orelha de Elefante Mexicana (OEM), in a randomized block design with four replications. Two experiments were composed of five planting densities (100,000, 50,000, 33,000, 25,000 and 20,000 plants ha⁻¹) modified by spacing between plants (0.10, 0.20, 0.30, 0.40 and 0.50 m with a fixed distance of 1.00 m between rows), the first with an East-West orientation and the second with a North-South orientation. The third experiment presented four planting densities (50,000, 40,000, 33,000 and 28,571 plants ha⁻¹) affected by the distance between rows (1.00, 1.25, 1.50 and 1.75 m with a fixed distance of 0.20 m between plants). At the time of harvest, biometric data were obtained for the determination of morphophysiological indices (absolute and relative growth rate - AGR and RGR; net assimilation rate - NAR; and specific cladode area - SCA) and delimitation of phenophases and moment of cut, and the productivity of fresh matter (FM) and dry matter (DM). By means of readings of soil moisture and physical-hydric properties, the soil water balance (SWB) was performed and the water-economic indexes of the crop were calculated. In general, morphophysiological indices, phenophases and cutting time were also more influenced by higher densities. DM productivity was influenced by East-West orientation. Planting densities positively affected FM and DM yields with greater magnitudes in the densities of 100,000 plants ha⁻¹ in the 1.00 x 0.10 m arrangement and in the density of 50,000 plants ha⁻¹ in the 1.00 x 0.20 m; as well as the components of the SWB and the hydro-economic indicators. The use of higher cropping densities [100,000 plants ha⁻¹ (spacing between plants) and 50,000 plants ha⁻¹ (spacing between rows)], with East-West cultivation orientation in the cactus pear crop, can be used to increase the forage production in semi-arid regions.

Keywords: Orelha de Elefante Mexicana (OEM); cultivation densities; cultivation guidance; morphophysiological indices; water-economic indicators.

1. Introdução

O semiárido brasileiro abrange uma área de 982.566 km², que representa 18,2% do território nacional e 53% da região Nordeste (Silva et al., 2021). Esse ambiente é caracterizado por apresentar altas temperaturas, baixa e má distribuição da precipitação pluviométrica, o que compromete as atividades agropecuárias (Jardim et al., 2021a; Alves et al., 2022; Souza et al., 2022). A pecuária é uma atividade predominante na região que gera um importante papel na economia, no entanto, as condições edafoclimáticas desse ambiente, favorece a sazonalidade na produção de forragem, na qual reduz oferta de alimento para os rebanhos. (Lima et al., 2018; Silva et al., 2021; Alves et al., 2022).

Alcançar uma maior estabilidade de forragens nessas regiões, torna-se essencial para manutenção da produção dos rebanhos, visando um maior retorno econômico para os pecuaristas (Viera et al., 2015). Para isso, utilização de diferentes manejos agronômicos podem ser adotados para proporcionar maior capacidade de suporte forrageira, por meio da modificação do microclima do ambiente de cultivo (Silva et al., 2020; Souza et al., 2022). Dentre estes manejos, destaca-se a utilização de espécies adaptadas ao clima (Araújo Júnior et al., 2021c; Jardim et al., 2021c), uso de irrigação (Campos et al., 2021; Silva et al., 2023), densidade de plantio (Souza et al., 2017; Lemos et al., 2021) e orientação de cultivo (Peixoto et al., 2018; Alves et al., 2022; Gomes et al., 2022).

A palma forrageira dos gêneros *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp. representa uma reserva de forragem, que supre parcialmente a demanda alimentar e hídrica dos rebanhos em regiões semiáridas por possuir tolerância a fatores bióticos (Siqueira et al., 2019; Dubeux et al., 2021; Rocha Filho et al., 2021). Essa espécie da família das Cactaceas possui o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que garante maior eficiência do uso da água, em relação a culturas com o mecanismo fotossintéticos C3 ou C4 (Hassan et al., 2019; Edvan et al., 2020). A composição química típica da palma forrageira inclui alta concentração de carboidratos não fibrosos, alta digestibilidade dos nutrientes, conferindo uma excelente fonte de energia (Oliveira et al., 2018a; Edvan et al., 2020). Por outro lado, apresenta baixa concentração de matéria seca (5 a 15% MS), proteína bruta e fibras (fibra em detergente ácido e neutro) (Oliveira et al., 2018a; Dubeux et al., 2021).

Diferentes manejos agronômicos, como diferentes densidades e orientações de cultivo podem ser adotados para melhorar a eficiência do uso da água e a interceptação da radiação, características que influenciam no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (Alves et al., 2022). Silva et al. (2016), avaliando diferentes espaçamentos (1,00 x 0,50; 2,00 x 0,25; e 3,00 x 1,00 x 0,25 m) e e quatro adubações, observaram que o espaçamento 1,00 x 0,50 m (20.000 plantas ha⁻¹) elevou a extração do nitrogênio, fósforo e enxofre, além de aumentar a produção de MS da cultura da palma forrageira. Diferentes níveis de adubação e duas densidades de plantio (5.000 e 40.000 plantas ha⁻¹) foram estudados por Souza et al. (2017) e verificaram maior produtividade devido ao incremento da densidade de plantio. Alves et al. (2022) estudaram o consórcio da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) com sorgo forrageiro, e constataram que maiores densidades (100.000 e 50.000 plantas ha⁻¹) na cultura da palma forrageira e orientação de plantio Leste-Oeste ofereceram maiores rendimentos de MS.

Esses diferentes manejos podem promover alterações nas características morfofisiológicas e agronômicas da cultura (Alves et al., 2022; Jardim et al., 2021a). Assim, há necessidade de entender o comportamento destas características. Para isso, estudos de índices morfofisiológicos (i.e. taxa de crescimento absoluto – TCA; taxa de crescimento relativo – TCR; taxa de assimilação líquida – TAL; e área específica do cladódio – ACE) podem ser utilizados no ambiente de produção para entender o desempenho da cultura (Araújo Júnior et al., 2021a; Souza et al., 2022). A fenologia também é outra característica importante a ser analisada, pois permite compreender cada fase e sua duração, além do momento de corte ideal em decorrência aos diferentes manejos (Alves et al., 2022; Amorim et al., 2017). Com isso, compreender as diferentes respostas de crescimento e desenvolvimento da cultura, se torna essencial para auxiliar na tomada de decisão, e ajudar na escolha da melhor densidade e orientação de plantio ao produtor.

Além da variação das características morfofisiológicas e agronômicas o entendimento da inter-relação do sistema água-solo-planta-atmosfera, bem como a evapotranspiração e o movimento da água no perfil do solo, também é um ponto chave para melhoria no planejamento e tomada de decisão quanto a necessidade de água para planta (Alves et al., 2019; Jardim et al., 2019). Para isso, o balanço de água no solo (BAS) tem sido bastante utilizado, pois permite quantificar em um volume de solo as entradas (precipitação pluviométrica, irrigação e ascensão capilar) e saídas (evapotranspiração, escoamento superficial e drenagem) de água (Alves et al., 2022; Darouich et al., 2022; Jardim et al., 2019). Esses componentes do BAS são influenciados pela espécie, idade, época do ano e manejo adotado.

A hipótese do estudo foi que a utilização de maiores densidades e orientações de plantio Leste-Oeste no cultivo da palma forrageira, proporcionará melhores respostas das características agronômicas, dos indicadores agrometeorológicos, componentes do balanço de água no solo e dos indicadores hídrico-econômicos. Com isso, objetivou-se avaliar as características agronômicas, índices morfofisiológicos, indicadores hídrico-econômicos e balanço de água no solo na cultura da palma forrageira, sob diferentes manejos agronômicos na região Semiárida brasileira.

2. Material e métodos

2.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no Centro Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras, na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, localizada no município de Serra Talhada – PE, Brasil (7°56'20" S, 38°17'31" O e altitude 499 m) O estudo foi realizado durante duas safras: entre 9 de setembro de 2020 a 11 de agosto de 2021 (um total de 343 dias, aproximadamente 12 meses) e 11 de agosto de 2021 a 8 de agosto de 2022 (um total de 362 dias, aproximadamente 12 meses), que compreenderam o segundo e terceiro ciclo produtivos de palma forrageira. O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Eutrófico Háplico Ta Háplico típico (Jardim et al., 2021a), onde amostras foram coletadas nas profundidade de 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m para determinar os atributos físicos e químicos do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico cultivado com palma forrageira e milho com e sem cobertura morta em Serra Talhada – PE, Brasil.

Propriedades físicas										
Prof.	ρ_d	\emptyset	Areia	Silte			Argila			
cm	kg dm ⁻³	%		----- g kg ⁻¹ -----						
0-20	1,45	42,27	828,6	148,3			23,2			
20-40	1,34	46,76	795,4	160,1			44,6			
Propriedades químicas										
Prof.	C.E.	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
cm	mS cm ⁻¹		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			%
0-20	0,33	6,0	4,6	168,96	13,8	1,09	3,5	1,9	20,9	97,2
20-40	0,24	6,3	3,0	154,1	11,8	1,47	2,9	1,75	18,3	98,7

Prof.: profundidade. ρ_d : densidade do solo. \emptyset : porosidade total. C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação de bases.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é tipo BSh (ou seja, semiárido quente), com estação chuvosa no verão e inverno seco (Alvares et al., 2013). A temperatura média do ar é de 24,8 °C, com precipitação pluviométrica média de 642 mm ano⁻¹, evapotranspiração de referência superior a 1.800 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar de 63% (Pereira et al., 2015; Silva et al., 2015).

Para o primeiro ciclo de palma forrageira (setembro – 2020 a agosto – 2021), as chuvas se concentraram nos meses de janeiro a maio de 2021, totalizando 658,20 mm em um ano (Figura 1). O total de água aplicado por irrigação foi de 211,40 mm (0,67 mm dia⁻¹). A evapotranspiração de referência total foi de 1639,77 mm, com uma média de 4,86 mm dia⁻¹ (ou seja, com um máximo de 6,96 mm dia⁻¹ e um mínimo de 2,21 mm dia⁻¹). Já o segundo ciclo (agosto/2021 a agosto/2022) apresentou um total de chuvas de 912,60 mm, concentrando-se nos meses de janeiro a abril de 2022. A lâmina total de irrigação foi de 128,35 mm e a demanda atmosférica total foi de 1740,09 mm, com uma média de 4,79 mm dia⁻¹ (com um máximo de 7,26 mm dia⁻¹ e mínimo de 1,14 mm dia⁻¹).

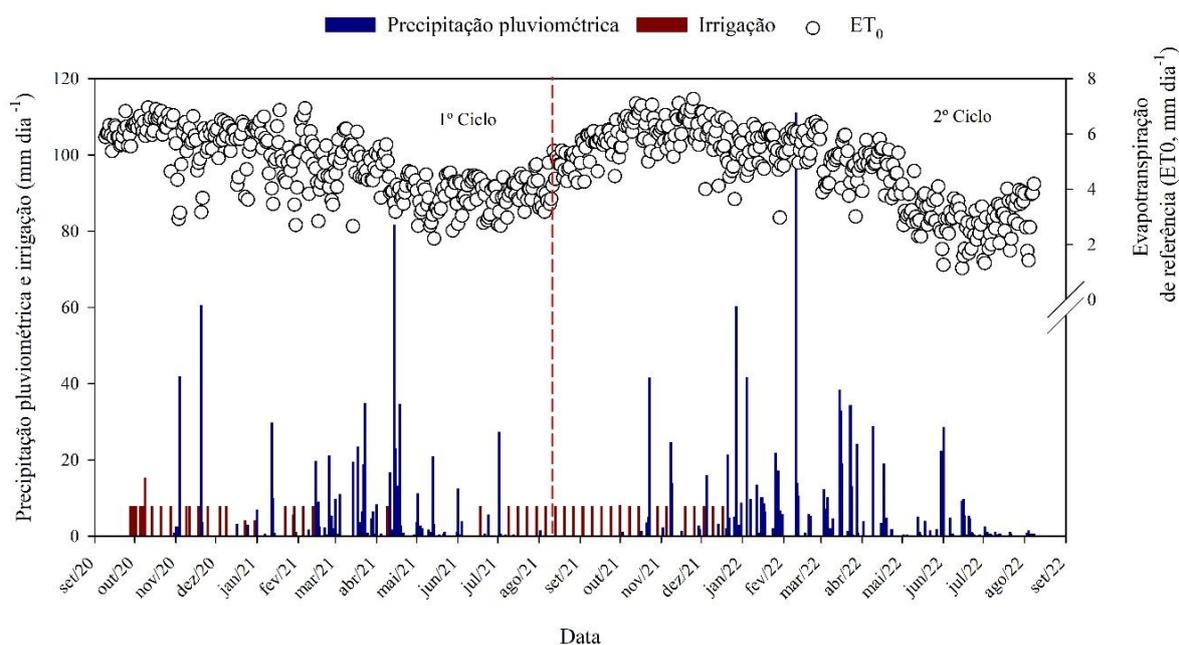


Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_0 , mm dia⁻¹) e disponibilidade hídrica via precipitação (P , mm dia⁻¹) e Irrigação (I , mm dia⁻¹) com dois ciclos de palma forrageira em ambiente semiárido, cultivada sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas e fileiras) e orientação de plantio Leste-Oeste e Norte Sul.

2.2 Delineamento experimental, irrigação e práticas culturais

O estudo consistiu de três experimentos, que se diferenciaram pelas densidade e orientação de cultivo. Os experimentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Antes da instalação dos experimentos foi realizado o preparo inicial do solo, por meio de aração, gradagem e sulcagem. A palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw], foi plantada em agosto de 2018 enterrando 50% do comprimento total do cladódio.

A irrigação foi feita por meio de um sistema de gotejamento na vazão de $1,59 \pm 1,1 \text{ l h}^{-1}$ e pressão de trabalho de 100 kPa, utilizando água de poço artesiano localizado próximo a área experimental, com condutividade elétrica média de $1,62 \text{ dS m}^{-1}$ (classificado como C3, ou seja, como água de alta salinidade) de acordo com Richards (1954). O manejo de irrigação foi realizado uma vez na semana, com base em 80% da evapotranspiração da cultura (ET_c), usando coeficiente de cultura de 0,52 e a evapotranspiração de referência (ET_0) (Queiroz et al., 2016). A ET_0 foi calculada a partir de dados meteorológicos, sendo: temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), velocidade do vento (m s^{-1}), pressão atmosférica (hPa) e precipitação pluviométrica (mm), obtidos de uma estação meteorológica automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para determinar a ET_0 , foi utilizado o método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

A adubação foi realizada em dose única para cada ciclo avaliado, sendo aplicado no início do ciclo, nas linhas da cultura, com doses iguais a 200-80-130 kg ha^{-1} de nitrogênio-fosforo-potássio (N-P-K) (Alves et al., 2022). Além disso, foram realizados controles manuais de plantas espontâneas, quando necessário.

2.2.1 Experimento 1 e 2: densidades de plantas com orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul

No primeiro experimento foi avaliado diferentes densidades de cultivo e orientação Leste-Oeste na palma forrageira. Dois ciclos de produção, de um ano cada, foram conduzidos, nos quais haviam sido mantidos os cladódios de primeira ordem no início de cada ciclo. A palma foi plantada com espaçamento fixo entre linhas de 1,0 m e diferentes espaçamentos entre plantas: de 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 m, representando uma densidade de 100.000, 50.000, 33.333, 25.000 e 20.000 plantas ha^{-1} , respectivamente. Cada parcela experimental apresentava quatro fileiras com três metros de comprimento, representando uma área de 12 m^2 . A parcela útil para obtenção dos dados constituiu nas duas fileiras centrais, excluindo duas plantas em

cada extremidade. O segundo experimento se diferenciou do primeiro experimento pela orientação de plantio, que neste caso, foi de Norte-Sul.

2.2.2 Diferentes densidades de plantas entre fileiras

O experimento foi conduzido por dois ciclos produtivos de palma forrageira, com 12 meses cada, com início a partir dos cladódios de primeira ordem emitidos e desenvolvidos. O clone de palma utilizado foi Orelha de Elefante Mexicana, plantada com espaçamento fixo entre plantas de 0,20 m e quatro diferentes espaçamentos entre fileiras, sendo 1,00, 1,25, 1,50 e 1,75 m, resultando diferentes densidades de plantas de 50.000, 40.000, 33.000 e 28.571 plantas ha⁻¹, respectivamente.

2.3 Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte da palma forrageira

Dados biométricos e de biomassa dos dois ciclos da palma forrageira foram coletados para quantificar os índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte. As medidas biométricas foram realizadas em uma planta representativa por parcela, obtendo as variáveis altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número de cladódios (NC, unidades), sendo contado as ordens a partir do cladódio basal (primeira ordem, segunda ordem, até o de maior ordem na planta), além disso, foi medido um cladódio de cada respectiva ordem, para obter o comprimento (CC, cm), largura (LC, cm), espessura (EC, mm) e perímetro do cladódio (PC, cm), conforme metodologia de Jardim et al. (2021b). A partir dos dados biométricos foram calculadas a área do cladódio (AC, cm²) e o índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), usando as Equações 1 e 2, respectivamente (Pinheiro et al., 2014; Silva et al., 2015a).

$$AC = 0.7086 \frac{(1 - \exp(-0.000045765 \cdot CC \cdot LC))}{0.000045765} \quad (1)$$

$$IAC = \frac{(\sum_{i=1}^n AC)}{\frac{10000}{S1 \times S2}} \quad (2)$$

onde: AC – área do cladódio; CC e LC – comprimento e largura do cladódio, respectivamente; 1000 – fator de conversão de cm² para m²; S1 e S2 – espaçamento entre fileiras e entre plantas, respectivamente.

Os índices morfofisiológicos foram obtidos por meio de análise de regressão, utilizando modelo sigmoide de três parâmetros (Equação 3), entre os valores de MS e IAC e a variável independente, graus dias acumulados (GDA, °Cdia). O GDA foi obtido pela diferença entre temperatura média do ar (°C) e temperatura base inferior da cultura (°C), sendo 22 °C para a palma forrageira (Araújo Júnior et al., 2021a). Os modelos foram derivadas para calcular a taxa

diária do acúmulo de matéria seca, resultando na taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹). Além da TCA, também foram obtidos os índices de taxa de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹), taxa de assimilação líquida (TAL, Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹) e a taxa de área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), conforme Araújo Júnior et al. (2021).

$$y = \frac{a}{1 + e^{\left| \frac{-(x-x_0)}{b} \right|}} \quad (3)$$

onde: y – variável estimada no tempo (variável resposta); a – valor máximo para a taxa (i.e., distância entre as duas assíntotas); b – número de graus dias necessários para o início da taxa; x₀ – número de graus-dias necessário para a planta expressar 50% da taxa máxima (i.e., ponto de inflexão da curva).

A taxa de emissão de cladódios foi obtida através de análise de regressão de três parâmetros, modelo sigmoide entre o número de cladódios de cada respectiva ordem e os GDA (Equação 3). A mudança de fenofase foi considerada quando a taxa de emissão de cladódio de uma ordem dada foi superada pela taxa de emissão de cladódio de ordem subsequente (Souza et al., 2022). O momento de corte foi determinado a partir dos valores da TCA, quando atingiu 25% do máximo valor da TCA, definindo-se assim a melhor época de corte para cada tratamento.

2.4 Rendimento de forragem

O rendimento da palma forrageira foi determinado no final de cada ciclo da cultura. Duas fileiras centrais foram consideradas para contagem do número de plantas para determinação da densidade final de cada parcela. Cinco plantas foram cortadas e pesadas em balança eletrônica para obtenção do peso fresco, permanecendo em campo apenas o cladódio basal e os de primeira ordem. Para determinação do conteúdo de matéria seca, uma planta representativa de cada parcela foi colhida e pesada, deixando apenas o cladódio basal em campo, posteriormente, selecionado um cladódio de cada ordem representativo de cada parcela, onde foram pesados, fracionados, acondicionados em sacos de papel completamente identificados e levados para estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até obter peso constante (Sadeghpour et al., 2013). Com a razão entre a massa seca e fresca dos cladódios, determinou-se o conteúdo de matéria seca.

O rendimento final de matéria fresca foi estimado a partir do peso fresco médio das cinco plantas e da densidade final de plantas (MF, Mg ha⁻¹), e o rendimento de matéria seca foi obtido pelo produto entre o rendimento final de matéria fresca e o conteúdo de matéria seca (MS, Mg ha⁻¹).

2.5 Balanço de água no solo

A quantificação dos componentes do balanço de água no solo (BAS) foi determinado pelo método descrito por Libardi. (2005), baseado na conservação da massa de água em um volume de solo conhecido (Equação 4). Para monitorar a umidade do solo, utilizou-se uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltda, Austrália) e tubos de acessos, inseridos até a profundidade de 0,70 m da superfície. A sonda foi calibrada conforme metodologia descrita por Araújo Primo et al. (2015). As leituras foram realizadas durante todo ciclo experimental às segundas-feiras, quarta-feiras e sextas-feiras, sempre antecedendo aos eventos de irrigações.

$$\pm\Delta h = P + I \pm R \pm Q - ET \quad (4)$$

onde: Δh – variação de armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação pluviométrica (mm); I – Irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm), quando for positivo ocorreu ascensão capilar, já negativo ocorreu drenagem; ET – evapotranspiração (mm).

As análises dos componentes do BAS, foram realizadas a cada sete dias, considerando a camada controle de 0,60 m (z). Os valores da variação do armazenamento de água no solo foi obtido pela diferença dos valores final e inicial do armazenamento de água no solo, na profundidade de interesse, sendo estes valores resultantes das leituras da sonda a cada 0,10 m.

A precipitação pluviométrica (P) foi monitorada através de um pluviômetro automático da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado próximo a área experimental. Os volumes aplicados de água via irrigação (I) também foram contabilizados. Ao final, os valores de P e I foram integrados para um intervalo a cada sete dias.

O escoamento superficial (R) foi determinado a partir da instalação de calhas de escoamento de 1 m² em áreas adjacentes. Após eventos de precipitação pluviométrica foi realizado leituras do escoamento ocorrido e através da correlação dos dados da água precipitada com a água escoada, ajustou-se uma curva polinomial ($y = y_0 + ax + bx^2$, $R^2 = 0,92$).

O fluxo de água no solo (Q) foi calculado conforme equação de Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), que considera a condutividade hidráulica do solo [$K(\theta)$] e o gradiente potencial total de água no solo ($\Delta\psi_t \Delta z^{-1}$), entre as profundidades de 0,50 m e 0,70 m, estes foram obtidos através procedimentos descritos por Silva et al. (2015b), utilizando o método do perfil instantâneo (Libardi, 2005). Este fluxo pode ser positivo ou negativo, sendo ascensão capilar (Q = positivo), ou drenagem profunda (Q = negativo). A evapotranspiração real foi determinada pelo resíduo do BAS.

2.6 Indicadores hídrico-econômicos

Os índices hídricos foram obtidos com base nos dados da evapotranspiração real (ETr), entrada de água no sistema através de irrigação e precipitação pluviométrica, e a produtividade de matéria fresca e seca da palma forrageira. A eficiência do uso da água da cultura (EUAc, m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) ou fração do uso consecutivo indica a quantidade de água que não está mais presente no sistema solo-planta (Equação 6). Além da EUAc, também foram determinadas a eficiência do uso da água (*EUAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹), levando em consideração a razão da biomassa e a evapotranspiração (Equação 7). A produtividade de água da cultura, que mostra a relação entre a biomassa alcançada (podendo ser em matéria fresca ou matéria seca), em razão da evapotranspiração real (PAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 8), ou também em relação a quantidade de água recebida via precipitação pluviométrica mais irrigação (*PAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 9). A produtividade da água de irrigação (PAi, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) também foi determinada (Equação 10) (Fernández et al., 2020).

$$EUAc = \frac{\Sigma ETr}{\Sigma P+I} \quad (6)$$

$$*EUAc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma ETr} \quad (7)$$

$$PAc = \frac{\text{RendMS}}{\Sigma ETr} \quad (8)$$

$$*PAc = \frac{\text{RendMS}}{\Sigma P+I} \quad (9)$$

$$PAi = \frac{\text{RendMS}}{\Sigma I} \quad (10)$$

onde: ETr – evapotranspiração real (m³ ha⁻¹); P + I – precipitação pluviométrica + irrigação (m³ ha⁻¹); Biomassa – produtividade de matéria fresca da cultura (kg ha⁻¹); RendMS – rendimento de matéria seca (kg ha⁻¹).

Os indicadores econômicos foram obtidos com base nos custos fixos e variáveis (Tabela 2) em função da utilização da irrigação. Para isso, utilizou-se como base o dolar americano para cálculo da produtividade bruta econômica da água via irrigação (PBEAi, US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); produtividade líquida econômica da irrigação (PLEi, US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); produtividade econômica da água da cultura (PEAc - US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); e, produtividade econômica da água de irrigação (PEAi - US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 11, 12, 13 e 14, respectivamente), obtidos conforme Fernández et al. (2020).

$$PBEAi = \frac{\text{Margem bruta}}{\Sigma I} \quad (11)$$

$$PLEi = \frac{\text{Margem líquida}}{\Sigma I} \quad (12)$$

$$PEAc = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (13)$$

$$PEAi = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (14)$$

em que: margem bruta – obtida pela diferença entre a receita e os custos variáveis; margem líquida – diferença entre receita e os custos variáveis e fixos; Profit – lucro ou prejuízo produzido pela cultura; P e I – Precipitação pluviométrica e irrigação, respectivamente.

Tabela 2. Descrição dos custos (custos fixos e custos variáveis) para o cultivo da palma forrageira clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de cultivo no semiárido brasileiro.

Descrição dos custos	Palma sob diferentes densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)				
	100000	50000	33333	25000	20000
I – Custo fixo (R\$ ha⁻¹)					
1.1 – Sucção e conjunto motobomba	2.579,76	2.579,76	2.579,76	2.579,76	2.579,76
1.2 – Recalque	3.958,60	3.958,60	3.958,60	3.958,60	3.958,60
1.3 – Implantação da cultura (preparo do solo, material vegetal, adubação e plantio)	23.203,09	13.203,09	9.869,69	8.203,09	7.203,09
Subtotal (I)	29.741,45	19.741,45	16.408,05	14.741,45	13.741,45
II – Custos variáveis (R\$ ha⁻¹)					
2.1 – Depreciação	1.903,61	1.903,61	1.903,61	1.903,61	1.903,61
2.2 – Energia elétrica	498,74	498,74	498,74	498,74	498,74
2.3 – Mão de obra (manutenção)	956,21	956,21	956,21	956,21	956,21
Subtotal (II)	3.358,56	3.358,56	3.358,56	3.358,56	3.358,56

2.7 Análise estatística

Os dados de crescimento e de rendimento de forragem foram submetidos a análise de normalidade (teste de Shapiro-Wilk), homocedasticidade e análise de variância (ANOVA), pelo teste F ($p < 0,05$). Quando apresentado significância o teste de hipótese, as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) para os tratamentos qualitativos, já os quantitativos foram ajustados modelos de regressão linear ($y = y_0 + ax$) e quadráticos ($y = y_0 + ax + bx^2$), onde y é a produtividade da palma forrageira. Para o experimento 1 e 2, realizou-se uma análise conjunta para a identificação dos efeitos da interação da densidade de plantio e orientação de cultivo. As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio (R Core Team, 2018).

3. Resultados

3.1 Efeitos da densidade alterada pelo espaçamento entre plantas e da orientação de plantio

3.1.1 Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte

O uso de diferentes densidades de cultivo (espaçamento entre plantas) e orientação de cultivo afetou o comportamento dos índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte da palma forrageira. Na Figura 2A, nota-se que independentemente das diferentes densidades alteradas pelos espaçamentos entre plantas na orientação Leste-Oeste, durante o primeiro ciclo produtivo, as taxas de crescimento absoluto (TCA) apresetaram duas fases marcantes; a primeira fase caracterizada pelo o aumento progressivo do acúmulo de MS até atingir uma taxa máxima e a segunda fase marcada pela queda do acúmulo de MS.

O maior TCA foi verificada na maior densidade de plantio (100.000 plantas ha^{-1}) para os primeiro e segundo ciclo da cultura com uma taxa máxima igual de 0,06043 $Mg\ há^{-1}\ °Cdia^{-1}$ (~ 666 $°Cdia$ - 127 dias) e 0,03007 $Mg\ há^{-1}\ °Cdia^{-1}$ (~ 809 $°Cdia$ - 143 dias), respectivamente. Para as demais densidades de plantio, a magnitude e o momento de máximo acúmulo reduziu e aumentou, respectivamente, com o aumento da densidade: 0,04140 (716 $°Cdia^{-1}$), 0,03784 (882 $°Cdia^{-1}$), 0,03702 (890 $°Cdia^{-1}$) e 0,01780 (950 $°Cdia^{-1}$) $Mg\ há^{-1}\ °Cdia^{-1}$ no primeiro ciclo e 0,01532 (885 $°Cdia^{-1}$), 0,01384 (1087 $°Cdia^{-1}$), 0,01345 (1096 $°Cdia^{-1}$) e 0,00847 (1184 $°Cdia^{-1}$) para as densidades de 50.000, 33.333, 25.000 e 20.000 plantas ha^{-1} , respectivamente.

A taxa de crescimento relativo (TCR) foi maior no início do ciclo da cultura (Figura 2C) apresentando diferentes magnitudes da taxa máxima em decorrência das diferentes densidades de plantio. Com isso, a maior TCR no primeiro e segundo ciclo foi no tratamento de maior densidade de plantio (100.000 plantas ha^{-1}) com um valor de 0,0057 e 0,0047 $Mg\ Mg^{-1}\ °Cdia^{-1}$, já a menor densidade de plantio (20.000 plantas ha^{-1}), foi responsável pela menor TCR, sendo

0,0034 e 0,0028 $\text{Mg Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$, respectivamente. A taxa de assimilação líquida (TAL), apresentou a maior taxa no início dos dois ciclos da cultura para todas densidades de plantio, sendo 0,0417 e 0,0016 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$ para densidade de 50.000 plantas ha^{-1} no primeiro e segundo ciclo, respectivamente (Figura 4E e 4F).

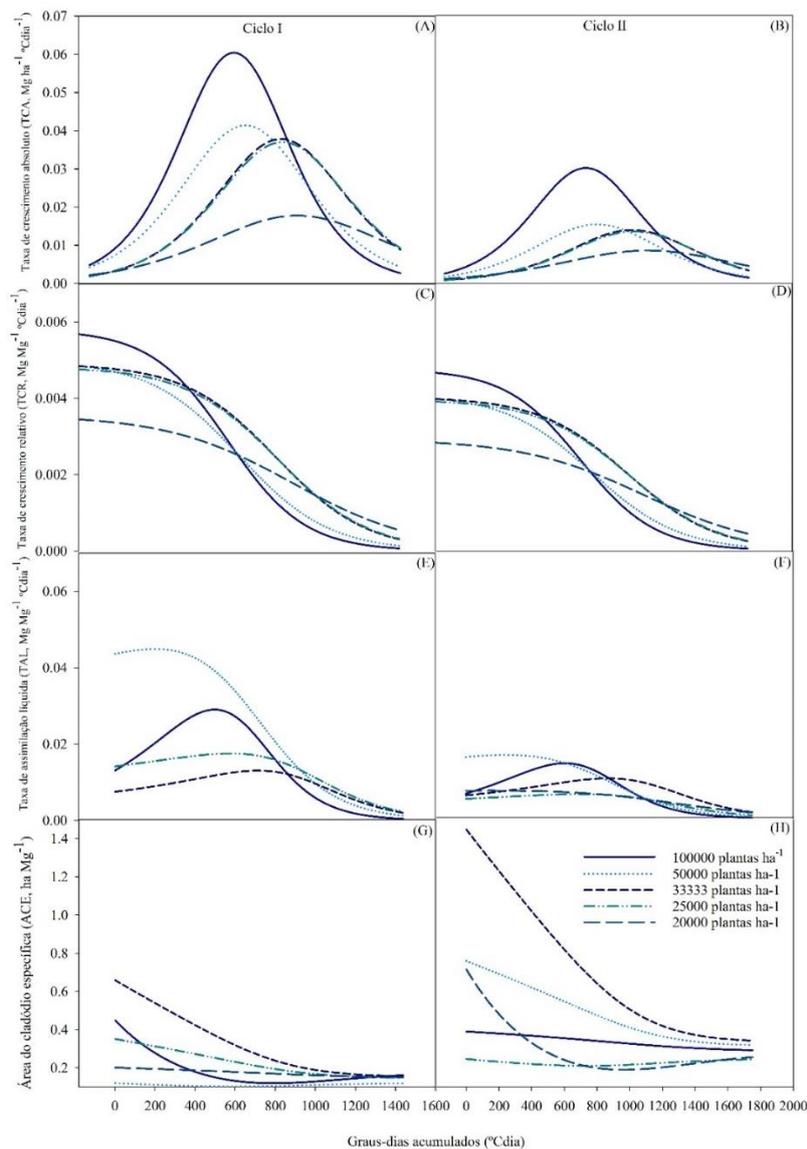


Figura 2. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específico (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob orientação Leste-Oeste e diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Desta maneira, também é notório que a TAL apresenta redução acentuadamente após atingir aproximadamente 1000 graus dias acumulados. A maior taxa da área do cladódio específico (ACE) ocorreu no início do ciclo para as diferentes densidades de plantio e havendo reduções ao longo do desenvolvimento da cultura (Figura 2G e 2H). A maior ACE ocorreu na densidade de plantio de 33.333 plantas, sendo h^{-1} 0,6582 e 1,448 $ha\ Mg^{-1}$), no primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Quando a palma forrageira foi submetida a diferentes densidades de cultivo (espaçamento entre plantas), com orientação de plantio Norte-Sul (Figura 3), apresentou diferentes comportamentos dos índices morfofisiológicos.

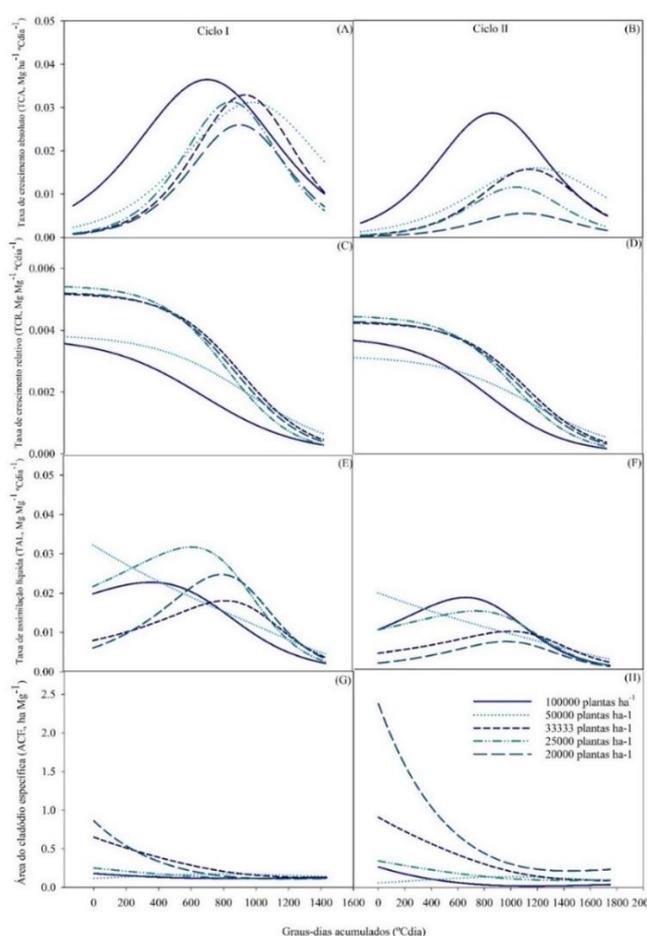


Figura 3. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específico (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob orientação Norte-Sul e diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Avaliando a TCA do primeiro ciclo (Figura 3A) e do segundo ciclo (Figura 3B), verificou-se mesmo comportamento, com a maior densidade (100.000 plantas ha⁻¹) exibindo a máxima TCA, sendo 0,0365 e 0,0286 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Com relação a TCR do primeiro ciclo (Figura 3C) para ambos tratamentos teve uma taxa máxima no início do ciclo, sendo destacado as densidades de 25.000, 20.000 e 33.333 plantas ha⁻¹ com uma média de 0,00541, 0,00520 e 0,00516 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹ respectivamente, tendo um decréscimo acentuado a partir de 700 graus dias acumulados (GDA). Esse mesmo comportamento pode ser observado no segundo ciclo (Figura 3D), sendo as taxas de 0,00443, 0,00426 e 0,00423 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente.

Avaliando a TAL apresentou diferentes comportamentos devido a diferença de densidades de plantas (Figura 3E). De maneira geral, a máxima taxa se deu entre 400 e 900 °Cdia para os tratamentos estudados, sendo a densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ com a maior taxa de 0,0317 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ (607 °C dia ~ 108 dias). No segundo ciclo produtivo da planta, a TAL teve sua maior taxa nos tratamentos de maiores densidades, sendo 0,0185 e 0,0031 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, para 100.000 e 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 3F).

A área do cladódio específico (ACE) foi maior para os tratamentos de menores densidades (Figura 3G), sendo 20.000 plantas ha⁻¹ (0,86 ha Mg⁻¹) e 33.333 plantas ha⁻¹ (0,65 ha Mg⁻¹). No segundo ciclo a ACE (Figura 3H), apresentou maiores taxas no início do ciclo e ao longo do seu desenvolvimento, apresentou redução. A densidade de 20.000 plantas ha⁻¹, apresentou a maior taxa, sendo 2,40 ha Mg.

Pôde-se observar que quando a palma foi dispostas com diferentes espaçamentos entre plantas em orientação de cultivo Leste-Oeste, apresentou diferentes número de fases e taxa de emissão de cladódio ao longo do ciclo (Figura 4). Vale destacar que a taxa de emissão de cladódios de 1^a ordem foi constante (não representado na Figura), pois os dois ciclos iniciaram com a planta contendo cladódios de primeira ordem. Ao longo do experimento foram apresentadas pela palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) duas fases (2 e 3, representada pela emissão de cladódios de segunda e terceira ordem) para as maiores densidades de plantio, 100.000 plantas ha⁻¹ nos dois ciclos produtivos (Figura 4A e B) e 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 4C) somente no primeiro ciclo.

Para mudanças de fases, a maior densidade de plantio (100.000 plantas ha⁻¹) necessitou de menor graus-dias acumulados (931 °Cdia) para passar para a fenofase 3, com taxa de emissão de cladódios de 0,0041 unidade °Cdia⁻¹ no primeiro ciclo (Figura 4A) e 0,0061 unidade °Cdia⁻¹ (1302 °Cdia) no segundo ciclo (Figura 4B). Porém a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 4C), precisou de maior soma térmica (981 °Cdia), ocorrendo mudança de fase, quando

apresentou taxa de 0,0034 unidade °Cdia⁻¹. Com relação a taxa máxima de emissão de cladódios de segunda ordem, a densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ (Figura 4G) apresentou maior taxa, com valor médio de 0,0466 unidade °Cdia⁻¹, para o primeiro ciclo, e no segundo ciclo foi a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (Figura 4J) com 0,044 unidade °Cdia⁻¹.

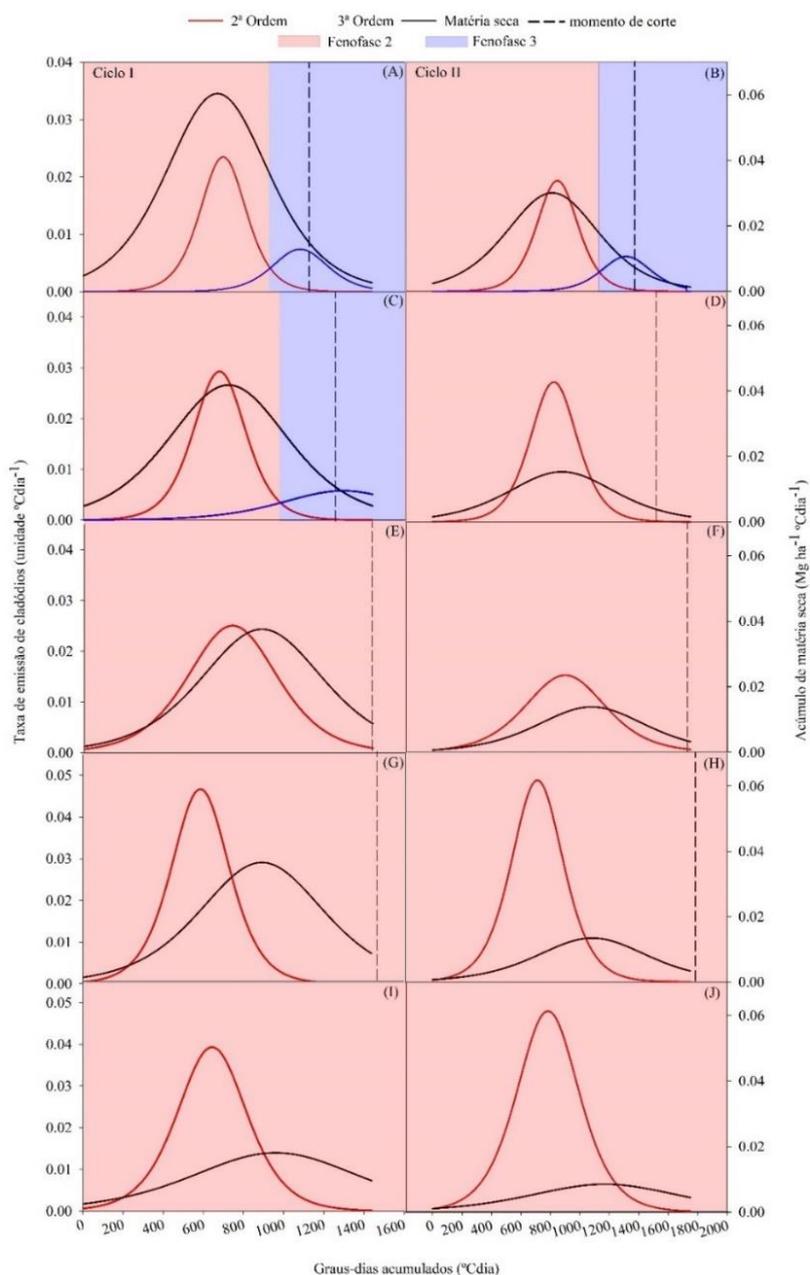


Figura 4. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, cultivado com orientação Leste-Oeste e diferentes densidades 100.000 (A e B), 50.000 (C e D), 33.333 (E e F), 25.000 (G e H) e 20.000 plantas ha⁻¹ (I e J) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

O momento de corte para palma forrageira foi reduzido quando disposto a maiores densidades. A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ apresentou um momento de corte aos 1122 °Cdia (~ 212 dias) no primeiro ciclo (Figura 4A) e no segundo ciclo (Figura 4B) um corte aos 1366 °Cdia (~248 dias). Em relação a maior densidade (100.000 plantas há⁻¹) e a menor densidade (20.000 plantas ha⁻¹) houve uma antecipação do momento de corte de aproximadamente 193,6 e 181,3 dias para o primeiro e segundo ciclo da palma forrageira, respectivamente.

A orientação de cultivo Norte-Sul também apresentou diferenças para fenologia e momento de corte (Figura 5). O primeiro ciclo da cultura apresentou apenas duas fase (fase 2 e 3 – representada pela taxa de emissão de cladódios de segunda e terceira ordem, respectivamente), para todas densidades de cultivo (Figura 5A, C, E e G), com excessão da menor densidade (20.000 plantas ha⁻¹) que só apresentou uma fenofase (fase 2), pois, a taxa de emissão de cladódios de terceira ordem, não superou a taxa de ordem anterior (Figura 5I).

A densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ (Figura 5G) necessitou de menor acúmulo de graus dias para mudar de fase, sendo 853 °Cdia (0,0043 unidade °Cdia⁻¹), porém a densidade de 100.000 plantas ha⁻¹, foi responsável pela maior taxa de emissão de cladódios de segunda e terceira ordem, sendo 0,0252 e 0,0332 unidade °Cdia⁻¹ (Figura 5A). No segundo ciclo, a palma apresentou somente taxa de emissão de cladódios de segunda ordem, caracterizando apenas a fenofase 2. A maior taxa de emissão ocorreu no tratamento de menores densidades (20.000 e 25.000 plantas ha⁻¹), com uma taxa máxima de 0,0399 e 0,0353 unidade °Cdia⁻¹.

O momento de corte da palma forrageira, com base na taxa de acúmulo de matéria seca (Figura 5), para o primeiro ciclo somente a densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ poderia antecipar a colheita para 1386 °Cdias (~ 313 dias). As densidades de 100.000, 33.333 e 20.000 plantas ha⁻¹, não necessária antecipar a colheita, porém a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ necessária de prolongamento na colheita [colher com 1704 °Cdia (~ 406,1 dias)]. No segundo ciclo houve relação inversa, sendo a densidade de 100.000 e 50.000 plantas ha⁻¹ (Figura 5B e D, nessa ordem) que ocorreu antecipação no momento de corte, sendo 1366 (~ 249 dias) e 1521 (~282 dias) °Cdia, respectivamente. Porém, para a menor densidade de cultivo, o momento de corte mostrou que necessária retardar a colheita para 2070 °Cdia (~ 429 dias).

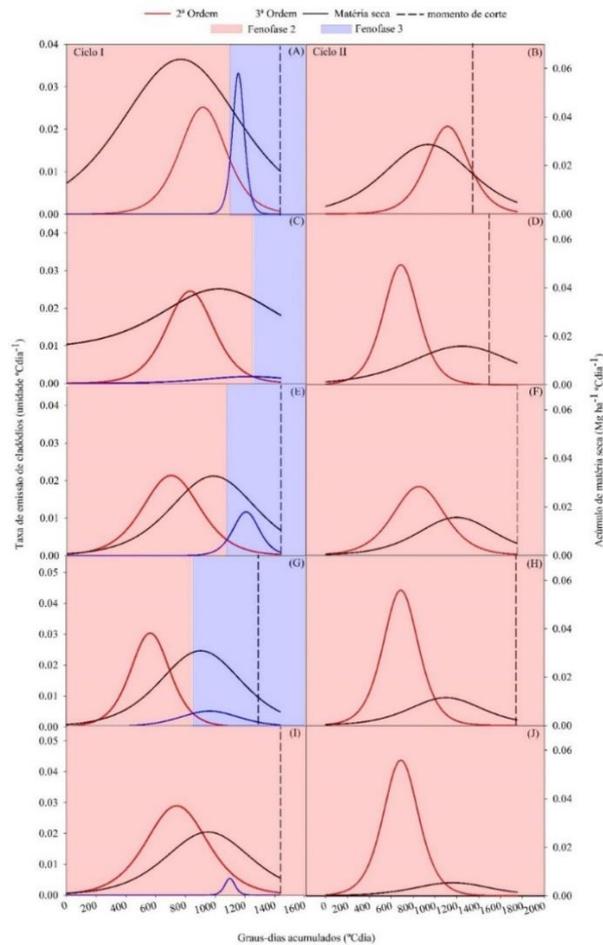


Figura 5. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana – OEM, cultivado com orientação Norte-Sul e diferentes densidades 100.000 (A e B), 50.000 (C e D), 33.333 (E e F), 25.000 (G e H) e 20.000 plantas ha⁻¹ (I e J) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

3.1.2 Dados biométricos

Análise conjunta dos experimentos de diferentes densidades de plantio com orientação de cultivo não revelou interação entre os fatores ($p < 0,05$), com isso, foram analisadas as variáveis isoladas. Para a orientação de cultivo Leste-Oeste foi possível observar que à medida que se aumentou a densidade de plantio houve aumento na altura de planta (AP) e índice de área do cladódio (IAC), diferentemente da largura de planta (LP) e do número total de cladódios (NTC) que ocorreu redução com aumento da densidade de plantas (Tabela 3). A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ obteve 105,7 cm e 82,7 cm de altura e 6,54 m² m⁻² e 5,17 m² m⁻² de IAC no primeiro e segundo ciclo de desenvolvimento, respectivamente. Para altura de planta ocorreu

incremente de 28,9% e 10,2% e para IAC foi de 100% e 126%, isto com relação a menos densidade de cultivo (20.000 plantas ha⁻¹).

A densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ exibiu um número total de cladódio médio de 24,2 e 27,3 unidades para o primeiro e segundo ciclo produtivo, respectivamente, ocorrendo um aumento de 86,1% e 100,6%, respectivamente). A largura de planta (LP) também apresentou mesmo comportamento no primeiro e segundo ciclo, sendo valor médio 70,0 cm e 62,0 nessa ordem, com aumento de 8,5% e 10,7%. Ambas variáveis foram consideradas com relação a maior densidade de plantas (100.000 plantas ha⁻¹).

Tabela 3. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes densidades de cultivo e orientação Leste-Oeste em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Variáveis	Densidades de plantas - 1º Ciclo					Equação	R ²
	20000	25000	33333	50000	100000		
AP	82,0	82,7	83,1	87,5	105,7	$y = 80,83 + 5,57x10^{-6}x + 2,43x10^{-9}x^2$	0,99
LP	70,0	67,5	66,4	65,7	64,5	$y = 73,20 - 0,0002x + 1,48x10^{-9}x^2$	0,87
NTC	24,2	22,7	20,2	19,7	13,0	$y = 25,97 - 0,0001x$	0,96
IAC	3,32	3,76	4,21	4,30	6,54	$y = 2,6994 + 3,78x10^{-5}x$	0,97
Variáveis	Densidades de plantas - 2º Ciclo					Equação	R ²
	20000	25000	33333	50000	100000		
AP	75,0	75,6	76,5	77,7	82,7	$y = 73,169 + 9,53x10^{-5}x$	0,99
LP	62,0	60,5	57,5	58,2	56,0	$y = 66,75 - 0,0003x + 1,968x10^{-9}x^2$	0,89
NTC	27,3	21,7	16,2	15,7	15,5	$y = 37,98 - 0,0007x + 5,145x10^{-9}x^2$	0,84
IAC	2,28	2,35	2,77	3,46	5,17	$y = 1,5281 + 3,674x10^{-5}x$	0,99

*Densidades de plantas (plantas ha⁻¹)

Para a orientação de cultivo Norte-Sul, nos dois ciclos produtivos da palma forrageira, foi possível observar o mesmo comportamento da orientação de cultivo Leste-Oeste (Tabela 4). A densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ apresentou média de 77,2 cm e 63,5 cm para largura de planta (LP) no primeiro e segundo ciclo de produção, respectivamente. O número total de cladódios (NTC) do primeiro e segundo ciclo foi em média 21,3 e 22,2 unidades, nessa ordem. Houve um aumento na LP de 31,7% e 28,5% e também no NTC de 21,2% e 48%, isso com relação a maior densidade de cultivo (100.000 planta ha⁻¹).

Tabela 4. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes densidades de cultivo e orientação Norte-Sul em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Variáveis	Densidades de plantas - 1º Ciclo					Equação	R ²
	20000	25000	33333	50000	100000		
AP	85,0	87,0	88,5	95,0	95,2	$y = 74,38 + 0,0006x - 3,7859 \times 10^{-9}x^2$	0,97
LP	77,2	69,5	66,8	66,7	58,6	$y = 82,78 - 0,0005x - 2,477 \times 10^{-9}x^2$	0,84
NTC	21,3	19,0	18,7	18,0	17,5	$y = 23,63 - 0,0002x - 1,191 \times 10^{-9}x^2$	0,80
IAC	2,61	2,85	3,10	4,14	4,70	$y = 2,2920 + 2,5970 \times 10^{-5}x$	0,87
Variáveis	Densidades de plantas - 2º Ciclo					Equação	R ²
	20000	25000	33333	50000	100000		
AP	76,0	77,3	80,0	81,5	86,6	$y = 74,5848 + 0,0001x$	0,94
LP	63,5	62,0	58,0	51,6	49,4	$y = 76,51 - 0,0007x - 4,395 \times 10^{-9}x^2$	0,99
NTC	22,2	20,2	18,0	17,7	15,0	$y = 25,86 - 0,0002x - 1,349 \times 10^{-9}x^2$	0,91
IAC	2,02	2,17	2,70	3,50	4,80	$y = 1,4424 + 3,4810 \times 10^{-5}x$	0,97

*Densidades de plantas (plantas ha⁻¹)

A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ apresentou maior altura de planta (AP) e índice de área do cladódio (IAC) nos dois ciclos da palma forrageira. A média de AP foi de 95,2 cm e 86,6 cm e o IAC médio de 4,70 m² m⁻² e 4,80 m² m⁻² no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Com isso apresentou um incremento na AP de 12% e 14%, e no IAC de 80% e 138%, isto com relação a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹.

3.1.3 Rendimento de forragem

Análise conjunta dos experimentos de diferentes densidades e orientações de cultivo sobre a produção de matéria fresca e seca (MF e MS, respectivamente) não apresentou interação entre os fatores ($p > 0,05$). Para o efeito da orientação de cultivo, notou-se diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para o rendimento de MS, no primeiro ciclo produtivo (Tabela 5). O primeiro ciclo (setembro/2020 a agosto/2021), o rendimento de MS foi maior na orientação Leste-Oeste (31,6 Mg ha⁻¹) com um incremento de 16% em relação a orientação Norte-Sul que teve uma média de 27,2 Mg ha⁻¹.

Tabela 5. Rendimento de massa fresca (MF, Mg ha⁻¹) e de massa seca (MS, Mg ha⁻¹) da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, sob efeito isolado da orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul em região semiárida.

Orientação	1º Ciclo		2º Ciclo	
	MF (Mg ha ⁻¹)	MS (Mg ha ⁻¹)	MF (Mg ha ⁻¹)	MS (Mg ha ⁻¹)
Leste-Oeste	405,9 a	31,6 a	208,2 a	19,9 a
Norte-Sul	398,6 a	27,2 b	200,6 a	15,6 a

*Letras minúsculas iguais na coluna não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p > 0,05$).

Os diferentes espaçamentos entre plantas com espaçamento fixo entre fileiras, ocorreu diferença significativa ($p < 0,05$) para o rendimento de MF e MS nos dois ciclos produtivos (Figura 6). Para orientação de plantio Leste-Oeste, a produção de MF e de MS foi maior para densidade de plantio de 100.000 plantas ha⁻¹, exibindo rendimentos médios de 548,9 e 40,4 Mg ha⁻¹ de MF e MS, respectivamente, para o primeiro ciclo produtivo (Figura 6A e E). Para o segundo ciclo os valores de MF e MS foram 254,1 e 24,4 Mg ha⁻¹, respectivamente (Figura 6B e F). Nesse sistema de cultivo (Leste-Oeste), a cultura apresentou um incremento de 122% e 94% de MF e de 79% e 152% de MS, nos primeiro e segundo ciclos, respectivamente, em comparação a menor densidade de cultivo (20.000 000 plantas ha⁻¹).

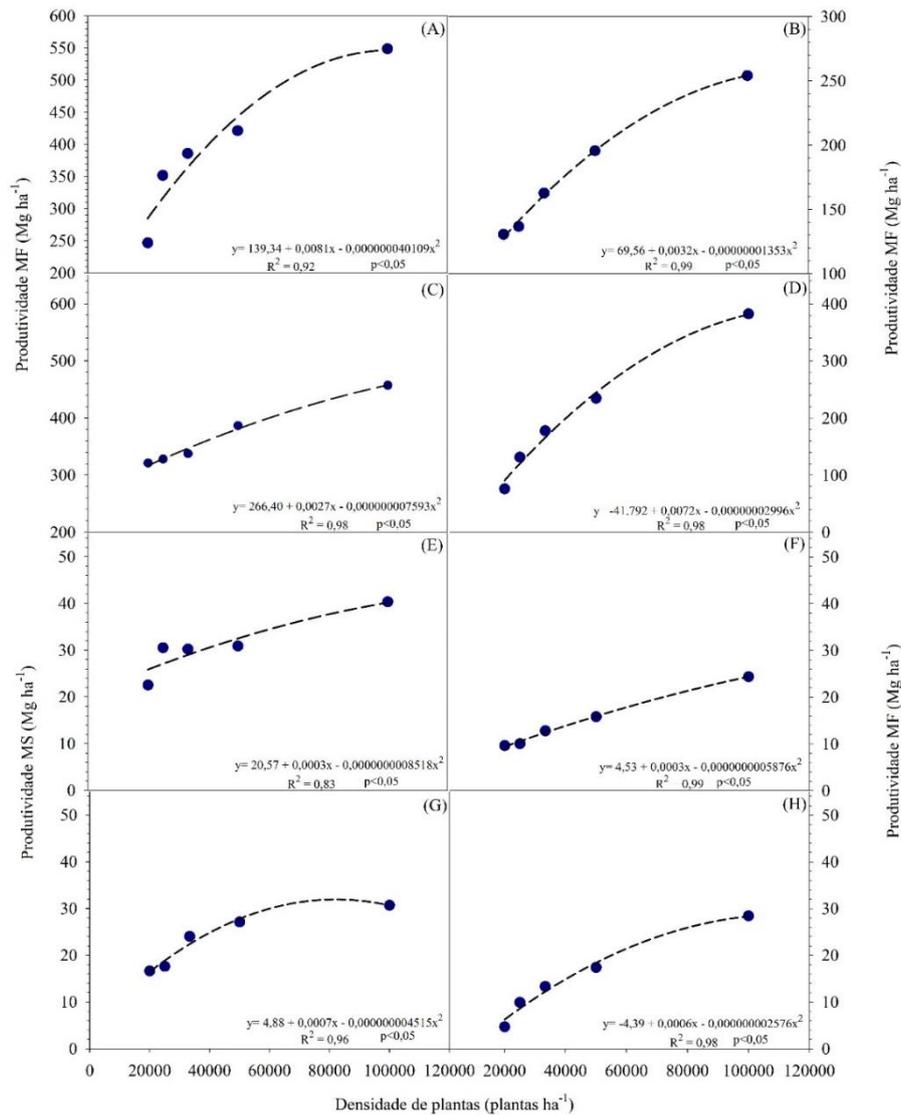


Figura 6. Rendimento de massa fresca (A, B, C e D) e de massa seca (E, F, G e H) da palma forrageira do primeiro ciclo – setembro/2020 a agosto/2021 (A, C, E e G) e do segundo ciclo – agosto/2021 a agosto/2022 (B, D, F e H), sob orientação Leste-Oeste (A, B, E e F) e Norte-Sul (C, D, G e H), cultivada sob diferentes densidades de plantio (espaçamentos entre plantas) em ambiente semiárido.

Mesmo comportamento foi observado para orientação de plantio Norte-Sul com densidade de plantio de 100.000 plantas ha⁻¹ exibindo maior produção de MF e MS, nos dois ciclos. O rendimento médio de MF e MS no primeiro ciclo (Figura 6C e G) foi de 457,3 Mg ha⁻¹ e 30,7 Mg ha⁻¹, respectivamente, enquanto o segundo ciclo (Figura 6D e H) apresentou uma produtividade média de 382,4 e 28,4 Mg ha⁻¹, respectivamente.

3.1.4 Balanço hídrico

Os componentes do balanço hídrico de água solo (BAS) foram integrados em cinco períodos (Tabela 6). O suprimento de água para a cultura da palma forrageira foi oriunda da precipitação pluviométrica (P, mm) e da irrigação (I, mm). No primeiro ciclo (343 dias), para todas as densidades de plantio, foi obtido um total de 658,2 mm e 203,9 mm, respectivamente e no segundo ciclo ocorreu maior P (910,0 mm) e I (128,4 mm). No primeiro ciclo, a maior P ocorreu no quarto período (06 de abril de 2021 a 07 de junho de 2021), com um total de 237,8. No segundo ciclo, ocorreu no terceiro período (30 de dezembro de 2021 a 09 de março de 2022), sendo 347,9 mm. O primeiro período nos dois ciclos da cultura ocorreu maiores irrigações, sendo 98,2 mm e 75,5 mm, respectivamente.

Nos dois ciclos da palma forrageira ocorreu perda por escoamento superficial (R), sendo -79,0 mm e -96,1, respectivamente. A maior perda por R no primeiro ciclo, ocorreu no 4º período, e o segundo ciclo foi no terceiro período, correspondendo a 61% e 51% do R total, respectivamente, coincidindo com os períodos de maiores P. A densidade de fluxo da água mostrou que também ocorreu perda de água por drenagem profundo (DP), com variação entre as densidades de cultivo. A densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ apresentou maior DP de -127,5 mm no primeiro ciclo, e no segundo ciclo foi a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ (-58,1 mm). A ascensão capilar (AC) foram encontrados valores médios baixos no primeiro e segundo ciclo, com 3,93 e 0,79 mm, respectivamente.

A variação de armazenamento de água no solo (ΔA) foi negativa no final do primeiro ciclo, para densidades de 100.000 e 50.000 plantas ha⁻¹ (-4,53 e -21,8 mm, respectivamente), e a maior ΔA positiva foi na densidade de 25.000 plantas ha⁻¹. No segundo ciclo para densidade de 50.000 plantas ha⁻¹, ocorreu armazenamento positivo (11,8 mm). A evapotranspiração real (ET_r) foi maior no segundo ciclo para todas densidades de plantio, com destaque a densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ (960,1 mm – 2,65 mm dia⁻¹), com diferença de 89,0 mm, em relação a densidade de 50.000 plantas ha⁻¹. Essa densidade também apresentou maior ET_r no primeiro ciclo (783,5 mm – 2,50 mm dia⁻¹). O período de maior ET_r nos dois ciclos foi terceiro e quarto período, com média de 208,0 e 308 mm, coincidindo com os maiores eventos de precipitação pluviométrica.

Tabela 6. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Leste-Oeste, em ambiente semiárido.

Componentes do BAS	Densidade de plantio	*1º Ciclo – Períodos					2º Ciclo – Períodos						
		1	2	3	4	5	Total	1	2	3	4	5	Total
Dias	-	63	63	63	63	63	315	70	70	70	70	77	357
P (mm)	-	112,0	54,9	214,2	237,8	34,8	658,2	12,7	208,5	347,9	237,7	103,2	910,0
I (mm)	-	98,2	37,8	15,1	7,60	45,3	203,8	75,5	52,9	0,00	0,00	0,00	128,4
R (mm)	-	11,3	3,20	14,9	48,1	1,50	79,0	0,17	18,1	48,7	22,2	7,00	96,1
AC(mm)	20.000	0,00	0,21	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,02	0,01	0,61	0,00	0,64
	25.000	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,05
	33.333	3,87	2,95	1,64	4,12	1,24	13,8	0,71	0,12	0,34	0,31	0,05	1,52
	50.000	0,16	0,17	0,07	0,30	0,03	0,73	0,05	0,07	0,19	0,01	0,00	0,32
	100.000	1,59	0,01	0,08	2,16	0,08	3,93	0,24	0,14	0,22	0,19	0,00	0,79
DP (mm)	20.000	27,6	10,2	12,8	62,7	14,2	127,5	13,5	4,52	6,80	6,70	3,50	35,4
	25.000	0,54	0,46	0,44	2,32	0,24	4,01	0,18	0,20	0,36	0,95	0,00	1,70
	33.333	0,15	0,00	0,57	17,8	1,07	19,6	1,73	0,18	1,17	2,98	9,71	15,8
	50.000	36,2	18,1	5,19	40,5	0,10	100,2	0,08	0,36	4,45	9,61	45,6	58,1
	100.000	0,78	1,85	1,06	2,75	1,57	8,01	0,42	0,01	0,18	0,29	0,00	0,90
ΔA (mm)	20.000	-6,95	4,15	0,35	-8,66	17,6	6,50	-21,0	26,4	6,70	-37,4	17,4	-21,3
	25.000	-7,23	5,73	-6,02	-12,2	24,8	5,07	-24,1	26,9	-4,18	-35,8	17,8	-19,5
	33.333	-3,73	4,02	4,51	--11,1	18,7	6,54	-16,6	22,6	4,64	-42,4	26,4	-5,31
	50.000	-8,10	-4,39	8,00	-16,0	-1,32	-21,8	-7,50	36,5	-5,18	-33,2	21,2	11,8
	100.000	-15,6	10,0	7,00	-16,1	10,1	-4,53	-17,7	28,7	-7,95	-32,0	12,9	-16,0
ETr (mm)	20.000	178,1	79,8	201,3	143,1	46,9	649,2	95,5	212,4	299,1	246,5	75,3	928,8
	25.000	205,5	87,7	220,0	207,1	53,5	774,0	120,0	216,2	303,1	250,4	78,4	958,1
	33.333	206,3	92,8	211,0	194,7	65,9	770,8	103,6	220,6	293,7	255,2	60,1	933,3
	50.000	170,8	80,3	201,3	173,0	79,9	705,4	85,8	173,7	337,4	238,0	39,3	874,2
	100.000	215,2	82,1	206,5	212,7	67,0	783,5	105,2	214,7	307,2	247,4	83,3	960,1

*1º Ciclo – Períodos: 1 = 28/09/20 à 30/11/20; 2 = 01/12/20 à 01/02/21; 3 = 02/02/21 à 05/04/21; 4 = 06/04/21 à 07/06/21; 5 = 08/06/21 à 11/08/21. 2º Ciclo: 1 = 11/08/21 à 20/10/21; 2 = 21/10/21 à 29/12/21; 3 = 30/12/21 à 09/03/22; 4 = 10/03/22 à 18/05/22; 5 = 19/05/22 à 03/08/2022. Densidade de plantio (plantas ha⁻¹). P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real. Obs: valores de DP e ETr são negativos.

As diferentes densidades (espaçamento entre plantas) com orientação de cultivo Norte-Sul (Tabela 7) apresentou diferente comportamento dos componentes do balanço de água no solo (BAS). A cultura da palma forrageira recebeu água através da precipitação pluviométrica

e irrigação, sendo 862,0 mm no primeiro ciclo (658,2 mm de P e 203,8 mm de I), no segundo ciclo apresentou 1.045 mm (910,0 mm de P e 135,1 mm de I). O escoamento superficial foi 79,0 mm e 98,6 mm para primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

Tabela 7. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas) em orientação de plantio Norte-Sul, em ambiente semiárido.

Componentes do BAS	Densidade de plantio	*1º Ciclo – Períodos					2º Ciclo – Períodos						
		1	2	3	4	5	Total	1	2	3	4	5	Total
Dias	-	63	63	63	63	63	315	70	70	70	70	77	357
P (mm)	-	112,0	54,9	214,2	237,8	34,8	658,2	12,7	208,5	347,9	237,7	103,2	910,0
I (mm)	-	98,2	37,7	15,1	7,55	45,3	203,8	79,5	55,6	0,00	0,00	0,00	135,1
R (mm)	-	11,3	3,24	14,8	48,1	1,42	79,0	0,17	18,1	53,1	21,6	5,49	98,6
AC (mm)	20.000	3,03	1,08	5,93	31,3	2,55	43,9	6,52	9,08	17,1	11,5	4,24	48,4
	25.000	9,75	9,58	12,9	3,71	2,85	38,9	1,72	1,15	3,32	3,56	1,38	11,1
	33.333	5,61	15,0	18,6	22,3	1,35	62,9	2,78	2,67	11,7	6,98	1,01	25,1
	50.000	0,91	0,07	0,00	0,99	0,90	2,87	0,83	0,92	1,13	0,46	0,37	3,70
	100.000	0,72	0,86	0,57	0,62	0,31	3,08	0,21	0,16	0,22	0,34	0,08	1,01
DP (mm)	20.000	0,04	0,02	0,24	5,48	0,05	5,83	0,00	2,43	0,00	1,89	0,89	5,21
	25.000	0,45	1,93	0,10	6,61	0,27	9,35	0,03	0,26	7,96	2,77	0,64	11,7
	33.333	4,93	3,94	0,88	6,45	0,03	16,24	0,00	0,31	0,00	0,84	0,33	1,48
	50.000	2,79	6,01	10,5	9,91	0,00	29,2	0,00	0,00	3,00	0,21	0,07	3,28
	100.000	1,13	0,77	0,40	6,66	0,52	9,48	0,05	0,08	1,30	1,65	0,69	3,77
ΔA (mm)	20.000	2,99	6,07	11,6	-15,8	7,30	6,17	-4,66	34,7	-2,71	-33,3	26,9	20,9
	25.000	2,32	-2,07	5,45	-12,1	-6,38	-12,8	-5,42	39,9	-4,41	-38,0	24,9	16,9
	33.333	4,23	11,2	-7,40	-22,1	4,13	9,93	-17,9	36,4	-2,00	-40,3	29,70	5,92
	50.000	12,8	7,82	1,02	-17,8	-15,2	-11,3	-4,16	31,5	-1,96	-26,7	21,6	20,3
	100.000	-12,5	10,2	8,12	-18,8	0,38	-12,3	10,7	29,9	4,02	-34,5	23,3	12,1
ETr (mm)	20.000	204,8	88,9	208,5	238,9	73,8	815,0	103,2	215,4	317,1	255,3	77,3	968,3
	25.000	205,8	103,6	221,8	206,5	87,6	825,3	99,1	204,4	297,1	251,2	76,7	928,5
	33.333	195,3	93,8	239,6	235,2	75,8	839,6	112,7	209,3	311,0	258,9	71,7	963,7
	50.000	184,1	80,2	203,0	206,1	94,7	768,1	97,0	212,8	297,4	239,4	79,5	926,1
	100.000	210,9	83,8	206,5	209,7	78,0	789,0	102,9	213,6	292,2	245,6	76,9	931,2

*1º Ciclo – Períodos: 1 = 28/09/20 à 30/11/20; 2 = 01/12/20 à 01/02/21; 3 = 02/02/21 à 05/04/21; 4 = 06/04/21 à 07/06/21; 5 = 08/06/21 à 11/08/21. 2º Ciclo: 1 = 11/08/21 à 20/10/21; 2 = 21/10/21 à 29/12/21; 3 = 30/12/21 à 09/03/22; 4 = 10/03/22 à 18/05/22; 5 = 19/05/22 à 08/08/2022. Densidade de plantio (plantas ha⁻¹). P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real. Obs: valores de R, DP e ETr são negativos.

A densidade de fluxo de água no solo, mostrou que nos dois ciclos de produção ocorreu ascensão capilar (AC) e drenagem profunda. As densidades de 50.000 e 100.000 planta ha⁻¹ obtiveram menor AC, sendo 2,87 mm e 3,08 mm no primeiro ciclo e 3,70 mm e 1,01 mm no segundo ciclo, respectivamente. Maiores valores médios foram obtidos pelas menores densidades (20.000, 25.000 e 33.333 plantas ha⁻¹), sendo 43,9, 38,9 e 62,9 mm (primeiro ciclo) e 48,4, 11,1 e 25,1 mm (segundo ciclo). A perda de água por drenagem profunda, ocorreu na densidade de 33.333 plantas ha⁻¹ (16,4 mm) no ciclo um, e no ciclo dois a densidade de 25.000 plantas ha⁻¹ (11,1 mm).

O componente armazenamento de água no solo (ΔA), apresentou valores negativos para densidades de cultivo no primeiro ciclo, com exceção das densidades de 20.000 e 33.000 plantas ha⁻¹, sendo 6,17 mm e 9,93 mm, respectivamente. No segundo a densidade que apresentou maior armazenamento de água foi de 20.000 plantas ha⁻¹ (20,9 mm). O resíduo do BAS que é a ETr apresentou variação em relação as densidades de plantio, com maior ETr na densidade de 33.333 plantas ha⁻¹ (839,6 mm) no primeiro ciclo e no segundo ciclo a densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (968,3 mm).

3.1.5 Indicadores hídricos-econômicos

Densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ foi portadora de maiores valores dos benefícios econômicos, como receita, custo de oportunidade (CO), margem bruta (MB) e margem líquida (ML), sendo 15805,8, 20873,2, 15161,2 e 9452,7 US\$, respectivamente. Esse mesmo comportamento pode-se observar no segundo ciclo produtivo, sendo 9397,6, 20873,3, 8752,9 e 6657,4 US\$ para receita, CO, MB e ML, nesta ordem (Tabela 8).

Os indicadores hídricos mostraram que a densidade de 100.000 plantas ha⁻¹, apresentou maior relação dos indicadores hídricos nos dois ciclos produtivos, como eficiência do uso da água, ou também fração consecutiva do uso da água (EUAc) que foi de 0,91 e 0,92 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹. A eficiência do uso da água com base na biomassa seca (EUAc) foi de 5,67 e 2,90 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹ para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Se tratando da produtividade da água com base na soma da precipitação e irrigação (*PAc) e na soma da evapotranspiração real (ETr), também foi maior para densidade de 100.000 plantas ha⁻¹, sendo 45,15 e 4,68 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, para o primeiro ciclo respectivamente e 2,63 e 2,43 ha⁻¹ m³ ha⁻¹, nesta ordem para o segundo ciclo. A produtividade da água de irrigação foi 19,8 e 19,7 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹ para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

A maior densidade de plantio (100.000 plantas ha⁻¹ apresentou maiores índices, isto para os dois ciclos estudados. Com isso, produtividade bruta econômica da água de irrigação

(PBEAi) foi de 7,44 e 6,82 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, produtividade líquida econômica da água de irrigação (PLEi) foi de 4,64 e 6,82 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, produtividade econômica da água da cultura (PEAc) foi de 2,42 e 2,01 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹ e produtividade econômica da água via irrigação foi de 10,2 e 16,3 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, no primeiro e segundo ciclo respectivamente.

Tabela 8. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Leste-Oeste.

Indicadores	1º Ciclo					2º Ciclo				
	100000	50000	33333	25000	20000	100000	50000	33333	25000	20000
	Plantas ha ⁻¹					Plantas ha ⁻¹				
Receita (US\$)	15805,8	12135,0	11114,4	10131,5	7115,6	9397,6	5637,5	5589,2	5011,6	4051,7
CO (US\$)	20873,2	14755,3	14395,2	12955,8	10508,6	20873,3	18714,0	11756,1	10436,6	14254,4
MB (US\$)	15161,2	11490,4	10.469,7	9486,8	6471,0	8752,9	4992,9	4944,5	4366,9	3407,1
ML (US\$)	9452,7	7701,2	7320,4	6657,4	3833,5	8752,9	4992,9	4944,5	4366,9	3407,1
EUAc	0,91	0,82	0,89	0,90	0,75	0,92	0,84	0,90	0,92	0,89
*EUAc	5,67	4,60	4,05	4,05	3,55	2,90	1,80	1,52	1,42	1,27
PAc	5,15	4,38	3,92	3,95	3,48	2,63	1,71	1,47	1,42	1,25
*PAc	4,68	3,59	3,51	3,54	2,62	2,43	1,44	1,32	1,30	1,11
Pai	19,8	15,2	14,8	15,0	11,1	19,7	11,7	10,7	10,6	9,00
PBEAi	7,44	5,64	5,14	4,65	3,17	6,82	3,89	3,85	3,40	2,65
PLEi	4,64	3,78	3,59	3,27	1,88	6,82	3,89	3,85	3,40	2,65
PEAc	2,42	1,71	1,67	1,50	1,22	2,01	1,80	1,13	1,00	1,37
PEAi	10,2	7,24	7,06	6,40	5,20	16,3	14,6	9,16	8,13	11,1

*CO = custos de oportunidade; MB = margem bruta; ML = margem líquida; EUAc e *EUAc = eficiência do uso da cultura (m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹ e kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, nesta ordem); PAc e *PAc = produtividade da água da cultura (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PAi = produtividade da água via irrigação (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PBEAi = produtividade bruta econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PLEi = produtividade econômica líquida da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAc = produtividade econômica da água da cultura (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAi = produtividade econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

As densidades de plantio com orientação Norte-Sul apresentaram diferentes valores de benefício econômico e dos indicadores hídrico-econômico. A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ obteve maior receita de 13165,2 e 11011,0 US\$ no primeiro e segundo ciclo produtivo, respectivamente, se tratando para venda de forragens. Para essa mesma densidade apresentou uma MB e ML de 1250,2 e 6811,9 US\$ no primeiro e segundo ciclo, e no segundo ciclo apresentou 10366,4 US\$ para ambos, respectivamente.

A eficiência do uso da água com relação a razão da ETr e soma da precipitação e irrigação apresentou média de 0,94 e 0,90 m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹ no primeiro e segundo ciclo. As eficiências hídrico-econômicas também foram maiores para a densidade de 100.000 plantas ha⁻¹, sendo *EUAc (5,4 e 3,6 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹), PAc (4,9 e 3,3 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹), *PAc (4,5 e 2,9 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) e PAi (19,0 e 22,5 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹), respectivamente. Os índices econômicos também foram maiores na densidade de 100.000 plantas ha⁻¹: PBEAi (6,1 e 7,7 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹), PLEi (3,3 e 7,7 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹), PEAc (4,7 e 3,8 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) e PEAi (19,8 e 29,8 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) no primeiro e segundo ciclo, nesta ordem.

Tabela 9. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre plantas) com orientação de plantio Norte-Sul.

Indicadores	1º Ciclo					2º Ciclo				
	100000	50000	33333	25000	20000	100000	50000	33333	25000	20000
hídricos e econômicos	Plantas ha ⁻¹					Plantas ha ⁻¹				
Receita (US\$)	13165,2	11131,9	10179,8	10032,4	9250,2	11011,0	6759,2	5120,1	3789,7	2197,0
CO (US\$)	40307,1	20163,5	14075,4	10316,7	12884,1	40307,1	26871,4	16314,6	14635,3	13243,8
MB (US\$)	1250,2	10487,3	9535,2	9387,8	8605,5	10366,4	6114,5	4475,5	3145,1	1552,4
ML (US\$)	6811,9	6689,1	6385,8	6558,3	5968,0	10366,4	6114,5	4475,5	3145,1	1552,4
EUAc	0,92	0,89	0,97	0,96	0,95	0,89	0,88	0,92	0,89	0,92
*EUAc	5,4	4,4	3,1	2,9	2,5	3,6	2,3	1,6	1,1	0,5
PAc	4,9	4,2	3,0	2,8	2,4	3,3	2,2	1,5	1,1	0,5
*PAc	4,5	3,7	2,9	2,7	2,3	2,9	1,9	1,4	1,0	0,5
PAi	19,0	15,8	12,4	11,3	9,8	22,5	14,9	10,9	7,6	3,7
PBEAi	6,1	5,1	4,7	4,6	4,2	7,70	4,50	3,30	2,30	1,10
PLEi	3,3	3,3	3,1	3,2	2,9	7,70	4,50	3,30	2,30	1,10
PEAc	4,7	2,3	1,6	1,2	1,4	3,80	2,60	1,60	1,40	1,30
PEAi	19,8	9,9	6,9	5,1	6,0	29,8	19,9	12,1	10,8	9,80

*CO = custos de oportunidade; MB = margem bruta; ML = margem líquida; EUAc e *EUAc = eficiência do uso da cultura (m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹ e kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, nesta ordem); PAc e *PAc = produtividade da água da cultura (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PAi = produtividade da água via irrigação (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PBEAi = produtividade bruta econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PLEi = produtividade econômica líquida da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAc = produtividade econômica da água da cultura (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAi = produtividade econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

3.2 Efeito da densidade alterada pelo espaçamento entre fileiras

3.2.1 Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte

O comportamento dos índices morfofisiológicos foi influenciado pelo diferentes espaçamentos entre fileiras. A densidade de 50.000 plantas ha^{-1} esboçou as maiores taxas de TCA, tanto ao início do ciclo, como no decorrer do mesmo, sendo 0,0431 (404 °Cdia) e 0,0115 (557 °Cdia) $Mg\ ha^{-1}\ ^{\circ}Cdia^{-1}$ para o primeiro e segundo ciclo (Figura 7A e B), nesta ordem.

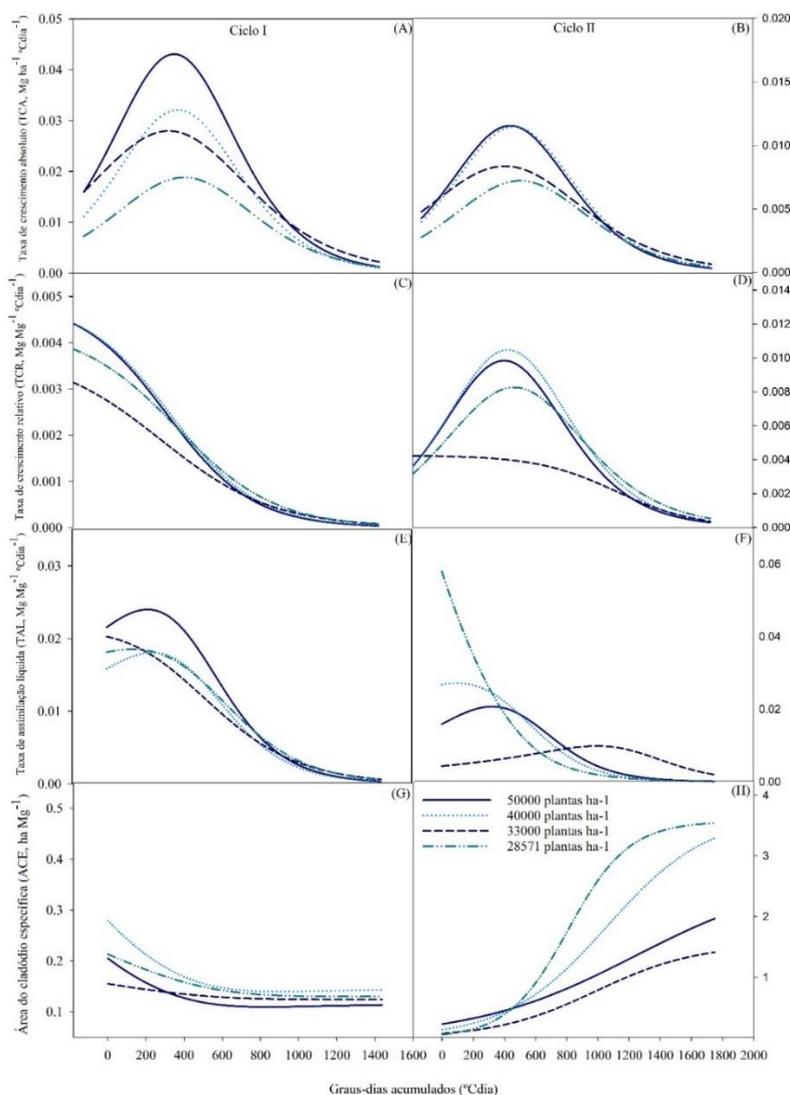


Figura 8. Índices morfofisiológicos [TCA – taxa de crescimento absoluto (A e B), TCR – taxa de crescimento relativo (C e D), TAL – taxa de assimilação líquida (E e F) e área do cladódio específica (G e H)] da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) cultivada sob diferentes densidades de plantio (diferentes espaçamentos entre fileiras) em ambiente semiárido.

A menor densidade de cultivo (28.571 plantas ha^{-1}) esboçou menores TCA, sendo 0,0188 e 0,0072 $Mg\ ha^{-1}\ ^{\circ}Cdia^{-1}$ no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Maiores taxas

da TCR ocorreram no início do desenvolvimento da cultura, sendo as densidades de 40.000 e 50.000 plantas ha⁻¹ com as maiores taxas no primeiro ciclo (0,00442 e 0,00441 Mg Mg⁻¹ ha⁻¹, respectivamente). Diferentemente no segundo ciclo, maior TCR ocorreu entre 400 e 600 GDA para todas as densidades, com destaque 40.000 e 50.00 plantas ha⁻¹ que esboçou maiores taxas (0,0105 e 0,0098 Mg Mg⁻¹ ha⁻¹, nesta ordem).

A taxa de assimilação líquida (TAL) do primeiro ciclo (Figura 9E) apresentou maiores taxas no início do ciclo, com excessão da maior densidade (50.000 plantas ha⁻¹) que foi aos 214 °Cdia, essa mesma densidade foi responsável por apresentar a maior taxa de 0,00239 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Porém a TAL no segundo ciclo apresentou comportamento inverso, sendo a menor densidade de plantas (28.571 plantas ha⁻¹) detentora da maior taxa 0,05795 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹.

O primeiro ciclo apresentou maiores taxas da ACE no início do ciclo para todas as densidades, e quando atingido 700 °Cdia a taxa permaneceu constante (Figura 8G). A densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ obteve maior taxa, sendo 0,279 ha Mg⁻¹. Essa taxa foi menor no segundo ciclo, com taxas menores no início do desenvolvimento da cultura, e maiores no final do ciclo da cultura para todas densidades (Figura 8H), sendo 28.571 plantas ha⁻¹ (menor densidade) detentora da maior ACE, sendo 3,54 ha Mg⁻¹ (1749 °Cdia).

A cultura da palma forrageira apresentou duas fenofases (fase 2 e 3) para as densidades de 50.000, 40.000 e 33.000 plantas ha⁻¹ (Figura 9A, C e E), com excessão da menor densidade de plantio (28.571 plantas ha⁻¹) que apresentou somente a fase 2 (Figura 9G), isso no primeiro ciclo. Diferentemente do primeiro ciclo, o segundo ciclo expôs apenas a fenofase 2 (representada apenas pela emissão de cladódios de segunda ordem).

Para mudança de fases nesses tratamentos foi necessário um acúmulo médio de 1161 °Cdia (~223 dias). A maior taxa de emissão de cladódios de segunda ordem ocorreu na densidade de 28.571 plantas ha⁻¹ (0,0769 unidade °Cdia), e a máxima emissão de cladódios de terceira ordem, ocorreu para densidade de 50.000 plantas ha⁻¹ (0,00103 unidade °Cdia), isso para o primeiro ciclo. A taxa de emissão de cladódios no segundo ciclo teve aumento a partir de 300 °Cdia até atingir máxima emissão. Menores densidades (28.571 e 33.000 plantas ha⁻¹) foram detentoras de maiores taxas (Figura 9H e F), sendo 0,0927 e 0,0336 unidade °Cdia⁻¹, respectivamente.

O momento de corte pode ser realizado antes da emissão de cladódios de terceira ordem. As densidades de 50.000, 40.000, 33.000 e 28.571 plantas por ha⁻¹, apresentaram antecipação de 976 (~185 dias), 1215 (~237 dias), 1349 (~288 dias) e 1337 (~285 dias) °Cdia, respectivamente, reduzindo em média 105 dias (com relação a duração de dias do primeiro ciclo). No segundo ciclo o momento de corte em média para as diferentes densidades estudadas

foi de 1272 (~229 dias), havendo uma antecipação de aproximadamente 134 dias, com relação a duração de dias do segundo ciclo.

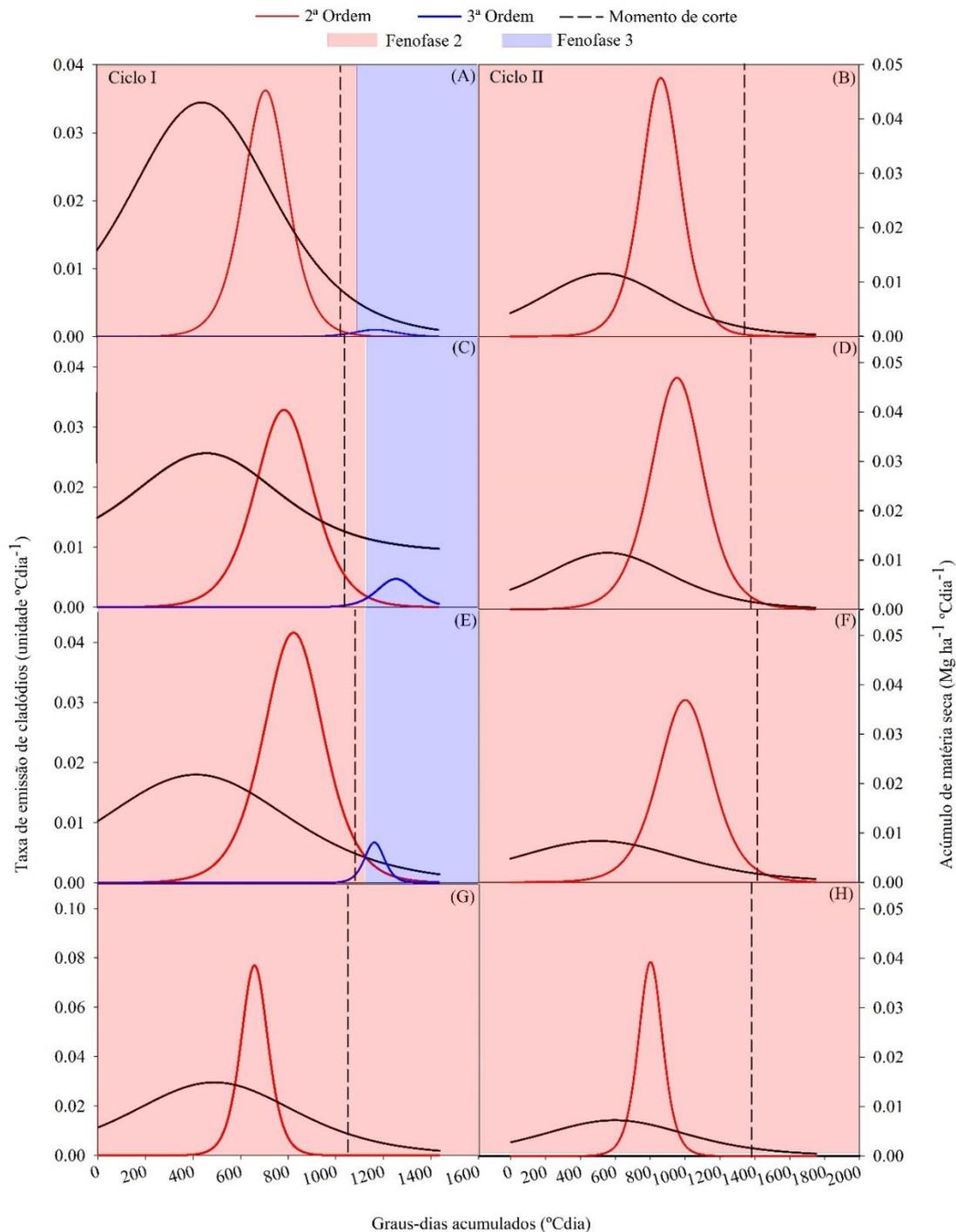


Figura 9. Fenofases (fenofase 2 e fenofase 3) e momento de corte do crescimento absoluto da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, cultivada com direntes densidades 50.000 (A e B), 40.000 (C e D), 33.333 (E e F) e 28.571 plantas ha⁻¹ (G e H) no primeiro (09/2020 – 08/2021) e segundo ciclo produtivo (08/2021 – 08/2022) em ambiente semiárido.

3.2.2 Dados biométricos

Densidade de 28.571 plantas ha⁻¹ resultou em maior AL, LP e NTC nos dois ciclos de produção. A palma forrageira apresentou em média 88,5 cm e 87,5 cm para AP, 76,8 cm e 76,2 cm de LP, e 20,7 e 22,5 unidades de cladódio, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Com relação ao IAC, esse comportamento foi diferente sendo a densidade de 100.000 plantas há⁻¹, responsável pela obtenção da maior média (4,02 m² m⁻² e 3,11 m² m⁻², primeiro e segundo ciclo, respectivamente).

Tabela 10. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidades) e índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) em dois ciclos de produção da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) sob diferentes espaçamentos entre fileiras em Serra Talhada – PE, região semiárida brasileira.

Variáveis	Densidades de plantas – 1º Ciclo					Equação	R ²
	28571	30000	40000	50000			
AP	88,5	86,7	86,0	82,7		y = 95,7174-0,0003x	0,96
LP	76,8	74,2	64,4	54,2		y = 108,9098-0,0011x	0,98
NTC	20,7	19,0	15,7	13,2		y = 30,5331-0,0004x	0,98
IAC	2,27	3,70	3,79	4,02		y = -9,4274+0,0004x-6,929x10 ⁻⁹ x ²	0,85
Variáveis	Densidades de plantas – 2º Ciclo					Equação	R ²
	28571	30000	40000	50000			
AP	77,7	76,0	74,5	70,0		y = 87,7645-0,0003x	0,97
LP	76,2	73,9	68,5	58,9		y = 100,4976-0,0008x	0,98
NTC	22,5	20,0	19,5	15,7		y = 30,42-0,0003x	0,94
IAC	2,56	2,84	3,10	3,11		y = -1,0064+0,0002x-1,931x10 ⁻⁹ x ²	0,99

*Densidades de plantas (plantas há⁻¹)

3.2.3 Rendimento de forragem

As diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras), apresentou comportamento similar, para produtividade de MF e MS nos dois ciclos produtivos, sendo maiores produtividades na maior densidade de plantio (50.000 plantas há⁻¹). O primeiro ciclo da palma forrageira obteve produtividade média de 376,0 Mg há⁻¹ e 34,2 Mg há⁻¹ de MF e MS, respectivamente, e de 207,4 Mg há⁻¹ e 17,0 Mg há⁻¹ de MF e MS, respectivamente, a menor densidade (28.571 plantas há⁻¹). O incremento produtivo de MF e MS foi na ordem de 81% e

101%, respectivamente. O segundo ciclo obteve produtividade de MF de 155,3 Mg há⁻¹ e 100,4 Mg há⁻¹ para densidades de 50.000 e 28.571 plantas há⁻¹, respectivamente, com incremento produtivo de 54%. A produção de MS foi de 12,9 Mg há⁻¹ e 7,60 Mg há⁻¹ na maior e menor densidades de plantio, com um incremento de 70% (Figura 10).

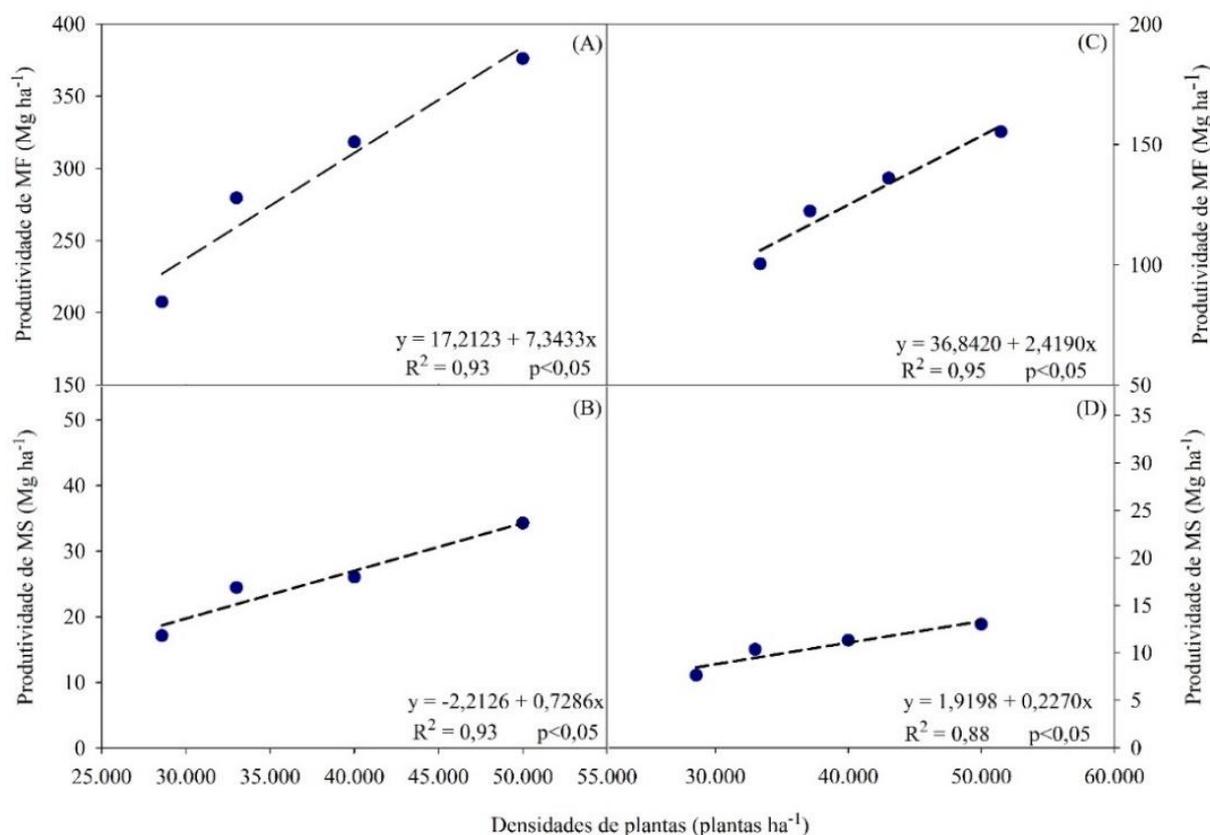


Figura 10. Produtividade de massa fresca (MF) e de massa seca (MS) do primeiro ciclo (A e B) e do segundo ciclo (C e D) produtivo da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras) em ambiente semiárido.

3.2.4 Balanço de água no solo

Quando a palma forrageira foi submetida a diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras), observou-se uma pequena variação nos componentes do BAS nos dois ciclos da cultura (Tabala 11). A precipitação e a irrigação foi igual para os diferentes tratamentos, diferenciando apenas pelo ciclo, onde o primeiro foi de 658,2 mm e o segundo foi de 912,2 mm. Com relação aos diferentes períodos, a P foi maior no quarto período (237,8 mm – 1º ciclo e no terceiro ciclo (343,7 mm – 2º ciclo), já os eventos de irrigação foram menores quando ocorreu P.

Tabela 11. Componentes do balanço de água no solo (BAS) de dois ciclos de produção de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), sob diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras), em ambiente semiárido.

Componentes do BAS	Densidade de plantio	*1º Ciclo – Períodos					2º Ciclo – Períodos						
		1	2	3	4	5	Total	1	2	3	4	5	Total
Dias	-	63	63	63	63	70	322	70	70	70	70	77	357
P (mm)	-	112,0	59,4	214,2	237,8	34,8	658,2	62,2	167,5	343,7	234,6	104,2	912,2
I (mm)	-	110,5	42,5	17,0	8,5	59,5	238,0	76,5	59,5	0,00	0,00	0,00	0,00
R (mm)	-	11,3	3,24	14,8	48,1	1,50	79,0	4,83	15,1	49,8	24,0	6,66	100,4
AC (mm)	28.571	21,6	20,3	0,08	1,01	0,19	43,18	0,15	0,19	0,04	0,00	0,12	0,00
	33.000	1,05	30,1	17,8	33,3	14,6	96,8	23,1	16,3	17,8	9,50	28,0	94,7
	40.000	1,10	0,51	0,24	2,12	0,27	4,25	0,39	0,22	2,49	0,38	0,00	3,48
	50.000	0,14	4,24	2,15	6,80	0,83	14,2	2,61	1,53	6,45	1,18	3,96	15,7
DP (mm)	28.571	0,35	0,00	2,11	10,4	4,75	17,6	3,31	1,35	3,81	2,56	0,36	11,4
	33.000	28,3	1,65	0,00	0,00	0,15	30,1	0,06	0,08	0,00	0,00	0,00	0,14
	40.000	15,4	13,1	15,4	17,9	18,7	80,5	18,4	16,3	20,2	5,91	9,75	70,5
	50.000	9,31	5,30	3,96	46,0	9,50	74,0	8,22	6,73	8,32	5,26	24,3	52,8
ΔA (mm)	28.571	-10,7	8,90	13,5	-18,7	17,2	10,2	1,64	7,41	-6,46	-34,2	44,1	12,5
	33.000	-6,14	8,00	12,2	-21,0	13,4	6,50	-1,36	10,8	-3,64	-30,7	35,9	11,0
	40.000	1,12	9,95	-8,35	-10,3	16,7	9,14	6,07	-1,85	4,22	-40,9	49,2	16,7
	50.000	-2,32	-0,25	0,64	-13,0	14,0	-0,82	2,97	-0,64	-4,89	-20,7	36,9	13,7
ETr (mm)	28.571	243,2	110,1	200,9	207,5	71,0	832,6	129,1	203,4	296,6	242,4	53,0	924,4
	33.000	190,1	119,1	221,9	252,4	93,8	877,4	158,2	217,3	315,3	250,8	89,7	1031,3
	40.000	195,8	76,1	209,5	192,7	57,7	731,1	109,8	197,6	272,0	246,0	38,6	864,1
	50.000	204,3	97,9	213,9	171,9	70,1	758,1	125,3	207,3	296,9	227,2	40,3	897,0

*1º Ciclo – Períodos: 1 = 28/09/20 à 30/11/20; 2 = 01/12/20 à 01/02/21; 3 = 02/02/21 à 05/04/21; 4 = 06/04/21 à 07/06/21; 5 = 08/06/21 à 11/08/21. 2º Ciclo: 1 = 16/08/21 à 25/10/21; 2 = 26/10/21 à 03/01/22; 3 = 04/01/22 à 14/03/22; 4 = 15/03/22 à 23/05/22; 5 = 24/05/22 à 08/08/2022. Densidade de plantio (plantas ha⁻¹). P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real. Obs: valores de R, DP e ETr são negativos.

Ocorreu variação no componente AC sendo a densidade de 33.000 plantas ha⁻¹ detentora das maiores médias (96,8 e 94,7 mm no primeiro e segundo ciclo, respectivamente). A maior perda de água por DP foi na densidade de 40.000 plantas ha⁻¹ sendo -80,5 e -70,5 mm sendo respectivamente o primeiro e segundo ciclo da cultura. A perda de água por escoamento superficial foi de -79,0 e 100,4 mm para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente.

A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi positivo para as densidades estudadas, com exceção a de 50.000 plantas ha^{-1} que foi negativo (-0,82 mm) para o primeiro ciclo. O segundo ciclo da cultura apresentou uma média de armazenamento de 13,5 mm. A ETr também apresentou variação com relação as diferentes densidades de cultivo. A densidade de 33.000 plantas ha^{-1} apresentou maior ETr no primeiro ciclo 877,4 mm e no segundo ciclo 1031,3 mm.

3.2.5 Indicadores hídrico-econômicos

Os valores médios dos benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos para dois ciclos da palma forrageira com diferentes densidades de plantio (espaçamento entre fileiras) foi maior para a densidade de 50.000 plantas ha^{-1} , sendo 10826,7 e 3916,1 US\$, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente, com aumento de 81% e 35,0% com relação a densidade de 28.571 plantas ha^{-1} . O custo de oportunidade (para venda de cladódios) foi maior para a densidade de 33.000 e 40.000 plantas ha^{-1} , no primeiro e segundo ciclo nesta ordem, sendo 17735,1 e 26103,6 US\$, isso por apresentar uma maior quantidade de cladódios comerciáveis. Com relação a MB e BL foi maior na densidade de 50.000 plantas ha^{-1} nos dois ciclos produtivos, sendo 10182,1 e 6392,9 US\$ no primeiro ciclo, nesta ordem, e no segundo ciclo esses benefícios foram iguais, por não apresentar os custos fixos (que foram utilizados na instalação do palmar), sendo 3271,5 US\$ para MB e ML (Tabela 12).

Os índices hídricos e econômicos foram maiores na densidade de 100.000 plantas ha^{-1} , com exceção da EUAc que foi menor no primeiro ciclo, sendo 0,85 $m^3 ha^{-1} m^3 ha^{-1}$. Os índices *EUAc, PAc, *PAc e PAi, no primeiro ciclo foram 4,90, 4,60, 3,90 e 14,70 $kg ha^{-1} m^3 ha^{-1}$, com aumento de 122,0 %, 120,0%, 105,0 e 100,0 % com relação a menor densidade de cultivo (28.571 plantas ha^{-1}). O segundo ciclo apresentou menos valores médios dos índices hídricos, sendo 1,30, 1,24, 1,09 e 8,40 $kg ha^{-1} m^3 ha^{-1}$, respectivamente, com incremento em relação a menor densidade de 40,0%, 36,0%, 41,0% e 40,7%. Com relação aos índices econômicos PBEAi, PLEi, PEAc e PEAi do primeiro ciclo foram: 4,30, 2,70, 1,90 e 7,30 US\$ $ha^{-1} m^3 ha^{-1}$, já o segundo ciclo apresentou 2,41, 2,41, 2,10 e 19,2 US\$ $ha^{-1} m^3 ha^{-1}$, nesta ordem, para a densidade de 100.000 plantas ha^{-1} .

Tabela 12. Benefícios econômicos e indicadores hídricos-econômicos em um cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em ambiente semiárido, sob diferentes densidades de plantios (espaçamento entre fileiras).

Indicadores hídricos e econômicos	1º Ciclo				2º Ciclo			
	50000	40000	33000	28571	50000	40000	33000	28571
	Planta ha ⁻¹				Planta ha ⁻¹			
Receita (US\$)	10826,7	9162,7	8044,7	5971,2	3916,1	3911,1	3520,5	2889,73
CO (US\$)	17204,5	16506,7	17735,1	12887,1	22072,9	26103,6	17418,4	18918,4
MB (US\$)	10182,1	8518,0	7400,1	5236,6	3271,5	3266,6	2875,9	2245,1
ML (US\$)	6392,9	5486,7	4899,2	3161,4	3271,5	3266,6	2875,9	2245,1
EUAc	0,85	0,82	0,98	0,93	0,88	0,98	0,82	0,86
*EUAc	4,9	3,7	3,5	2,2	1,30	1,15	1,29	0,93
Pac	4,6	3,6	3,4	2,1	1,24	1,11	1,24	0,91
*Pac	3,9	2,9	3,3	1,9	1,09	1,09	1,03	0,77
Pai	14,7	11,0	12,4	7,3	8,40	8,40	7,90	5,97
PBEAi	4,3	3,6	3,1	2,2	2,41	2,40	2,11	1,65
PLEi	2,7	2,3	2,1	1,3	2,41	2,40	2,11	1,65
PEAc	1,9	1,8	2,0	1,4	2,49	2,10	1,66	1,80
PEAi	7,3	6,9	7,5	5,4	19,2	16,2	12,8	13,9

*CO = custos de oportunidade; MB = margem bruta; ML = margem líquida; EUAc e *EUAc = eficiência do uso da cultura (m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹ e kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, nesta ordem); Pac e *Pac = produtividade da água da cultura (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Pai = produtividade da água via irrigação (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PBEAi = produtividade bruta econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PLEi = produtividade econômica líquida da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAc = produtividade econômica da água da cultura (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); PEAi = produtividade econômica da água via irrigação (US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

4. Discussão

4.1 Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte

A variação da taxa de crescimento é dependente de vários fatores, como espécie, idade do cultivo, regime hídricos, manejos adotados e variáveis meteorológicas (Scalisi et al., 2016; Amani et al., 2019; Nunes et al., 2020; Jardim et al., 2021b). Segundo Ramírez-Valiente. (2017), espécies adaptadas a climas semiáridos, como espécies xerófilas, expressam maiores dinâmicas de crescimento, quando expostos em ambientes favoráveis, tendo como resultado melhor desempenho da cultura (Araújo Júnior et al., 2021a; Jardim et al., 2021b).

Os índices morfofisiológicos foram influenciados pelas diferentes densidades de plantio, com variação dos espaçamentos entre plantas e fileiras, independente da orientação de

plântio Leste-Oeste e Norte-Sul. A taxa de crescimento absoluta (TCA) está associada a variação do crescimento da cultura, entre amostragens ao longo do espaço e do tempo (Rees et al., 2010; Zuffo et al., 2016). Maiores taxas foram encontradas nas densidades de 100.000 plantas ha⁻¹ (diferentes espaçamentos entre plantas) e 50.000 plantas ha⁻¹ (espaçamentos entre fileiras) plântio, isso tem relação com produtividade de MS ao longo do ciclo da cultura, que apresentou maior rendimento, com relação as menores densidades de cultivo. Silva et al. (2014), avaliando densidades de 10.000 e 80.000 plantas ha⁻¹, nos genótipos de palma forrageira (Gigante, Miúda e Redonda), observaram que aumento da densidade de cultivo apresentou influência negativa nas características morfológicas de cada genótipo, porém não foi observado para produtividade nos diferentes genótipos.

A velocidade no acúmulo de biomassa, em relação a uma quantidade de biomassa pré-existente (Queiroz et al., 2015), corresponde a taxa de crescimento relativo (TCR). Essa taxa foi maior no início do ciclo, e foi reduzido ao longo do desenvolvimento da cultura, devido a translocação de compostos foliares para outros órgãos da planta (Queiroz et al., 2015), além do envelhecimento e renovação de tecidos e diminuição da absorção de nutrientes (Rees et al., 2010). Mudanças na fisiologia e morfologia da palma forrageira, também está sujeita nas modificações de manejos agrônômicos adotados, neste caso, diferentes densidades de plântio (espaçamento entre plantas e fileiras), resultou em maiores TCR nas maiores densidades de plântio, por apresentar melhor aproveitamento da radiação solar, e conseqüentemente, maior eficiência no acúmulo de MS ao longo do tempo.

A correlação entre área foliar e produção de MS da planta, refletindo a eficiência fotossintética dos cladódios, exprime a TAL (Queiroz et al., 2015). Essa taxa aumenta conforme o desenvolvimento da cultura, devido maior investimento em área do cladódio, para aumento de sua capacidade fotossintética (Câmara et al., 2017). Porém após atingir a máxima TAL ocorre redução, devido aumento do índice de área do cladódio (IAC). Com aumento do IAC, a cultura tende apresentar maior sombreamento, dificultando incidência da radiação solar nas partes inferiores da planta, que são responsáveis pela maior assimilação de CO₂ (Queiroz et al., 2015).

Maiores densidades apresentaram menores TAL, devido maior IAC. Porém, a TAL no cultivo de palma forrageira em diferentes densidades de cultivo (espaçamento entre fileiras) apenas no segundo ciclo produtivo, menor densidade de plântio (28.571 plantas ha⁻¹), apresentou maior TAL no início do ciclo da cultura e com redução gradativamente com o desenvolvimento da cultura, isto pode ter ocorrido devido baixo acúmulo de MS ao longo do tempo, e também devido o aumento do IAC.

A área específica do cladódio (ACE), taxa que quantifica a distribuição de matéria seca na superfície fotossintética da folha, que neste caso é a superfície do cladódio (Queiroz et al., 2015). Apresenta tendência de maiores taxas no início do ciclo, sendo possível observar nesse estudo, devido apresentar apenas cladódios de primeira ordem, e a partir da emissão de cladódios de ordem superior, houve redução da ACE ao longo do desenvolvimento da cultura, pelo aumento dos tecidos fotossintetizantes e, conseqüentemente aumento do acúmulo de matéria seca. Com aumento das densidades de cultivo, ocorreu redução no número e desenvolvimento dos cladódios, devido a sobreposição dos mesmos (Cavalcante et al., 2014; Queiroz et al., 2015).

A determinação das fenofases da palma forrageira permite que o produtor realize melhor planejamento e tomada de decisão, com relação a determinação dos manejos agrônômicos (Amorim et al., 2017). Em geral, os resultados mostraram que diferentes densidades de plantio (espaçamento entre plantas e fileiras) com orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul permitiu o surgimento de duas fenofases, caracterizadas pela emissão de cladódios de segunda e terceira ordem.

A variação de fenologia nesta cultura está relacionada diretamente com idade de plantio, espécie, manejo adotado e variáveis meteorológicas (Silva et al., 2019), neste caso, maiores densidades proporcionaram melhor aproveitamento dos recursos naturais (água, luz e nutrientes). Ambos tratamentos apresentou maior taxa de emissão de cladódios de segunda ordem, devido características genótípicas do clone do gênero *Opuntia*, sendo cladódios de segunda ordem responsáveis pela maior contribuição da produtividade. Estudo de Pinheiro et al. (2014) e Amorim et al. (2017), também mostraram que maior rendimento deste clone no final do ciclo, advém dos cladódios de segunda ordem, já cladódios de terceira ordem não influenciam de forma significativa na produção de biomassa, devido menor área fotossintética, servindo mais como dreno de fotoassimilados (Amorim et al., 2017).

Mudanças nas fenofases da palma forrageira, devido maiores densidades de plantio, também influenciam a TCA (índice utilizado para determinar o momento de corte). A densidade de 100.000 plantas ha⁻¹ (espaçamento entre plantas), mostrou antecipação no momento de corte, devido maior taxa de acúmulo de matéria seca. Nos diferentes espaçamentos entre fileiras, não apresentou diferença entre as densidades estudadas, porém a antecipação ocorreu antes da emissão de cladódios de terceira ordem. O momento de corte pode colaborar para melhor tomada de decisão, no qual permite maior disponibilidade de forragem ao longo dos anos, diminuindo os riscos de perdas de forragem devido ao prolongamento a exposição da forragem

ao ambiente, além da redução de custos, com tratos culturais e irrigação (Perondi et al., 2019; Moraes et al., 2019).

4.2 Dados biométricos

O melhor desenvolvimento da planta está atrelado as condições ambiental, genética e manejos agronômicos adotados. Neste caso, quando ocorrido o aumento da densidade de plantio, observou-se redução na largura da planta e número total de cladódios pela palma forrageira, isso ocorre devido um maior aumento da população de plantas em uma área, que proporciona uma maior competitividade interespecífica pelos recursos naturais, como água, luz e nutrientes (Cavalcante et al., 2014; Peixoto et al., 2017). Porém apresentou maior altura de planta e índice de área do cladódio, onde cladódios de ordem inferior, recebem menor radiação fotossinteticamente ativa, afetando o número de gemas nesses artículos (cladódios primários), dificultando a emissão e desenvolvimento de cladódio de ordem superior.

Resultados semelhantes encontrados por Silva et al. (2014), que estudando diferentes densidades de plantio em três clones de palma forrageira (Miúda, Redonda e Gingante), apresentou um maior número total de cladódios na menor densidade de plantio de 10.000 plantas ha⁻¹. Cavalcante et al. (2014) estudando os mesmos clones de palma forrageira, também observaram, essa mesma redução, devido ao aumento da densidade de plantio.

4.3 Rendimento de forragem

O rendimento de MS da palma forrageira foi influenciado pela orientação de plantio (Tabela 3), sendo a maior produtividade obtida na orientação Leste-Oeste, comparada com a Norte-Sul, isso pode estar relacionado com a maior captação e interceptação da luminosidade, para a orientação de plantio Leste-Oeste, contribuindo positivamente para produção de fotoassimilados, garantindo um melhor desenvolvimento da planta, e conseqüente, maior produtividade. Ao contrário, a orientação de plantio Norte-Sul pode promover um maior sombreamento em parcelas da cultura, reduzindo o processo de fotossíntese, e diminuindo a sua produção (Alves et al., 2022; Peixoto et al., 2018).

Esse mesmo resultado foi observado na pesquisa de Alves et al. (2022), que estudando a produtividade da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana consorciada com o sorgo forrageira e orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul, apresentou uma produtividade de MS de 21,7 e 17,5 Mg ha⁻¹, nesta ordem. Ainda vale salientar que para o segundo ciclo, não apresentou diferença significativa entre as orientações de plantio, pois a produção não está ligada somente ao sistema utilizado, mas também é influenciado pelas variáveis

meteorológicas, que neste caso foram diferentes para os dois ciclos produtivos, apresentando assim uma evapotranspiração de referência (ET_0) e precipitação pluviométrica (P) de 6,27% e 38,6% para o segundo ciclo da palma forrageira.

O rendimento de massa fresca não foi apresentado diferença entre a orientação de plantio, pois a cultura da palma forrageira apresenta fototropismo positivo, e que quando cultivado na orientação de cultivo Norte-Sul, os cladódios secundários e terciários tendem a permanecer nas posições perpendiculares e diagonais, para proporcionar aos cladódios uma melhor absorção da radiação solar, porém quando cultivados em orientação de cultivo Leste-Oeste, os cladódios permanecem em orientação paralela, devido já estarem em condições favoráveis para a melhor interceptação e absorção da radiação solar (Gomes et al., 2022).

Quando observado as diferentes densidades de plantio, tanto com o espaçamento entre plantas, e como o espaçamento entre fileiras, houve aumento da produtividade de MF e MS nos dois ciclos produtivos. Isto primeiramente está relacionado com a maior quantidade de plantas que ocupam uma mesma área (Petter et al., 2016), permitindo uma maior otimização e melhor aproveitamento dos recursos naturais, como a água, luminosidade e os nutrientes do solo (Silva et al., 2016; Alves et al., 2022). A maior quantidade de plantas por área, também contribui para o aumento do índice de área do cladódio (IAC), maior eficiência do uso da água, devido à redução de solo descoberto, favorecendo o aumento da eficiência fotossintética da cultura (Silva et al., 2016a; Souza et al., 2017). Vale ainda salientar, que embora a densidade de plantio reduziu a emissão do número total de cladódios da palma forrageira, clone OEM, não ocorreu redução no rendimento final de forragem, isso devido as características já mencionadas anteriormente.

Na avaliação de diferentes densidades de plantio em clones do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, Cavalcante et al. (2014), observaram que as características morfológicas, como número de cladódios e o comprimento dos mesmos, causaram redução nas variáveis de crescimento com o aumento da densidade de plantio, porém não houve redução na produtividade de MS. Alves et al. (2022), avaliaram as mesmas densidades de plantio deste trabalho, porém a palma estava em consórcio com o sorgo forrageiro, e observaram que a produtividade de MF e MS responderam positivamente com o aumento das densidades de plantio, tanto para espaçamento entre plantas ou entre fileiras.

4.4 Balanço de água no solo

Os componentes do balanço de água no solo (P, I, AC, DP, AC, ΔA e ETr), não apresentaram grandes diferenças com relação as diferentes densidades de plantio (espaçamento

entre plantas e fileiras) e orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul, porém apresentou diferenças entre os períodos avaliados e os dois ciclos da cultura. Com relação a ETr foi maior no segundo ciclo da cultura, pois ocorreu uma maior precipitação pluviométrica, com relação ao primeiro ciclo, sendo 32,9%. A variação do armazenamento de água no solo influencia no desenvolvimento das culturas, quando o solo apresenta maior umidade, favorece maior disponibilidade de nutrientes em solução, garantindo que a planta possa realizar os processos fotossintéticos (Machado et al., 2015). Porém, quando o armazenamento é de forma negativa, pode ocasionar danos fisiológicos a cultura, por ocorrer um declínio da taxa fotossintética, perda de turgor, fechamento estomático, limitando a expansão, enrolamento e abscisão foliar (Ferraz et al., 2012). Como o nosso estudo é com a palma forrageira, não apresenta essas perdas marcantes, devido ser uma cultura que apresenta tolerância à escassez hídrica, sendo indicada para as regiões de clima semiárido (Jardim et al., 2019).

A variação da ascensão capilar (AC) e drenagem profunda (DP) influenciou no resíduo do BAS. Estudos de dinâmica de água no solo com produção de Orelha Elefante Mexicana sob diferentes densidades de plantio não são encontrados na literatura. Mas são encontrados adotados outros manejos, como produção em sistema exclusivo, que apresentou um DP -78,26 mm, no segundo ciclo produtivo (Queiroz et al., 2016). Moraes et al. (2017), encontraram uma menor média, sendo -18,9 mm. Jardim et al. (2019), também observaram que o aumento da DP ocorre com o aumento da lâmina de água aplicada.

4.5 Indicadores hídricos-econômicos

A utilização de diferentes densidades de plantio (espaçamentos entre plantas e fileiras) com orientação de plantio Leste-Oeste e Norte-Sul, apresentou uma maior receita, custo de oportunidade e margem bruta e líquida nas maiores densidades de plantio, devido a maior produção de MF e MS que esse tratamento apresentou. Se tratando da EUA, ou fração de uso consultivo da água, a palma apresentou um valor médio entre os tratamentos de $0,90 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$, isso indica que, 10% da quantidade de água aplicada no sistema via precipitação mais irrigação (P+I), não foram utilizadas no processo de evapotranspiração (Queiroz et al., 2016). Esse índice, permite verificar as mudanças no consumo de água, sendo valores aceitáveis entre 0,6 e 1,1 para regiões de clima semiárido (Silva et al., 2011), logo em nosso estudo encontramos um valor aceitável. Ainda se tratando dos índices hídricos, como *EUA, PAc, *PAc e PAi, os maiores valores foram correspondentes a densidade de 100.000 plantas ha^{-1} (espaçamento entre plantas) e 50.000 plantas (espaçamento entre fileiras) para todos os tratamentos estudados e os dois ciclos produtivos. Isso ocorre devido a maior produção de MS obtida, pois maiores

densidades apresentam uma maior quantidade de plantas em uma área, havendo um melhor aproveitamento dos recursos naturais, conseqüentemente havendo uma maior eficiência do uso da água (Alves et al., 2022). Vale salientar que esses valores podem ser variados devido a vários aspectos como, espaçamentos, adubação, condições climáticas, e conforme o clone (Dubeux Junior et al., 2006).

Com relação aos indicadores PBEAi, PLEi, PEAc e PEAi, foi notório que maiores densidade de plantio (100.000 plantas ha⁻¹, espaçamento entre plantas e 50.000 plantas ha⁻¹, espaçamento entre fileiras) promoveram maior retorno econômico nos dois ciclos produtivos, com relação a quantidade de água aplicada no sistema, via precipitação pluviométrica e irrigação. Para essas densidades, os maiores valores desses índices foram recorrentes a margem bruta e margem líquida, e também maior produção de MS. Na literatura não são encontrados valores médios para esses índices na cultura da palma forrageira, sob diferentes densidades de plantio. Estudo de Queiroz et al. (2016) avaliando diferentes lâminas de irrigação na cultura da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM), apresentou um PEAc de 5,50 US\$ m⁻³ em um hectare de produção, sendo um valor superior ao encontrado nesse estudo, devido um maior volume de precipitação e irrigação.

5. Conclusão

A utilização de diferentes manejos agronômicas, como diferentes densidades de plantio e orientação de cultivo na cultura da palma forrageira apresenta-se como uma alternativa para produção de forragens para alimentação animal, ou para venda de forragens na região Semiárida brasileira. A modificação da orientação de cultivo Leste-Oeste proporcionou melhor condição para a produtividade da palma forrageira, e as maiores densidades de plantio [100.000 plantas ha⁻¹ (espaçamento 1,00 m entre fileiras e 0,10 m entre plantas) e 50.000 plantas ha⁻¹ (espaçamento 1,00 m entre fileiras e 0,20 m entre plantas)], promoveu um maior incremento na produtividade, com isso pequenas áreas podem ser utilizadas para produzir a cultura da palma forrageira. Além da maior produtividade, a cultura da palma forrageira nessas densidades de plantio, também pode-se tornar práticas conservacionistas, devido ao aumento de áreas cobertas pela planta, favorecendo a redução de processos erosivos.

Esses manejos influenciaram os comportamentos dos índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, os componentes do BAS e os indicadores hídrico-econômicos, nas maiores densidades de plantio (espaçamento entre plantas e fileiras). Através dos índices hídrico-econômicos, a palma forrageira apresentou maior eficiência com relação a quantidade de água aplicada da precipitação pluviométrica e irrigação, garantindo também um maior benefício econômico. Assim como, realizar a antecipação do corte, aumentando a produção de forragens e garantindo reduções de custos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco - FACEPE (APQ-1159-1.07/14, APQ-0300-5.03/17, APQ-0414-5.03/20 e APQ-0639-5.01/21), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (421003/2018-9, 309421/2018-7, 403622/2020-4, 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, à própria FACEPE pela concessão da bolsa de estudo (BCT-0221-5.03/21) e ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por todo desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C. P., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. N., Souza, L. S. B., Araújo, G. G. L., Souza, C. A. A., Salvador, K. R. S., Leite, R. M. C., Pinheiro, A. G., & Silva, T. G. F. (2022). How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. *Industrial Crops and Products*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- Alves, C. P., Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B., Cruz Neto, J. F., & Santos, J. P. A. S. (2019). Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27(2), 347–356. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Alves, H. K. M., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Cruz Neto, J. F. (2022). 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*, 2022, 1-15. <https://doi.org/10.1002/ird.2758>
- Amani, E., Marwa, L., Hichem, B. S., Amel, S-H., Ghada, B. (2019). Morphological variability of prickly pear cultivars (*Opuntia* spp.) established in *ex-situ* collection in

- Tunisia. *Scientia Horticulturae*, 248, 163-175.
- Amorim, D. M., Silva, T. G. F., Pereira, P. C., Souza, L. S. B., & Minuzzi, R. B. (2017). Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 62–71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- Araújo Júnior, G. D. N., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Souza, M. S., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Santos, J. P. A. S., Jardim, A. M. R. F., Alves, C. P., & Alves, H. K. M. N. (2021c). Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*, 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- Araújo Júnior, G. N., Jardim, A. M. R. F., Silva, M. J., Alves, C. P., Souza, C. A. A., Costa, S. A. T., Cunha, M. V., Simões, A. N., Silva, J. R. I., Souza, L. S. B., & Silva, T. G. F. (2021b). Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>
- Araújo Júnior, G. N., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Alves, C. P., Salvador, K. R. S., Souza, C. A. A., Montenegro, A. A. A., & Silva, M. J. (2021a). Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *Journal of Arid Environments*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- Araújo Primo, J. T., Silva, T. G. F., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B. & Souza, L. S. B. (2015). Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, 62(1), 020-029.
- Campos, A. R. F., Silva, A. J. P., van Lier, Q. J., Nascimento, F. A. L, Fernandes, R. D. M., Almeida, J. N., & Paz, V. P. S. (2021). Yield and morphology of forage cactus cultivars under drip irrigation management based on soil water matric potential thresholds. *Journal of Arid Environments*, 193, 104564. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104564>
- Cavalcante, L. A. D., Santos, G. R. A., Silva, L. M., Fagundes, J. L., Silva, M. A. (2014). Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44, 424-433.
- Darouich, H., Ramos, T. B., Pereira, L. S., Rabino, D., Bagagiolo, G., Capello, G., Simionesei, L., Cavallo, E., & Biddoccu, M. (2022). Water Use and Soil Water Balance of Mediterranean Vineyards under Rainfed and Drip Irrigation Management:

- Evapotranspiration Partition and Soil Management Modelling for Resource Conservation. *Water*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/w14040554>
- Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F., Lira, M. A., Santos, D. C., Farias, I., Lima, L. E., Ferreira, R. L. C. (2006). Productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) under different N and P fertilization and Plant population in north-east Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67, 357-372.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Santos, M. V. F., Cunha, M. V., Santos, D. C., Souza, R. T. A., Mello, A. C. L., & Souza, T. C. (2021). Cactus (Opuntia and Nopalea) nutritive value: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 275 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- Edvan, R. L., Mota, R. R. M., Dias-Silva, T. P., Nascimento, R. R., Sousa, S. V., Silva, A. L., Araújo, M. J., & Araújo, J. S. (2020). Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. *Scientific Reports*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66972-0>
- Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., & Cuevas, M. V. (2020). 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*, 237, 106074. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- Ferraz, R. L. S., Melo, A. S., Suassuna, J. F., Brito, M. E. B., Fernandes, P. D., Nunes Júnior, E. S. (2012). Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no Semiárido. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42(2), 181-188.
- Gomes, G. M. F., Lopes, M. N., Silva, R. G., Beserra, L. T., Cândido, M. J. D. (2022). Effect of spacing, soil, and planting direction on the vegetative growth of 'Gigante' cactus pear. *Acta Horticulturae*, 1343, 155-162.
- Hassan, S., Inglese, P., Gristina, L., Liguori, G., Novara, A., Louhaichi, M., & Sortino, G. (2019). Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. *European Journal of Agronomy*, 105, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.02.012>
- Jardim, A. M. R. F., Santos, H. R. B., Alves, H. K. M. N., Ferreira-Silva, S. L., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Souza, M. S., Araújo, G. G. L., Souza, C. A. A., & Silva, T. G. F. (2021c). 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*, 162, 421–430. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>

- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. N., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Araújo, G. G. L., & Moura, M. S. B. (2021a). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188, 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., Alves, C. P., Araújo, J. F. N., Souza, C. A. A., Pinheiro, A. G., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. (2021b). Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range and Forage Science*. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Araújo, J. F. N., Silva, G. I. N., & Silva, J. O. N. (2019). Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros*, 27(2), 357–365. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>
- Lemos, M., Ferreira-Neto, M., Fernandes, C. S., Lima, Y. B., Dias, N. S., Medeiros, J. F., Brito, R. F., Sá, F. V. S. (2021). The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 185, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104372>
- Libardi, P. L. (2005). *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 61. 329 p.
- Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., & Tabosa, J. N. (2018). Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(2), 113–118. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., Souza, W., Ribeiro, A., Firmino, F. (2015). Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, 731-740. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- Moraes, G. S. O., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., Almeida, M. P., Ferreira, M. A. (2019). Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livestock Science*, 221, 133-138.
- Morais, J. E. F., Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Araújo Júnior, G. N. (2017). Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual

- evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(4), 273-278.
- Nunes, J. S. L., Salvador, K. R. S., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Carvalho, A. A., Souza, L. S. B., Montenegro, A. A. A., Silva, T. G. F. (2020). Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 128-139.
- Oliveira, J. P. F., Ferreira, M. F. A., Alves, A. M. S. V., Melo, A. C. C., Andrade, I. B., Urbano, S. A., Suassuna, J. M. A., Barros, L. J. A., Melo, T. T. B. (2018). Carcass characteristics of Lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31, 529-236.
<https://doi.org/10.5713/ajas.17.0375>
- Peixoto, M. J. A., Carneiro, M. S. S., Amorim, D. S., Edvan, R. L., Pereira, E. S., Costa, M. R. G. F. (2018). Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. *Archivos de Zootecnia*, 67(257), 35-39.
- Pereira, P. D. C., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Morais, J. E. F., & Dos Santos, D. C. (2015). Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28(3), 184–195.
- Perondi, D., Fraisse, C. W., Staub, C. G., Cerbaro, V. A., Bareto, D. D., Pequeno, D. N. L., Mulvaney, M. J., Troy, P., Pavan, W. (2019). Crop season planning tool: Adjusting sowing decisions to reduce the risk of extreme weather events. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(2018), 62-70.
- Petter, F. A., Silva, J. A., Zuffo, A. M., Andrade, F. R., Pacheco, L. P., Almeida, F. A. (2016). Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. *Bragantia*, 75 (2), 173-183.
- Pinheiro, K. M., Silva, T. G. F., Sousa Carvalho, H. F., Santos, J. E. O., Morais, J. E. F., Zolnier, S., & Santos, D. C. (2014). Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(12), 939–947. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Souza, C. A. A., Carvalho, H. F. S. (2016). Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido, *Irriga*, 141-154.
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10),

931-938.

- Ramirez-Valiente, J. A., Center, A., Sparks, J. P., Sparks, K. L., Etterson, J. R. Longwell, T., Pilz, G., Cavender-Bares, J. (2017). Population level differentiation in growth rates and leaf traits in seedlings of Neotropical live Oak *Quercus oleoides* grown under natural and manipulated precipitation regimes. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-14.
- Rees, M., Osborne, C. P., Woodward, F. I., Hulme, S. P., Turnbull, L. A., Taylor, S. H., (2010). Partitioning the components of relative growth rate: how important is plant size variation?. *The American Naturalist*, 176(6), 152-161.
- Reis Filho, R. J. C., Carneiro, M. S. S., Pereira, E. S., Furtado, R. N., Morais Neto, L. B., Magalhães, J. A., Alves, F. G. S., Lopes, M. N. (2022). Biomass components and water use efficiency in cactus pear under different irrigation systems and harvest frequencies. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20210093, 1-15.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- Rocha Filho, R. R., Santos, D. C., Vêras, A. S. C., Siqueira, M. C. B., Monteiro, C. C. F., Mora-Luna, R. E., Farias, L. R., Santos, V. L. F., Chagas, J. C., & Ferreira, M. A. (2021). Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) salm-dyck)—the best forage cactus genotype for feeding lactating dairy cows in semiarid regions. *Animals*, 11(6).
<https://doi.org/10.3390/ani11061774>
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M. B., & Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148, 43–48.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R. (2016). Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, 122, 158-167.
- Silva, A. S., Santos, E. M., Ramos, J. P. F., Perazzo, A. F., Muniz, A. C. S., Santos, F. N. S., Pereira, D. M., Cruz, G. F. L. (2019). Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. *Colloquium Agrariae*, 15(6), 88-96.
- Silva, G. I. N., Jardim, A. M. R. F., Alves, H. K. M. N., Souza, M. S., Souza, C. A. A., Araújo Júnior, G. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Salvador, K. R. S., Leite, R. M. C., Costa, S. A. T., Silva, M. J., Silva, T. G. F. (2020). Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para

- melhoria da resiliência: uma revisão. *Research, Society and Development*, 9(10), 1-39.
- Silva, J. A., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., Souza, E. S., Júnior, M. C. P., Ancilon, A., & Junior, S. (2016). Extraction / export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 236–242.
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Almeida, G. L. P., Lima, R. P., Santos, A., Jardim, A. M. R. F., Rolim, M. M., Silva, J. L. B., Batista, P. H. D., Silva, R. A. B., Lopes, P. M. O., & Silva, D. C. (2021). Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- Silva, N. G. M., Santos, M. V. F., Dubeux Júnior, J. C. B., Cunha, M. V., Lira, M. A., Ferraz, I. (2016). Effects planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. *Revista Caatinga*, 29(4), 976-983.
- Silva, T. G. F., Moura, M. S. B., Zolnier, S., Soares, J. M., Vieira, V. J. S., Gomes Júnior, W. F. (2011). Demanda hídrica e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1257-1265.
- Silva, L. M., Fagundes, J. L., Viegas, P. A. A., Muniz, E. N., Rangel, J. H. A., Moreira, A. L., Backes, A. A. (2014). Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Revista Ciência Rural*, 44(11), 2064-2071.
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Moura, M. S. B., Silva, S. M. S., Morais, J. E. F., Pereira, P. C. P., Souza, C. A. A. (2015). Soil water dynamics and evaporation of foragem cactus clones under rainfed conditions. *Pesq. Agropec. Bras.* 50(7), 515-525.
- Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., & Silva, M. C. (2015). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28(2), 10–18.
- Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Zolnier, S., Souza, L. S. B., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Steidle Neto, A. J., Santos, T. S., Melo, A. L., Cruz Neto, J. F., Silva, M. J., Alves, H. K. M. N. (2021). Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. *Soil & Tillage Research*, 207, 1-10.
- Silva, T. G. F., Jardim, A. M. R. F., Diniz, W. J. S., Souza, L. S. B., Júnior, N. A., Silva, G. I. N., Alves, C. P., Souza, C. A. A., & Morais, J. E. F.. (2023). Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 27(2), 132–139.

- Siqueira, T. D. Q., Monnerat, J. P. I. S., Chagas, J. C. C., Conceição, M. G., Siqueira, M. C. B., Viana, T. B. L., & de Ferreira, M. A. (2019). Cactus cladodes associated with urea and sugarcane bagasse: an alternative to conserved feed in semi-arid regions. *Tropical Animal Health and Production*, 51(7), 1975–1980. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-01895-1>
- Souza, M. S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Leite, R. M. C., Souza, C. A. A., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Silva, M. J., & de Souza, P. J. D. O. P. (2022). Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(6), 764–778. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1852553>
- Souza, T. C., Santos, M. V. F., Dubeux Júnior, J. C. B., Lira, M. A., Santos, D. C., Cunha, M. V., Lima, L. E., Silva, R. R. (2017). Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(4), 555-560. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i4a5473>
- Zuffo, A. M., Zuffo Júnior, J. M., Silva, L. M. A., Silva, R. L., Menezes, K. O. (2016). Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. *Revista Ceres*, 63(2), 145-153.

CAPÍTULO 2: MANEJO DE CORTE NA PALMA FORRAGEIRA ALTERA ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS, FENOLOGIA, CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E ÍNDICES HÍDRICOS-ECONÔMICOS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

Resumo: Utilização de diferentes manejos agronômicos, como intervalos de corte, pode influenciar a produtividade da palma forrageira. Por isso, o conhecimento da interação entre fatores de crescimento e a inter-relação do sistema solo-planta-atmosfera, pode contribuir para um cultivo eficiente da cultura da palma forrageira em região de clima semiárido. Com isso, objetivou-se avaliar índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, rendimento, balanço de água no solo e índices hídricos-econômicos em clones de palma forrageira sob diferentes frequências de corte. O estudo foi realizado no município de Serra Talhada – PE, com arranjo fatorial 3x4, sendo três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – OEM; Miúda – MIU; e IPA Sertânea – IPA) e quatro frequências de corte (6, 9, 12+6 e 18 meses) em blocos casualizados, e quatro repetições. Na colheita foram obtidas medidas biométricas, para determinação de índices morfofisiológicos (Taxa de crescimento absoluto – TCA; taxa de crescimento relativo – TCR; taxa de assimilação líquida – TAL; e área do cladódio específico – ACE) e de rendimento de massa fresca (MS) e massa seca (MS). A partir da determinação da taxa de emissão de cladódios, foi determinado as fenofases e através da TCA foi determinado o momento de corte. Os componentes do balanço de água no solo (BAS) foram obtidos através das propriedades físico-hídricas do solo e de leituras de umidade. Através da precipitação pluviométrica, irrigação, evapotranspiração real e rendimento de forragem, foram obtidos índices hídricos-econômicos. Os índices morfofisiológicos como a TCA e a TCR, foram maiores para o clone OEM na frequência de 18 meses. O maior rendimento de MF e MS ocorreu no clone OEM independentemente da frequência de corte. O clone MIU apresentou a maior emissão de cladódios (5ª ordem), e três fenofases, além de um menor acúmulo de graus-dias na fenofases 2, diferentemente dos clones IPA e OEM que permaneceram maior tempo na fase 2, apresentando fase 3 somente na frequência de 18 meses. O BAS sofreu baixa influência dos tratamentos impostos. Os benefícios econômicos e indicadores hídrico-econômicas foi superior nos tratamentos com clone OEM. Com isso, recomenda-se o cultivo da palma forrageira clone OEM, independente da frequência de corte, pois permite um maior rendimento de forragem e benefícios econômicos. Mas a redução na frequência de corte pode promover um aumento de forragem ao longo do ano, e proporcionar redução de custos econômicos.

Palavras-chaves: Frequência de corte; Orelha de Elefante Mexicana, Miúda, IPA Sertânea taxas.

Abstract: The use of different agronomic managements, such as cutting intervals, can influence forage cactus productivity. Therefore, knowledge of the interaction between growth factors and the interrelationship of the soil-plant-atmosphere system can contribute to an efficient cultivation of cactus pear in a semi-arid region. Thus, the objective was to evaluate the yield, morphophysiological indices, phenophases, cutting moment, soil water balance and water-economic indices in forage cactus clones under different cutting frequencies. A study was carried out in the municipality of Serra Talhada - PE, with a 3x4 factorial arrangement, with three forage cactus clones (Orelha de Elefante Mexicana - OEM; Miúda - MIU; and IPA Sertânea - IPA) and four cutting frequencies (6, 9, 12+6 and 18 months) in randomized blocks, and four replications. The production of fresh matter (FM) and dry matter (DM) were determined, in addition to biometric measurements, to determine the morphophysiological indices (Absolute growth rate - AGR; Relative growth rate - RGR; Net assimilation rate - NAR; and Specific cladode area - SCA). From the determination of the cladode emission rate, the phenophases were determined and the cutting moment was determined through AGR. The components of the soil water balance (SWB) were obtained through readings of soil moisture and physical-hydric properties. Through the data of rainfall, irrigation, real evapotranspiration and forage yield, water-economic indices were obtained. The highest yield of FM and MS occurred in the OEM clone regardless of the cutoff frequency. Morphophysiological indices such as AGR and TCR were higher for the OEM clone at the 18-month frequency. The MIU clone showed the highest emission of cladodes (5th order), and three phenophases, in addition to a smaller accumulation of degree-days in phenophases 2, unlike the IPA and OEM clones that remained longer in phase 2, presenting phase 3 only in frequency of 18 months. The SWB suffered little influence from the imposed treatments. The economic benefits and water economic indicators were higher in the treatments with the OEM clone. With this, it is recommended to cultivate cactus pear clone OEM, regardless of the cutting frequency, as it allows for greater forage yield and economic benefits. But the reduction in the cutting frequency can promote an increase in forage throughout the year, and provide a reduction in economic costs.

Keywords: Cut-off frequency; Orelha de Elefante Mexicana, Miuda, IPA Sertânea, fees

1. Introdução

A região semiárida brasileira apresenta uma variação espaço-temporal da precipitação pluviométrica, na qual apresenta um período chuvoso de três a cinco meses, e estiagens podendo variar de sete a nove meses, sendo estas condições limitantes para as atividades agrícolas nesta região (Fonseca et al., 2019; Brito et al., 2021; Alves et al., 2022). A irregularidade da precipitação pluviométrica, resulta em baixa produção de forragens, prejudicando a atividade da pecuária, em decorrência do alto custo para a alimentação dos animais (Brito et al., 2021). Sendo assim, utilização de plantas adaptadas nessa região, torna-se uma alternativa viável para suprimento da demanda alimentar (Fonseca et al., 2019).

A palma forrageira é uma planta xerófila pertencente à família das Cactáceas, e que apresenta características morfofisiológicas (i.e. cutículas espessas, vacúolos grandes, folhas modificadas, caules suculentos e sistema radicular adaptado) que permite sua adaptação em regiões semiáridas (Marques et al., 2017.; Jardim et al., 2020). Apresenta um Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), onde ocorre abertura estomática no período noturno para captação do CO₂ atmosférico, e seu fechamento no período diurno, minimizando assim, a perda de água pela planta para atmosfera (Taiz et al., 2017; Souza et al., 2019; Jardim et al., 2021a). Sua utilização na alimentação de animais ruminantes apresenta vantagens, por se tratar de um alimento energético, rico em água e minerais (Fonseca et al., 2020).

Sabe-se que a resposta de índices morfofisiológicos, características agronômicas e balanço de água no solo dessa cultura, está atrelada a adoção de diferentes manejos agronômicos (Alves et al., 2019; Araújo Júnior et al., 2021a; Jardim et al., 2021a; Souza et al., 2022). Com isso, entender diferentes respostas em decorrência aos manejos adotados, torna-se uma estratégia de grande importância para tomada de decisão e garantir assim, sucesso na produção da cultura (Araújo Júnior et al., 2021b; Jardim et al., 2021b; Alves et al., 2022). Deste modo, estudos com frequências de corte (intervalos de corte entre um ciclo e outro) são estratégias que podem ser decisivas para o aumento da eficiência produtiva e de uso para essa cultura.

Farias et al. (2000) estudando a palma forrageira Gigante consorciada com sorgo forrageiro e colheita a cada dois e quatro anos, obtiveram maiores rendimentos na palma forrageira a cada quatro anos. Rocha et al. (2017) avaliando os clones de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda e IPA 20, com quatro frequências de corte (4, 8, 12 e 16 meses), observaram uma maior resposta de produtividade aos 16 meses. Assim como, Reis Filho et al. (2022) estudando o intervalo de corte de 6, 9, 12 e 18 meses no clone OEM, observaram o mesmo comportamento da produtividade. Porém, entender o comportamento da palma forrageira com diferentes cortes, assim como benefícios que este manejo poderá

proporcionar, devem ser estudados, para proporcionar aos produtores uma melhor tomada de decisão.

Com isso, a hipótese do estudo foi que a utilização de menores frequências de corte, poderá influenciar nos índices morfofisiológicos, rendimento de forragem, componentes do balanço de água no solo e nos indicadores hídrico-econômicos. Objetivou-se com o estudo, avaliar índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, rendimento de forragem, balanço de água no solo e indicadores hídrico-econômicos, sob diferentes frequências de corte em três clones de palma forrageira, cultivada em ambiente semiárido.

2. Material e métodos

2.1 Localização experimental

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, especificamente no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageira, localizada no município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (7°56'20" S, 38°17'31" O e altitude 499 m)

De acordo com a classificação climática de Köppen o clima da região é tipo BSh (ou seja, semiárido quente) (Alvares et al., 2013). Apresenta uma temperatura média do ar é de 24,8 °C, umidade relativa do ar de 63%, com uma precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência de 642 e 1.800 mm ano⁻¹, respectivamente (Pereira et al., 2015; Silva et al., 2015a). O solo foi caracterizado como Cambissolo Eutrófico Háptico Ta Háptico típico (Jardim et al., 2021a). Amostras foram coletadas para determinação dos atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0,00-0,20 m: areia de 828,5 g kg⁻¹, silte de 148,3 g kg⁻¹, argila de 23,2 g kg⁻¹, densidade aparente de 1,45 kg dm⁻³, pH(água) de 6,00, condutividade elétrica do extrato saturado do solo (CE) de 0,33 dS m⁻¹, carbono orgânico de 4,6 g kg⁻¹, matéria orgânica de 7,93 g kg⁻¹, fósforo de 168,96 mg dm⁻³, potássio de 13,8 cmol_c dm⁻³, sódio de 1,09 cmol_c dm⁻³, cálcio de 3,50 cmol_c dm⁻³, magnésio de 1,90 cmol_c dm⁻³, capacidade de troca catiônica (CTC) de 28,9 cmol_c dm⁻³ e saturação de base (SB) de 97,2%.

2.2 Delineamento experimental, irrigação e práticas culturais

Foram avaliados diferentes manejos de corte em três clones de palma forrageira. Nesse, foram realizadas quatro frequências de corte, sendo: 6, 9, 12+6 e 18 meses (sendo estas frequências determinada através de estudos prévios, isto com relação a colheita da palma forrageira irrigada) e três clones de palma forrageira, pertencente ao gênero *Nopalea* e *Opuntia*, sendo: Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.] – OEM, Miúda [*Nopalea*

cochenillifera (L.) Salm-Dyck] – MIU e IPA Sertânia [*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] – IPA.

Os clones de palma forrageira foram plantados com espaçamento fixo de 1,00 x 0,20 m (50.000 plantas ha⁻¹), com alinhamento bilateral, enterrando-se 50% do comprimento total do cladódio. Cada parcela experimental apresentou 5 metros, com quatro fileiras cada, e 25 plantas, totalizando uma área de 20 m². As duas fileiras centrais de cada parcela, foram consideradas como parcela útil, desprezando uma planta de cada extremidade. Com isso, resultou em uma área de 9,20 m² parcela⁻¹. Resultando em um experimento com 12 tratamentos e 48 unidades experimentais, disposto em um esquema fatorial 4 x 3 (quatro frequências de corte e três clones de palma forrageira).

O experimento foi conduzido entre outubro/2020 à maio/2022 [totalizando ~ 18 meses (576 dias)], sendo o quarto ciclo produtivo da cultura, com a presença dos cladódios primários em campo. Os clones de palma forrageira, foram plantados em janeiro 2016, apresentando um histórico de condução da área consorciada com a cultura do sorgo forrageiro [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cultivares IPA-467, SF11, Progenitor 288 e 2502.

A irrigação do experimento foi realizada nas segundas, quartas e sextas-feiras, através de um sistema de irrigação por gotejamento, apresentando emissores com espaçamento de 0,20 m, vazão de 1,57 L h⁻¹, com uma pressão de trabalho de 100 kPa e coeficiente de uniformização de aplicação da água igual a 92%. A água utilizada para a irrigação era proveniente de um poço artesiano de profundidade de 48 m e vazão de 12 m³ h⁻¹, localizado a 30 m da área experimental, apresentando uma condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹, de acordo com a classificação de Richards (1954), a água foi classificada como uma água C3 (alta salinidade) e um pH de 6,84. O manejo ocorreu com base na necessidade hídrica da cultura (Evapotranspiração da Cultura – ET_c), sendo considerando o coeficiente de cultura (K_c) igual a 0,52 (Queiroz et al., 2016). A ET_c foi determinada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET₀) e o K_c, sendo a ET₀ determinada diariamente pela equação de Penman-Monteith (Equação 1), parametrizada pela FAO (Allen et., 1998)

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 \mu_2)} \quad (1)$$

sendo, ET₀: evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); Δ: declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C⁻¹); R_n: saldo de radiação à superfície de cultivo (MJ m⁻² dia⁻¹); G: densidade do fluxo de calor sensível no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); T: temperatura média diária

do ar à dois metros de altura ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$); μ_2 : velocidade do vento diário à dois metros de altura (m s^{-1}); es: pressão de saturação do vapor (kPa); ea: pressão de vapor atual do ar (kPa); e γ : constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Variáveis meteorológicas foram obtidas diariamente, por meio de uma estação meteorológica automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET – <http://www.inmet.gov.br/portal/>), localizada no experimento. Foram compreendidas as variáveis temperatura média, máxima e mínima do ar ($^{\circ}\text{C dia}^{-1}$), umidade relativa média do ar ($\%$ dia^{-1}), radiação solar global ($\text{MJ m}^2 \text{ dia}^{-1}$), velocidade do vento (m s^{-1}), pressão atmosférica (hPa dia^{-1}) e precipitação pluviométrica (mm dia^{-1}). A partir do mês de abril de 2022 o monitoramento das variáveis meteorológicas foi através de uma estação meteorológica Onset modelo: HOBO U30 instalada a 10 m da área experimental.

O ciclo de desenvolvimento da palma forrageira com diferentes frequências de corte foi de aproximadamente 18 meses (outubro – 2020 a maio – 2022), onde apresentou um total de precipitação pluviométrica (P) de 1457,9 mm e a irrigação (I) de 275,65 mm, a evapotranspiração de referência total foi de 2923,14 mm (Figura 1), com uma média de $5,07 \text{ mm dia}^{-1}$.

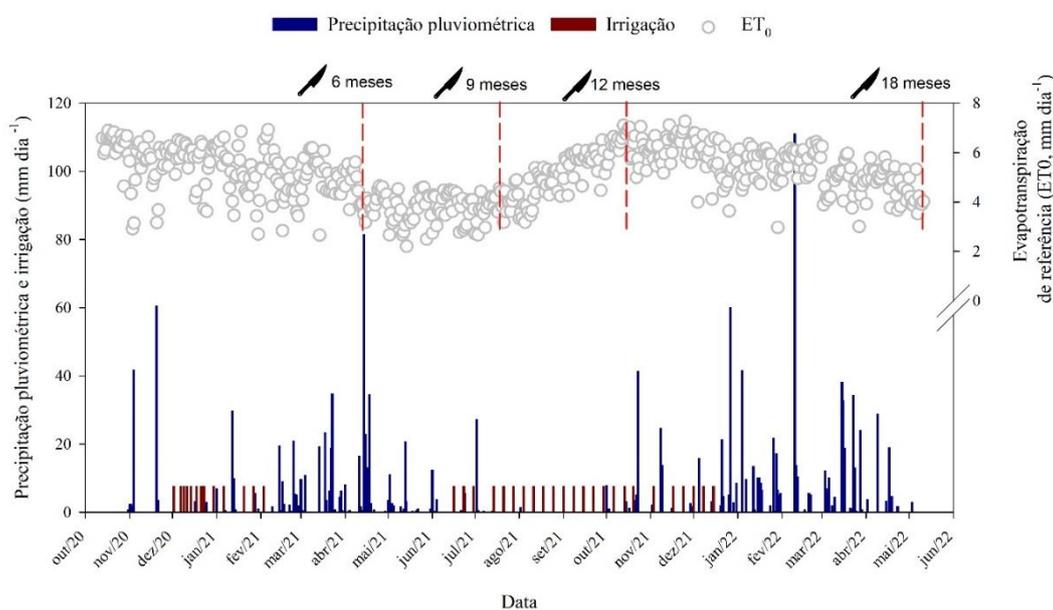


Figura 1. Evapotranspiração de referência (ET_0 , mm dia^{-1}) e disponibilidade hídrica via precipitação (P, mm dia^{-1}) e Irrigação (I, mm dia^{-1}) no cultivo de palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] – OEM, Miúda [*Nopalea cochenellifera* (L.) Salm-Dyck] – MIU e IPA Sertânea [*Nopalea cochenellifera* (L.) Salm-Dyck] - IPA em ambiente semiárido, cultivada sob diferentes manejos de corte.

Adubação foi aplicada no início do experimento, sendo realizada na linha de plantio, compreendendo doses iguais a 200-80-130 kg ha⁻¹ de nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K), respectivamente. Foram realizadas limpezas nas áreas experimentais, com o intuito de retirar as plantas espontâneas, permitindo um melhor desenvolvimento da cultura da palma forrageira.

2.4 Índices morfofisiológicos, fenologia e momento de corte da palma forrageira

Dados de biometria dos clones de palma forrageira foram coletados nas diferentes frequências de corte, afim de mensurar o crescimento, índices morfofisiológicos, fenofases e o momento de corte. Esses dados foram obtidos em uma planta por parcela, totalizando 48 plantas no experimento total. As variáveis foram altura e largura da planta (AP e LP, nessa ordem), número total de cladódios (NTC, unidades), número de cladódios de 1ª ordem (NC1, unidades), e número de ordens superiores, sucessivamente (NC2 – onde o número representa a ordem de surgimento do cladódio).

Também foram obtidos os dados biométricos dos cladódios, sendo escolhido um cladódio para cada ordem, como comprimento, largura, espessura e perímetro do cladódio (CC, LC, EC e PC, nessa ordem). A obtenção dos dados biométricos foram através de fita métrica, com exceção da EC que foi através de paquímetro. A partir desses dados, foi possível calcular a área do cladódio (AC, cm²) para os três clones de palma forrageira e o índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) usando as Equações 2,3,4 e 5, respectivamente (Pinheiro et al., 2014; Silva et al., 2015a).

$$AC_{IPA} = 1.6691 \frac{(1 - \exp(0,0243 \cdot PC))}{-0,0243} \quad (2)$$

$$AC_{MIU} = 0.7198 \cdot CC \cdot LC \quad (3)$$

$$AC_{OEM} = 0.7086 \frac{(1 - \exp(-0.000045765 \cdot CC \cdot LC))}{0.000045765} \quad (4)$$

$$IAC = \frac{(\sum_{n=1}^i AC)}{\frac{10000}{S1 \times S2}} \quad (5)$$

onde: AC – área do cladódio (cm²); CC, LC e PC – comprimento, largura e perímetro do cladódio, respectivamente; 1000 – fator de conversão de cm² para m²; S1 e S2 – espaçamento entre fileiras e entre plantas.

Dados dos índices morfofisiológicos dos três clones de palma forrageira, foram obtidos a partir de análises de regressão, utilizando modelo sigmoidal de três parâmetros (Equação 6), sendo os valores de matéria seca (MS) ou de índice de área do cladódio (IAC), correlacionado

com a variável independente soma térmica, ou graus dias acumulados (GDA, °Cdia), este foi determinado através de dados da temperatura média do ar (°C), e da temperatura base inferior da palma forrageira, que é de 22°C, conforme metodologia de Araújo Junior et al. (2021). Com um alto coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,80$) e a significância dos parâmetros do modelo, a equação foi derivada para determinar a taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹). A partir da TCA, também foram determinadas a taxa de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹), taxa de assimilação líquida (TAL, Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹) e a taxa de área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), conforme metodologia de Souza et al. (2022).

$$y = \frac{a}{1 + e^{\left| \frac{-(x-x_0)}{b} \right|}} \quad (6)$$

onde: y – variável estimada no tempo (variável resposta); a – valor máximo para a taxa (i.e., distância entre as duas assíntotas); b – número de graus dias necessários para o início da taxa; x₀ – número de graus-dias necessário para a planta expressar 50% da taxa máxima (i.e., ponto de inflexão da curva).

Análises de regressão de três parâmetros foram realizadas através das variáveis número de cladódios de cada respectiva ordem, correlacionada com os graus dias acumulados (GDA) (Equação 6). O modelo foi derivado, para obter a taxa de emissão de cladódios. Através da taxa foi determinada a fenofase, considerando mudança quando a taxa de qualquer ordem superior, foi superada pela taxa de emissão de cladódios de ordem anterior (Araújo Júnior et al., 2021a; Souza et al., 2022). Para determinação do momento de corte ideal, foi levado em consideração a taxa de crescimento absoluto, ou do acúmulo de MS (TCA), onde 25% do GDA do máximo acúmulo de biomassa (ou seja, o momento ideal do corte está após 25% da TCA).

2.5 Rendimento de forragem

O rendimento da palma forrageira foi determinado no final de cada 6, 9, 12+6 e 18 meses. No total, foram realizados três cortes de seis meses, dois cortes de 9 e 12+6 meses (onde o segundo corte aos 12+6 meses, foi de apenas 6 meses, completando os 18 meses) e um corte de 18 meses. Em cada corte, foi considerada a parcela útil (fileiras centrais) de desenvolvimento da cultura, permanecendo em campo apenas cladódio basal e cladódios de primeira ordem. Os cladódios foram pesados em balança eletrônica, para determinação do rendimento de massa fresca.

Para determinação do conteúdo de matéria seca, uma planta representativa de cada parcela foi colhida e pesada, permanecendo em campo apenas o cladódio basal, posteriormente, selecionado um cladódio representativo de cada ordem em cada parcela, onde foram pesados,

cortados, acondicionados em sacos de papel e posto em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até obter peso constante. O rendimento final de matéria fresca foi estimado a partir da massa fresca (MF, Mg ha⁻¹) e densidade final de plantas (plantas ha⁻¹), e o rendimento de massa seca (MS, Mg ha⁻¹) foi obtido através do rendimento final de MF e pelo conteúdo de MS.

2.6 Balanço de água no solo

O balanço de água no solo (BAS), que permite quantificar as variáveis de entrada de água no solo (ou seja, precipitação pluviométrica, irrigação, ascensão capilar e escoamento) e as variáveis de saída (ou seja, escoamento superficial, evaporação e drenagem profunda). Nesse estudo, o BAS foi determinado pelo método de Libardi (2005), sendo esse método baseado na lei de conservação da massa de água em um volume de solo conhecido (Equação 7).

$$\pm\Delta h = P + I \pm R \pm Q - E_{Tr} \quad (7)$$

onde: Δh – variação de armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação pluviométrica (mm); I – Irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm), quando for positivo ocorreu ascensão capilar, já negativo ocorreu drenagem; ET – evapotranspiração real (mm).

O monitoramento da umidade do solo, se deu através de uma sonda capacitiva. (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltda, Austrália) e tubos de acessos, inseridos até a profundidade de 0,70 m da superfície, obtendo valores de frequência e umidade a cada 0.10 m. Essa leitura foram realizadas três vezes na semana (segundas, quartas e sextas-feiras), sempre antecedendo os eventos de irrigações. A sonda foi calibrada conforme metodologia de Araújo Primo et al. (2015).

Para determinação dos componentes do BAS, o conjunto de dados foram organizados para obter respostas semanalmente (ou seja, a cada sete dias), levando em consideração a camada controle na profundidade de 0,60 m (z). A variação do armazenamento de água no solo, foi determinada pela diferença entre os valores de armazenamento de água no solo final e inicial.

A precipitação pluviométrica (P), foi monitorada através de um pluviômetro automático da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado próximo a área experimental. Os volumes de água aplicada na irrigação (I) também foram contabilizados, já pelos métodos descritos. No final, os valores de P e I foram somados para um intervalo a cada sete dias. A determinação do escoamento superficial (R), foi realizado através de regressão polinomial ($y = y_0 + ax + bx^2$, $R^2 = 0,92$), com correlação entre a quantidade de água precipitada

e escoada. A água da precipitação pluviométrica escoada foi obtida a partir de instalações de calhas de escoamento com dimensões de 1,00 x 1,00 m (1 m²).

O densidade de fluxo de água no solo (Q) pode ser positivo ou negativo, sendo ascensão capilar (AC = positivo), ou drenagem profunda (DP = negativo), este foi determinado através da equação de Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), que utiliza a condutividade hidráulica do solo $[K(\theta)]$ e o gradiente potencial total de água no solo ($\Delta\psi_t \Delta z^{-1}$), sendo o potencial total de água no solo obtido nas profundidades de 0,50 m 0,70 m, estes parâmetros obtidos através procedimentos descritos por Silva et al. (2015b), utilizando o método do perfil instantâneo (Libardi, 200). Com a determinação dos componentes do BAS, no final foi possível determinar a evapotranspiração real (ETr), que é o resíduo do BAS.

2.7 Indicadores hídrico-econômicos

A determinação dos índices hídricos foi baseada na metodologia de Fernández et al. (2020), que leva em consideração os dados de evapotranspiração real, precipitação pluviométrica, e dados da cultura, como produtividade de matéria fresca e seca. Com isso foi determinada a eficiência do uso da água da cultura (EUAc, m³ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) que leva em consideração a razão do somatório da ETr e da P e I (Equação 8). Também foram determinados índices hídricos, com a eficiência do uso da água (*EUAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 9), a produtividade de água da cultura em razão da MS e evapotranspiração (PAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 10), ou também em relação a quantidade de água recebida via precipitação pluviométrica mais irrigação (*PAc, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 11). Além da produtividade da água de irrigação (PAi, kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 12).

$$EUAc = \frac{\sum ET}{\sum P + I} \quad (8)$$

$$*EUAc = \frac{\text{Biomassa}}{\sum ET} \quad (9)$$

$$PAc = \frac{\text{RendMS}}{\sum ET} \quad (10)$$

$$*PAc = \frac{\text{RendMS}}{\sum P + I} \quad (11)$$

$$PAi = \frac{\text{RendMS}}{\sum I} \quad (12)$$

onde: ETr – evapotranspiração real (m³ ha⁻¹); P + I – precipitação pluviométrica + irrigação (m³ ha⁻¹); Biomassa – produtividade de matéria fresca da cultura (kg ha⁻¹); RendMS – rendimento de matéria seca (kg ha⁻¹).

Com a mesma entrada de dados dos índices hídricos, também foi possível determinar indicadores econômicos, que também precisou ser determinado os custos fixos e variáveis para implantação do palmar. Este estudo utilizou-se como base o dólar americano. Com isso, foi calculado a produtividade bruta econômica da água via irrigação (PBEAi, US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); produtividade líquida econômica da irrigação (PLEi, US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); produtividade econômica da água da cultura (PEAc - US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹); e produtividade econômica da água de irrigação (PEAi - US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) (Equação 13, 14, 15 e 16, respectivamente), obtidos conforme Fernández et al. (2020).

$$PBEAi = \frac{\text{Margem bruta}}{\Sigma I} \quad (13)$$

$$PLEi = \frac{\text{Margem líquida}}{\Sigma I} \quad (14)$$

$$PEAc = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P+I} \quad (15)$$

$$PEAi = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (16)$$

em que: margem bruta – obtido pela diferença entre a receita e os custos variáveis; margem líquida – diferença entre receita e os custos variáveis e fixos; Profit – lucro ou prejuízo produzido pela cultura; P e I – Precipitação pluviométrica e irrigação, respectivamente.

2.8 Análise estatística

Os dados foram coletados e processados em planilhas eletrônicas do Excel, logo depois os dados foram submetidos a análise de normalidade (teste de Shapiro-Wilk), homocedasticidade e análise de variância (ANOVA), pelo teste F (p<0,05). Quando o resultado entre os fatores apresentou significância, realizou-se o desdobramento, caso contrário foi realizado a interpretação dos resultados dos fatores isolados, sendo comparação de média com o teste de Tukey a 5% de probabilidade (p<0,05). As análises estatísticas foram realizadas no software RStudio (R Core Team, 2018).

3. Resultados

3.1 Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte

Quando analisado diferentes manejos de corte nos diferentes clones da palma forrageira, nota-se que apresentou diferente comportamento para índices morfofisiológicos (Figura 2).

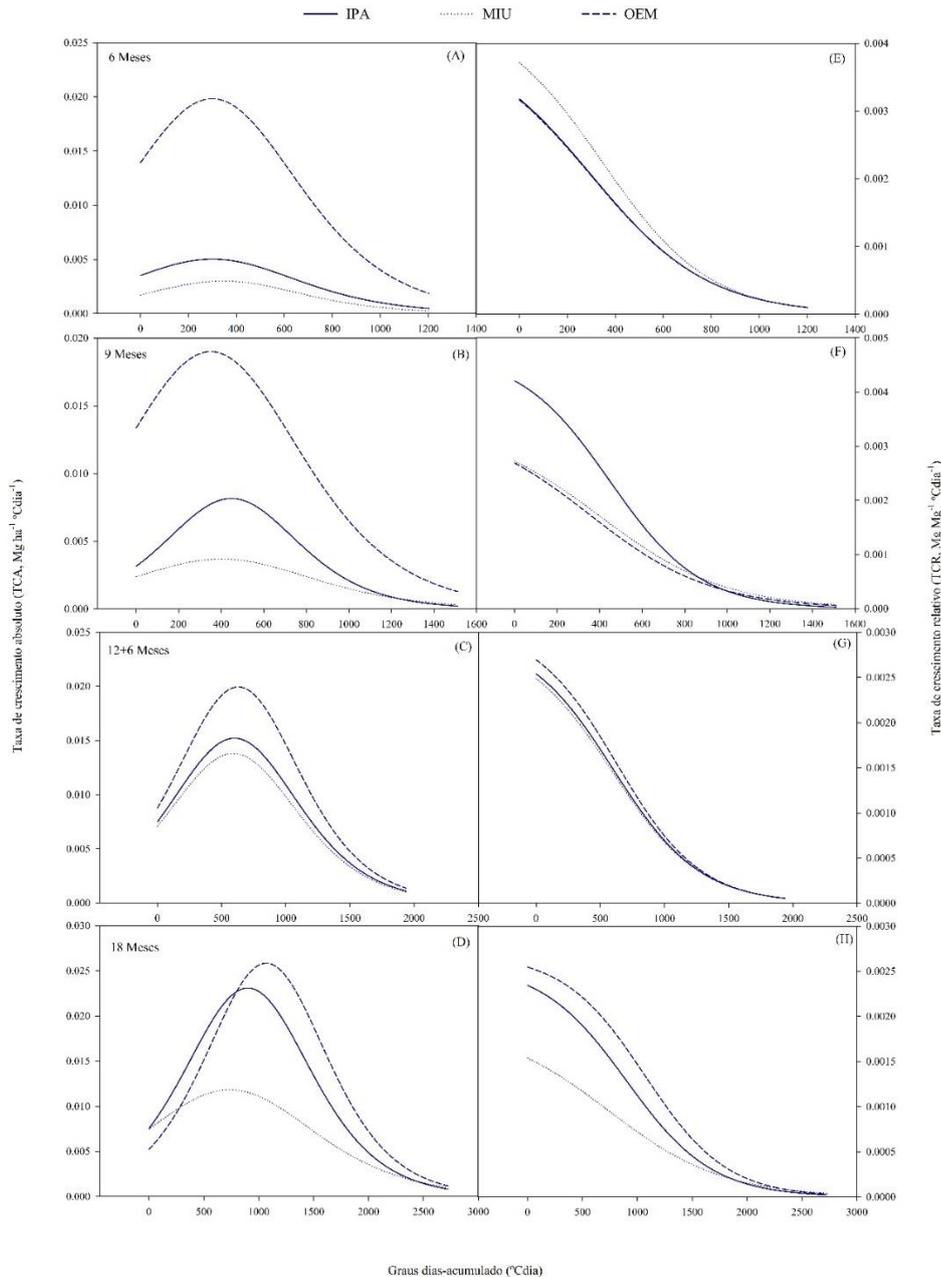


Figura 2. Índices morfofisiológicos [Taxa de crescimento absoluto – TCA (A, B, C e D); e Taxa de crescimento relativo – TCR (E, F, G e H) em cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, sob diferentes manejos de corte (6, 9, 12+6 e 18 meses) em ambiente semiárido.

Tratando-se da taxa de crescimento absoluto (TCA), o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM), do gênero *Opuntia*, apresentou maior acúmulo expressivo de biomassa no início e durante o ciclo da cultura, isso pode ser observado em todos os manejos de corte. Porém sua maior taxa ocorreu aos 18 meses (Figura 2D), sendo $0,02584 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ °Cdia}^{-1}$ [1069.2 °Cdia ~ 206 dias após o corte(DAC)], em seguida dos cortes de 12+6 e 9 meses, sendo

0,0200, 0,01900 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹ (Figura 2C e B, nessa ordem). Com isso o clone OEM, apresentou uma média de 294,6%, 133,0%, 31,2% e 11,9% de aumento na TCA, com relação aos manejos de corte de 6, 9, 12+6 e 18 meses, respectivamente, logo quanto maior o tempo de corte, menor será a diferença entre os clones estudados.

Clone IPA Sertânea (IPA) do gênero *Nopalea* apresentou maior taxa de acúmulo de biomassa em todos os manejos de corte, porém maior taxa ocorreu no corte de 18 meses (0,0231 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, aos 911,6 °Cdia ~ 165 DAC). Também destaca-se que o clone IPA atingiu máxima TCR primeiro que o clone OEM no corte de 18 meses, com uma diferença de aproximadamente 41 DAC.

A taxa de crescimento relativo (TCR) de modo geral, apresentou sua maior taxa no início do ciclo para todos clones e manejos de corte, ocorrendo redução expressiva ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Aos 6 meses o clone MIU foi detentora da maior TCR sendo 0,0037 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹ (Figura 2E), já no manejo de corte aos 9 meses no clone IPA foi a maior TCR (Figura 2F), com um valor médio de 0,0042 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹. Quando observado o clone OEM, o manejo de corte aos 12+6 e 18 meses apresentou a maior taxa, sendo 0,0027 e 0,0025 Mg Mg⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente (Figura 2G e H).

Na Figura 3 são apresentadas as taxas de assimilação líquida (TAL) e área do cladódio específico (ACE) para os três clones de palma forrageira submetida aos diferentes manejos de corte. A TAL apresentou diferentes comportamentos, onde para os manejos de corte de 6 e 9 meses a maior taxa ocorreu no início do ciclo para o clone OEM, sendo 0,097 e 0,020 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente. Porém o comportamento dos clones foram diferentes para os manejos de corte de 12+6 e 18 meses, onde o clone MIU foi superior aos clones OEM e IPA, com isso apresentou uma taxa de assimilação líquida, sendo 0,015 e 0,022 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Vale salientar que para esse clone, a maior TAL, também ocorreu no início do desenvolvimento do ciclo da cultura.

A área do cladódio específica (ACE) no manejo de corte de 9 e 18 meses apresentaram a maior taxa de ACE no início do desenvolvimento do ciclo, onde clone IPA apresentou maior ACE nos manejo de 9 meses (0,7615 ha Mg⁻¹), já aos 18 meses foi o clone OEM (1,03 há Mg⁻¹). Quando observado o comportamento do ACE nos clones estudados, nota-se que o corte realizado aos 6 meses, apresentou uma menor ACE no início do ciclo para os clones OEM e MIU, ocorrendo um aumento até obter a maior ACE, que foi de 0,26 (364 °Cdia⁻¹) e 0,37 (1000 °Cdia⁻¹) ha Mg⁻¹, nessa ordem. Já no corte ao 12 meses, a maior ACE, ocorreu no clone OEM, sendo 0,3581 ha Mg⁻¹ (409 °Cdia⁻¹)

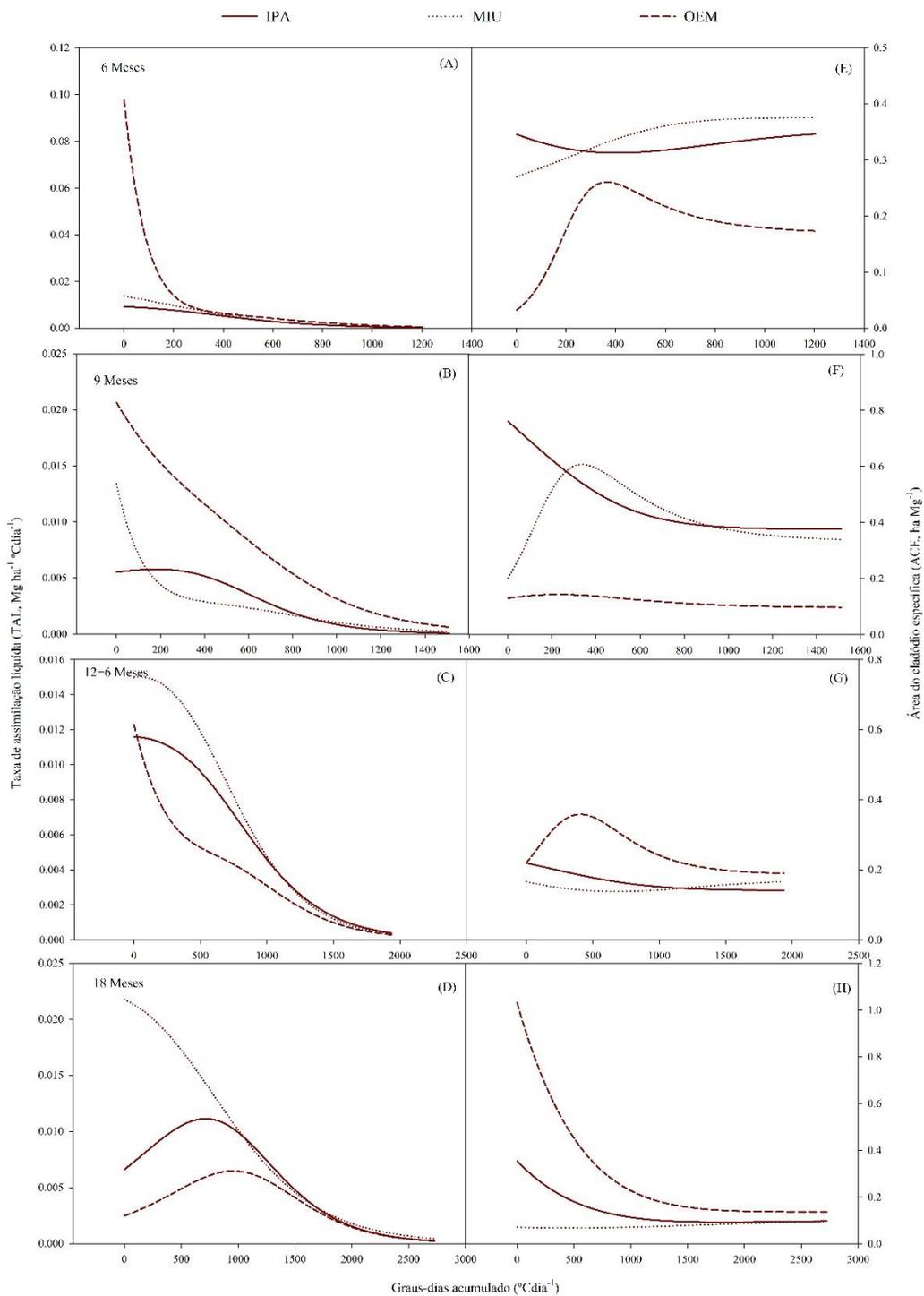


Figura 3. Índices morfofisiológicos [Taxa de assimilação líquida – TAL (A, B, C e D); e Área do cladódio específico - ACE (E, F, G e H) em cultivo de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, sob diferentes manejos de corte (6, 9, 12+6 e 18 meses) em ambiente semiárido.

A utilização de diferentes clones e manejos de corte na palma forrageira, apresentou diferentes respostas, com relação a fenofase e momento de corte ideal (Figura 4). De maneira geral, o clone de palma forrageira MIU, apresentou maior emissão de cladódios, podendo encontrar até emissão de cladódios de 5ª ordem, com relação aos clones IPA e OEM, que apresentaram apenas emissão de cladódios de segunda e terceira ordem. Pode-se observar que a maior emissão de cladódios ocorreu no manejo de corte de 18 meses para os três clones de palma forrageira. Nos clones IPA e OEM apresentaram apenas duas fenofases (fenofases 2 e 3), caracterizada pela emissão de cladódios de segunda e terceira ordem. O clone MIU, apresentou quatro fenofases (representada pela emissão de cladódios de quarta ordem) nos manejos de corte de 12+6 e 18 meses. Vale salientar que embora o clone MIU apresentou emissão de cladódios de 5ª ordem, a taxa de emissão desses cladódios não foi suficiente para ultrapassar a fenofase 4 e ocorrer a fenofase 5.

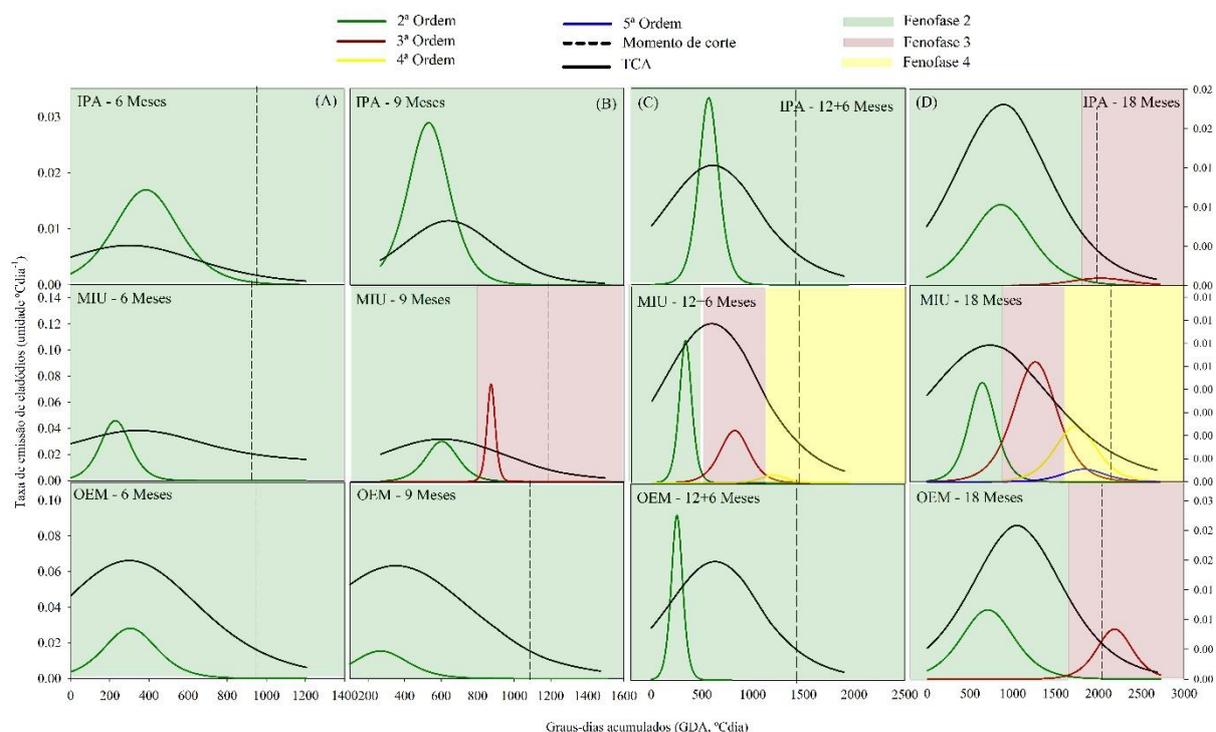


Figura 4. Estádios fenológicos na fase vegetativa de diferentes clones de palma forrageira [Orelha de Elefante Mexicana – OEM, IPA Sertânea – IPA, e Miúda (MIU)], submetida a diferentes manejos de corte [6 meses (A), 9 meses (B), 12+6 meses (C), e 18 Meses (D)] em função dos graus-dias acumulados (GDA, °Cdia), conduzidos no Semiárido brasileiro.

Quando a palma foi manejada com apenas seis meses de cultivos, todos os clones apresentaram apenas emissão de cladódios de segunda ordem, sendo o clone MIU responsável pela maior emissão de cladódios dessa respectiva ordem (0,046 unidades °Cdia⁻¹), com um

aumento da taxa cerca de 104,4% com relação aos outros dois clones estudados. Os clones OEM e IPA, apresentaram apenas 0,028 e 0,017 unidades °Cdia⁻¹.

Observado os clones separadamente, com relação ao diferentes manejos de corte, a maior taxa de emissão de cladódios de segunda ordem, ocorreu nos tratamentos de 9 e 12+6 meses, sendo 0,028 (317 °Cdia) e 0,033 (567 °Cdia) unidades °Cdia⁻¹. O clone MIU, se pode observar que a mudança para a fenofase 3 (representada pela emissão de cladódios de terceira ordem), necessitou de uma menor quantidade de graus-dias acumulado no manejo de 12 meses (505 °Cdia), já os manejos de 9 e 18 meses necessitaram de uma maior quantidade de GDA, sendo 647 e 870 °Cdias. Já o clone OEM também apresentou a maior taxa de emissão de cladódios de segunda ordem, no manejo de corte aos 9 meses (0,015 unidades °Cdia⁻¹).

Avaliando o momento ideal de corte com base na taxa de crescimento absoluto, ou seja, no acúmulo de matéria seca, nota-se que em todos os manejos de cortes, poderia ser realizado a antecipação da colheita. No manejo realizado aos 6 meses independente do clone, a colheita foi antecipada em média aos 942 °Cdia (~171 DAC), antecipando cerca de 12 dias com relação a colheita realizada. Para o corte após 9 meses, observa-se uma maior antecipação para os clones IPA e OEM de 1005,9 e 1107,1° Cdia (~ 187 e 222 DAC, nessa ordem), e o clone MIU necessitou de uma maior quantidade de GDA para realizar o corte (1172,7 °Cdia ~ 242 DAC).

No tratamento de 12+9 meses, não se observa diferença na antecipação do corte da palma forrageira para os diferentes clones, apresentando assim uma média de 1485° Cdia (~ 358 DAC), reduzindo cerca de apenas 7 dias. Já o corte de 18 meses, o clone MIU precisou de uma maior quantidade de GDA (2109 °Cdia ~ 451 DAC) para antecipação do corte, mesmo assim houve uma redução de 117 dias (com relação a colheita do experimento), já os clones IPA e OEM, apresentaram uma antecipação cerca de 146 e 128 dias.

3.2 Dados biométricos

A utilização de diferentes clones de palma forrageira e diferentes manejos de corte, não apresentaram interação significativa entre os fatores estudados ($p > 0,05$), com isso, realizou o estudo dos fatores isolados. Quando analisados os diferentes clones de palma forrageira (Tabela 1), houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as variáveis altura de planta (AP), largura de planta (LP), número total de cladódios (NTC) e número de cladódios de terceira ordem (NC3).

O clone IPA apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), para as variáveis AP e LP, onde apresentou um valor médio de 82,5 e 71,3 cm, respectivamente. Com isso apresentou uma diferença de 14,7 % e 3,51% com relação aos clones MIU e OEM. Já o clone de palma forrageira MIU apresentou maior número médio total de cladódios (22,9 unidades) e de

cladódios de terceira ordem (6,93 unidades). Com isso, esse número foi superior a 30,8% e 35,5% em relação aos clones OEM e IPA, respectivamente (com relação ao NTC). O NC1 e NC2 não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), mas apresentou valor médio de 4,7 e 10,0 unidades, respectivamente.

Tabela 1. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidade) e número de cladódios de 1ª, 2ª e terceira ordem (NC1, NC2 e NC3, nesta ordem) de três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – OEM, Miúda – MIU, e IPA Sertânea – IPA), submetida a diferentes manejos de cortes na região Semiárida brasileira.

Variáveis	Clones		
	IPA	MIU	OEM
AP	82,5 a	71,9 b	79,7 ab
LP	71,3 a	62,6 ab	60,3 b
NTC	16,9 b	22,9 a	17,5 b
NC1	5,43 a	3,93 a	4,87 a
NC2	10,1 a	9,4 a	10,3 a
NC3	0,31 b	6,93 a	1,43 a

*Letras minúsculas iguais na linha não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p > 0,05$).

Analisando somente os manejos de corte (Tabela 2), houve diferença significativa para as variáveis altura de planta, largura de planta, número total de cladódios e número total de cladódios de terceira ordem ($p < 0,05$). Com isso, quando foi realizado o manejo de corte aos 18 meses, apresentou maior valor médio na AP, LP, NTC e NC3 sendo respectivamente 96,1 cm, 82,1 cm, 24,1 unidades e 6,41 unidades, com um incremento de 48,0%, 58,0% e 65,0%, respectivamente. As variáveis número de cladódios de primeira e segunda ordem (NC1 e NC2, respectivamente) não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) apresentando média de 4,7 e 10,0 unidades nessa ordem.

Tabela 2. Altura de planta (AP, cm), largura de planta (LP, cm), número total de cladódios (NTC, unidade) e número de cladódios de 1ª, 2ª e terceira ordem (NC1, NC2 e NC3, nesta ordem) de três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana – OEM, Miúda – MIU, e IPA Sertânea – IPA), submetida a diferentes manejos de cortes na região Semiárida brasileira.

Variáveis	Manejos de Corte			
	6	9	12+6	18
Meses				
AP	65,3 c	69,5 c	81,1 b	96,1 a
LP	51,9 c	57,5 bc	67,5 b	82,1 a
NTC	14,7 c	15,5 bc	22,0 ab	24,2 a
NC1	4,58 a	4,80 a	5,00 a	4,58 a
NC2	9,16 a	8,16 a	11,9 a	10,6 a
NC3	0,00 c	1,33 bc	3,83 ab	6,41 a

*Letras minúsculas iguais na linha não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância ($p > 0,05$).

3.3 Rendimento de forragem

A utilização dos diferentes clones e dos manejos de corte na cultura da palma forrageira apresentou diferentes respostas, com isso pode-se observar que houve diferença significativa entre os fatores clone e manejo de corte ($p < 0,05$) (Tabela 3).

A cultura da palma forrageira apresentou um ciclo de 568 DAC, com isso, quando analisado apenas a produtividade do quarto corte (10 de maio de 2022), onde foi realizado a aplicação de todos os tratamentos, observou-se que para todos os clones a maior produtividade ocorreu aos 18 meses, mas a configuração que foi detentora do maior rendimento de massa fresca (MF) e massa seca (MS), foi o clone OEM manejado aos 18 meses, com um total médio de 257,7 Mg ha⁻¹ e 21,6 Mg ha⁻¹, apresentando superioridade de 267,4%, 170,9% e 187,9% na produção de MF, com relação ao manejo de corte de 6, 9 e 12+6 meses, respectivamente. Já para a MS houve um aumento de 239,0%, 188,7% e 245,0%, nesta mesma ordem do manejo de corte.

Quando analisado o somatório total da produtividade de MF e MS dos três clones de palma forrageira, nos diferentes manejos de corte, ocorreu para o clone OEM não apresentando diferença significativa para os manejos de corte, com isso, as configurações de maior rendimento de forragem foram: OEM-6 meses (321,3 e 21,3 Mg ha⁻¹), OEM-9 meses (315,5 e

22,9 Mg ha⁻¹), OEM-12+6 meses (257,2 e 19,8 Mg ha⁻¹) e OEM-18 meses (251,7 e 21,6 Mg ha⁻¹) de MF e MS, nessa ordem.

Tabela 3. Rendimento de massa fresca e seca (Mg ha⁻¹) da palma forrageira, clones Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, submetida a diferentes manejos de corte em um região Semiárida brasileira.

		Rendimento de matéria fresca (Mg ha ⁻¹)			
Cortes	Clone	Manejo de corte			
		6 Meses	9 Meses	12+6 Meses	18 Meses
Y ₁ ^o Corte	IPA	39,1	-	-	-
	MIU	26,2	-	-	-
	OEM	187,2	-	-	-
Y ₂ ^o Corte	IPA	-	56,1	-	-
	MIU	-	61,4	-	-
	OEM	-	222,5	-	-
Y ₃ ^o Corte	IPA	17,1	-	70,0	-
	MIU	9,11	-	51,2	-
	OEM	65,6	-	169,8	-
Y ₄ ^o Corte	IPA	10,8 bB	33,1 bB	27,6 bB	98,3 bA
	MIU	6,75 bC	30,9 bB	13,6 bBC	67,6 bA
	OEM	68,5aB	92,9 aB	87,4 aB	251,7 aA
Y _{Soma}	IPA	67,0 bA	89,2 bA	97,6 bA	98,3 bA
	MIU	42,1 bA	92,9 bA	64,8 bA	67,6 bA
	OEM	321,3 aA	315,5 aA	257,2 aA	251,7 Aa
		Rendimento de matéria seca (Mg ha ⁻¹)			
Cortes	Clone	Manejo de corte			
		6 Meses	9 Meses	12 Meses	18 Meses
Y ₁ ^o Corte	IPA	2,37	-	-	-
	MIU	1,75	-	-	-
	OEM	12,33	-	-	-
Y ₂ ^o Corte	IPA	-	3,08	-	-
	MIU	-	4,26	-	-
	OEM	-	15,4	-	-
Y ₃ ^o Corte	IPA	1,66	-	6,05	-
	MIU	1,17	-	4,96	-
	OEM	4,05	-	13,6	-
Y ₄ ^o Corte	IPA	0,68 bC	2,39 bB	1,71 bBC	7,42 bA
	MIU	0,44 bC	2,25 bB	0,95 bC	6,17 bA
	OEM	4,92 aB	7,48 aB	6,26 aB	21,6 aA
Y _{Soma}	IPA	4,72 bA	5,48 bA	7,77 bA	7,42 bA
	MIU	3,36 bA	6,51 bA	5,91 bA	6,17 bA
	OEM	21,3 aA	22,9 aA	19,8 aA	21,6 aA

*Letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas iguais na linha, não apresentam diferença estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Y₁^o Corte – 14/04/2021; Y₂^o Corte – 13/07/2021; Y₃^o Corte – 12/10/2021; Y₄^o Corte – 10/05/2022; Y_{Soma} – soma de todas produtividades para cada manejo de corte.

Importante destacar que embora não apresentou diferença entre os manejos de corte para o clone OEM, o rendimento de MF aos 6 meses apresentou-se superior ao rendimento de 18

meses, cerca de 27,6%. Se tratando dos clones do gênero *Nopalea* (IPA e MIU), não apresentaram diferença estatisticamente entre si ($p > 0,05$) no rendimento de MS e MF, porém a tendência mostrada é que o maior rendimento ocorra para o clone IPA, em relação ao clone MIU.

3.4 Balanço de água no solo

Os componentes do BAS nos três clones de palma forrageira, no manejo de corte de 6 meses (Tabela 4), observa-se que para todos os clones estudados o terceiro corte que foi realizado em 10 de maio de 2022 (período total de 210 dias), apresentou maior precipitação pluviométrica (791,1 mm), sendo o terceiro período (04 de janeiro de 2022 à 09 de maio de 2022), responsável por 37% da P total (292 mm). Nesse mesmo corte ocorreu maior evento de escoamento superficial de água (-102,5 mm, em média 1,46 mm dia⁻¹) e o terceiro período ocorreu 48% da perda total do R. Maior quantidade de água aplicada na cultura da palma forrageira via irrigação foi no segundo corte (12 de outubro de 2021 ~ 182 dias), sendo 119,2 mm, onde no quarto período (22 de agosto de 2021 a 11 de outubro de 2021) foi responsável por 50% do total da I.

A densidade do fluxo apresentou variação entre os clones, tanto para drenagem profunda (DP) ou ascensão capilar (AC). A maior DP total ocorreu no terceiro corte para o clone IPA Sertânea (IPA), com -8,88 mm, e os clones MIU e OEM apresentaram menor DP no somatório dos três cortes realizados a cada 6 meses (-2,00 e 5,61 mm, respectivamente). A AC foi maior no sistema com os clones OEM e IPA, quando somado os três cortes (14,7 mm), e um acréscimo de 154%, com relação ao clone MIU que apresentou apenas 5,78 mm. A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi positivo para os três clones de palma forrageira no primeiro corte, sendo 8,22, 10,4 e 2,22 mm nos clones MIU, IPA e OEM, respectivamente. No terceiro corte ocorreu apenas para o clone IPA (1,50 mm).

O resíduo do BAS que mostra a evapotranspiração real (ET_r), foi maior no terceiro corte (10 de outubro de 2021 a 09 de maio de 2022) para todos três clones estudados, devido ao maior número de dias que esse corte apresentou, e por ter ocorrido maior precipitação pluviométrica. Os valores de ET_r respectivamente foram -752,1 mm (~3,58 mm dia⁻¹), -742,6 mm (3,53 mm dia⁻¹) e -755,1 mm (3,6 mm dia⁻¹), nos clones MIU, IPA e OEM

Tabela 4. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 6 meses em ambiente semiárido.

MIU – 6 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	42		0,00	0,03	53,2	59,6	-3,16	13,2	-96,5
2	42	1	-0,05	0,00	84,2	22,3	-4,87	-6,82	-108,4
3	42		-0,12	0,24	154,0	0,00	-10,7	1,85	-141,6
Soma	126	-	-0,17	0,27	291,4	81,9	-18,7	8,22	-346,5
1	42		-1,19	2,26	203,2	0,00	-47,0	5,17	-152,0
2	42	2	-0,19	0,88	50,0	22,3	-1,97	17,1	-54,0
3	42		0,00	0,38	1,60	37,2	0,00	-20,4	-59,7
4	56		0,00	0,08	8,60	59,6	-0,14	-17,2	-85,4
Soma	182	-	-1,39	3,60	263,4	119,2	-48,6	-15,4	--351,1
1	42		-0,05	0,00	94,8	29,8	-6,38	-2,40	-120,6
2	42		-0,24	0,19	126,3	29,8	-16,5	22,5	-117,1
3	42	3	0,00	0,60	292,0	0,00	-49,0	15,7	-227,9
4	42		-0,13	0,41	214,4	0,00	-28,1	-2,81	-189,4
5	42		-0,01	0,11	63,6	0,00	-2,59	-36,0	-97,1
Soma	210	-	-0,42	1,31	791,1	59,6	-102,5	-3,00	-752,1
IPA – 6 Meses									
1	42		0,00	0,01	53,2	59,6	-3,16	-4,10	-113,8
2	42	1	0,00	0,00	84,2	22,3	-4,87	-0,86	-102,5
3	42		-0,01	8,51	154,0	0,00	-10,7	13,3	-136,5
Soma	126	-	-0,01	8,52	291,4	81,9	-18,7	10,4	-352,8
1	42		-0,16	0,70	203,2	0,00	-47,0	-8,01	-164,7
2	42	2	0,00	0,60	50,0	22,3	-1,97	22,9	-48,1
3	42		-0,01	0,13	1,60	37,2	0,00	-27,3	-66,2
4	56		0,00	0,02	8,60	59,6	-0,14	-17,0	-85,1
Soma	182	-	-0,17	1,44	181,6	119,2	-48,6	-29,3	-364,0
1	42		0,00	0,00	94,8	29,8	-6,38	0,51	-117,7
2	42		-8,85	2,47	126,3	29,8	-16,5	34,9	-98,3
3	42	3	0,00	0,52	292,0	0,00	-49,0	11,4	-232,1
4	42		-0,02	0,52	214,4	0,00	-28,1	-5,90	-192,7
5	42		0,00	1,25	63,6	0,00	-2,59	-39,5	-101,7
Soma	210	-	-8,88	4,76	791,1	59,6	-102,5	1,50	--742,6
OEM– 6 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	42		-0,08	0,24	53,2	59,6	-3,16	4,17	-105,6
2	42	1	0,00	0,01	84,2	22,3	-4,87	-11,7	-113,4
3	42		-0,17	0,41	154,0	0,00	-10,7	9,76	-133,8
Soma	126	-	-0,26	0,66	291,4	81,9	-18,7	2,20	-352,9
1	42		-1,33	1,36	203,2	0,00	-47,0	0,86	-155,3
2	42	2	-0,09	1,54	50,0	22,3	-1,97	16,5	-55,3
3	42		-0,13	0,36	1,60	37,2	0,00	-16,4	-55,5
4	56		-0,01	0,27	8,60	59,6	-0,14	-20,1	-88,5
Soma	182	-	-1,56	3,52	181,6	119,2	-48,6	-19,2	-354,6
1	42		0,00	0,01	94,8	29,8	-6,38	-3,59	-121,8
2	42		-3,27	7,52	126,3	29,8	-16,5	28,9	-114,0
3	42	3	0,00	1,76	292,0	0,00	-49,0	9,00	-235,8
4	42		-0,52	0,36	214,4	0,00	-28,1	3,44	-189,6
5	42		-0,01	0,51	63,6	0,00	-2,59	-32,3	-93,8
Soma	210	-	-3,79	10,2	791,1	59,6	-102,5	-0,50	-755,1

*P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real. Primeiro corte – 14 de abril de 2021; segundo corte – 12 de outubro de 2021; e terceiro corte – 10 de maio de 2022.

Os componentes de entrada e saída de água do BAS foi influenciado no manejo de corte a cada 9 meses, nos diferentes clones de palma forrageira (Tabela 5). A maior entrada de água no sistema solo, foi através da precipitação pluviométrica e irrigação, na aplicação do segundo corte (10 de maio de 2022), com um total de 886,3 mm (737,3 mm de P e 149,0 mm de I). Nesse corte, o sexto período (15 de março de 2022 à 09 de maio de 2022) ocorreu maior P sendo 349,3 mm, correspondendo a 47% do total da P. O mesmo ocorreu para I, porém no período 2 (31 de agosto de 2021 a 01 de novembro de 2021), sendo 44,7 mm.

Em decorrência da precipitação pluviométrica, ocorreu também nesse mesmo corte, maior perda de água por escoamento superficial (R), sendo -84,5 mm para os três clones, sendo no sexto período que ocorreu maior perda (-56,2 mm, com aproximadamente 67% do total do R). A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi positiva no primeiro corte, sendo 24,4 mm, 19,8 mm e 7,50 mm para os clones IPA, MIU e OEM. Enquanto no segundo corte apresentaram valores negativos -32,9 mm, -28,7 mm e -17,5 mm, nessa mesma ordem.

A perda de água por drenagem profunda (DP) foi maior no clone IPA Sertânea (-31,0 mm) no segundo corte realizado. Quando observado o clone MIU apresentou maior ascensão capilar (14,5 mm), em seguida os clones IPA e OEM, sendo 7,80 mm e 2,44, respectivamente. Os maiores valores médios da ETr foram no segundo corte, não apresentando diferença expressiva entre os clones, com um valor médio de 841,8 (~ 1,62 mm dia⁻¹), 816,5 (~ 1,56 mm dia⁻¹), e 811,6 mm (~ 1,56 mm dia⁻¹) para os clones MIU, OEM e IPA, respectivamente. Com relação ao primeiro corte ocorreu um aumento de 47%, 45% e 41% da ETr nos clones MIU, IPA e OEM, nessa ordem.

Tabela 5. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 9 meses em ambiente semiárido.

MIU – 9 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	42		0,00	1,54	53,4	67,1	-3,16	3,48	-115,3
2	42		0,00	0,03	84,2	22,3	-4,87	-0,18	-101,9
3	42	1	-2,53	0,43	154,0	0,00	-10,7	2,51	-138,7
4	42		-2,53	2,52	203,2	0,00	-47,0	0,77	-155,1
5	49		-0,49	3,49	50,2	22,3	-1,97	13,2	-60,4
Soma	217	-	-5,82	8,02	545,0	111,7	-67,7	19,8	-571,5
1	49		-0,37	0,79	1,20	37,2	0,00	-19,2	-58,1
2	49		0,00	0,22	8,60	44,7	-0,14	-13,9	-67,3
3	49	2	0,00	0,01	94,8	29,8	-7,47	15,2	-101,9
4	49		-0,16	12,1	115,2	37,2	-9,97	2,76	-151,7
5	49		-1,01	0,87	168,2	0,00	-10,7	29,1	-128,3
6	56		-1,76	0,47	349,3	0,00	-56,2	-42,7	-334,5
Soma	301	-	-3,30	14,5	737,3	149,0	-84,5	-28,7	-841,8
IPA – 9 Meses									
1	42		0,00	0,01	53,4	67,1	-3,16	11,4	-105,5
2	42		0,00	0,00	84,2	22,3	-4,87	-10,4	-112,1
3	42	1	-0,78	0,00	154,0	0,00	-10,7	11,5	-131,1
4	42		-4,03	0,17	203,2	0,00	-47,0	0,22	-152,1
5	49		-1,01	0,04	50,2	22,3	-1,97	11,6	-57,9
Soma	217	-	-5,82	0,24	545,0	111,7	-67,7	24,4	-559,0
1	49		-0,53	0,00	1,20	37,2	0,00	-19,3	-57,2
2	49		0,00	0,00	8,60	44,7	-0,14	-15,9	-69,0
3	49	2	0,00	0,00	94,8	29,8	-7,47	15,5	-101,6
4	49		-29,2	7,68	115,2	37,2	-9,97	0,99	-120,0
5	49		-0,49	0,08	168,2	0,00	-10,7	20,8	-136,3
6	56		-0,75	0,03	349,3	0,00	-56,2	-35,1	-327,5
Soma	301	-	-31,0	7,80	737,3	149,0	-84,5	-32,9	-811,6
OEM – 9 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	42		0,00	0,03	53,4	67,1	-3,16	-2,97	-120,3
2	42		0,00	0,01	84,2	22,3	-4,87	-6,12	-107,8
3	42	1	-1,01	0,12	154,0	0,00	-10,7	12,1	-130,4
4	42		-0,89	0,70	203,2	0,00	-47,0	-0,50	-156,4
5	49		-0,19	0,50	50,2	22,3	-1,97	4,90	-66,0
Soma	127	-	-2,10	1,36	545,0	111,7	-67,7	7,50	-580,9
1	49		-1,70	0,06	1,20	37,2	0,00	-9,30	-46,1
2	49		-0,01	0,01	8,60	44,7	-0,14	-14,3	-67,4
3	49	2	0,00	0,00	94,8	29,8	-7,47	10,4	-106,7
4	49		-3,25	2,15	115,2	37,2	-9,97	2,41	-139,0
5	49		-0,17	0,11	168,2	0,00	-10,7	15,8	-141,6
6	56		-0,15	0,11	349,3	0,00	-56,2	-22,6	-315,6
Soma	301	-	-5,24	2,44	737,3	149,0	-84,5	-17,5	-816,5

*P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real.

Em decorrência dessa entrada, ocorreu também nesse mesmo período um maior escoamento superficial, sendo -84,5 mm, para os três clones. No segundo corte não houve armazenamento de água no solo (ou seja, foram encontrados valores negativos), com isso, o

primeiro corte (13 de julho de 2021) foi responsável por apresentar armazenamento de água positivo para os três clones de palma forrageira, sendo 24,4, 19,8 mm e 7,50 mm para os clones IPA, MIU e OEM, respectivamente.

A perda de água por drenagem profunda (DP) foi maior no clone IPA Sertânea (-31,0 mm) no segundo corte realizado. Quando observado o clone MIU apresentou maior ascensão capilar (14,5 mm), em seguida os clones IPA e OEM, sendo 7,80 mm e 2,44, respectivamente. Os maiores valores médios da ETr foram no segundo corte, não apresentando diferença expressiva entre os clones, com um valor médio de 841,8 (~ 1,62 mm dia⁻¹), 816,5 (~ 1,56 mm dia⁻¹), e 811,6 mm (~ 1,56 mm dia⁻¹) para os clones MIU, OEM e IPA, respectivamente. Com relação ao primeiro corte ocorreu um aumento de 47%, 45% e 41% da ETr nos clones MIU, IPA e OEM, nessa ordem.

Analisando os componentes do balanço hídrico quando a palma foi manejada aos 12+6 meses (Tabela 6). No primeiro corte a precipitação pluviométrica (P) e irrigação (I) foi 554,8 mm e 201,1 mm e no segundo corte foi 791,1 mm e 59,6 mm. Os maiores valores de escoamento superficial (R) coincidiram com os períodos chuvosos, sendo -42,5 mm e -49,0 mm no primeiro e segundo ciclo, respectivamente (terceiro período). O total de R foi de -67,8 mm e -102,5 mm. Os valores médios de ascensão capilar (AC) e drenagem profunda (DP) variou nos períodos estudados. A maior AC ocorreu no clone OEM no segundo corte (7,64 mm), em seguida dos clones MIU e IPA, sendo 2,64 mm e 1,65 mm (no primeiro corte). A DP apresentou maior perda no clone OEM, em seguida da MIU e IPA, sendo -16,2 mm, -6,82 mm e -0,45 mm, respectivamente (isto foi no primeiro corte).

Ao utilizar o clone OEM no corte 12+6 meses no segundo corte (210 dias), houve maior armazenamento de água no solo (ΔA), sendo 16,4 mm. Já os clones IPA e MIU foram 5,48 mm e 0,96 mm, respectivamente. O primeiro corte realizado (308 dias), apresentou valores médios negativos de ΔA . A ETr variou entre os cortes, porém no segundo corte ocorreu maiores valores, mas variou pouco em relação aos clones, com valor médio de -739,0 mm (3,51 mm dia⁻¹).

Tabela 6. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 12 meses em ambiente semiárido.

MIU – 12+6 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	63		-0,06	1,71	54,9	81,9	-3,24	-1,95	-141,7
2	63		-2,83	0,05	232,0	0,00	-15,5	19,4	-194,4
3	63	1	-3,30	0,84	220,0	0,00	-42,5	-7,33	-177,3
4	63		-0,58	0,03	34,8	59,6	-1,50	5,72	-88,6
5	56		-0,05	0,01	8,60	59,6	-0,14	-20,1	-88,1
Soma	308	-	-6,82	2,64	554,8	201,1	-67,8	-4,32	-688,2
IPA – 12+6 Meses									
1	42		0,00	0,00	94,8	29,8	-6,38	-1,92	-120,1
2	42		-2,92	0,34	126,3	29,8	-16,5	26,9	-110,1
3	42	2	-0,02	1,32	292,0	0,00	-49,0	19,9	-224,4
4	42		-0,62	0,43	214,4	0,00	-28,0	-7,52	-193,7
5	42		-0,10	0,01	63,6	0,00	-2,59	-36,5	-97,4
Soma	210	-	-3,66	2,10	791,1	59,6	-102,5	0,96	-745,7
IPA – 12+6 Meses									
1	63		0,00	0,03	54,9	81,9	-3,24	-10,2	-148,4
2	63		-0,26	0,06	232,0	0,00	-15,5	11,7	-204,6
3	63	1	-0,19	1,35	220,0	0,00	-42,5	-8,24	-181,9
4	63		-0,01	0,14	34,8	59,6	-1,50	7,42	-85,6
5	56		0,00	0,07	8,60	59,6	-0,14	-20,6	-112,3
Soma	308	-	-0,45	1,65	554,8	201,1	-67,8	-19,9	-732,8
1	42		0,00	0,00	94,8	29,8	-6,38	-6,56	-124,8
2	42		-0,02	0,68	126,3	29,8	-16,5	31,3	-109,0
3	42	2	0,00	0,10	292,0	0,00	-49,0	13,2	-229,9
4	42		-0,03	0,14	214,4	0,00	-28,0	-2,75	-189,2
5	42		0,00	0,06	63,6	0,00	-2,59	-29,7	-90,8
Soma	210	-	-0,06	0,97	791,1	59,6	-102,5	5,48	-743,7
OEM – 12+6 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	63		-0,29	0,01	54,9	81,9	-3,24	-15,8	-153,6
2	63		-5,33	0,02	232,0	0,00	-15,5	18,3	-193,9
3	63	1	-8,95	0,23	220,0	0,00	-42,5	-9,92	-173,7
4	63		-1,34	0,03	34,8	59,6	-1,50	-1,11	-92,7
5	56		-0,25	0,01	8,60	59,6	-0,14	-24,7	-116,1
Soma	308	-	-16,2	0,30	554,8	201,1	-67,8	-33,2	-729,0
1	42		0,00	0,00	94,8	29,8	-6,38	-1,86	-120,1
2	42		-5,76	7,58	126,3	29,8	-16,5	35,6	-105,8
3	42	2	-1,22	0,05	292,0	0,00	-49,0	11,5	-230,4
4	42		-2,64	0,04	214,4	0,00	-28,0	-2,3	-186,1
5	42		-0,81	0,01	63,6	0,00	-2,59	-26,0	-86,2
Soma	210	-	-10,4	7,67	791,1	59,6	-102,5	16,9	-728,6

*P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real.

Quando analisado a Tabela 7, observou-se que o corte realizado apenas uma vez aos 18 meses, apresentou no sistema maior entrada de água, sendo 1345,9 mm via precipitação pluviométrica e 260,7 mm via irrigação, ocorrendo perda de água por escoamento superficial

(-170,3 mm). Para esse manejo não ocorreu variação de armazenamento de água no solo, sendo negativo para todos clones e a ETr média foi de 1104,7 mm (2,8 mm dia⁻¹)

Tabela 7. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em três clones de palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea, no manejo de corte de 18 meses em ambiente semiárido.

MIU – 18 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	63		0,00	0,85	59,9	91,9	-3,24	-10,5	-149,5
2	63		-0,30	10,3	232,0	0,00	-15,5	18,2	-208,3
3	63		-0,16	9,64	220,0	0,00	-47,5	-8,25	-190,2
4	63	1	0,00	1,62	34,8	59,6	-1,50	6,29	-88,2
5	63		-0,04	0,15	12,7	67,1	-0,17	-22,6	-102,3
6	63		0,00	0,00	115,2	52,1	-6,87	5,62	-154,8
7	63		-0,95	3,30	404,9	0,00	-65,1	22,6	-319,5
8	77		-0,05	1,63	266,9	0,00	-30,4	-23,7	-261,8
Soma	518	-	-1,51	27,5	1345,9	260,7	-170,3	-12,3	1474,7
IPA – 18 Meses									
1	63		-0,39	0,00	59,9	91,9	-3,24	-12,5	-150,2
2	63		-2,01	0,02	232,0	0,00	-15,5	16,9	-197,7
3	63		-2,26	0,33	220,0	0,00	-47,5	-12,1	-182,6
4	63	1	-0,37	0,02	34,8	59,6	-1,50	11,4	-81,2
5	63		-0,03	0,01	12,7	67,1	-0,17	-21,6	-101,2
6	63		0,00	0,00	115,2	52,1	-6,87	4,41	-156,0
7	63		-2,34	5,19	404,9	0,00	-65,1	19,8	-322,9
8	77		-0,89	0,04	266,9	0,00	-30,4	-19,8	-255,4
Soma	518	-	8,28	5,60	1345,9	260,7	-170,3	-13,5	-1447,2
IPA – 18 Meses									
Período	Dias	Corte	DP	AC	P	I	R	ΔA	ETr
1	63		-0,10	0,16	59,9	91,9	-3,24	-9,50	-147,6
2	63		-0,38	0,35	232,0	0,00	-15,5	16,5	-200,0
3	63		-3,95	2,33	220,0	0,00	-47,5	-13,5	-184,4
4	63	1	-0,22	0,79	34,8	59,6	-1,50	4,10	-89,4
5	63		0,00	0,89	12,7	67,1	-0,17	22,0	-102,5
6	63		0,00	0,04	115,2	52,1	-6,87	1,81	-158,6
7	63		-1,76	3,01	404,9	0,00	-65,1	35,1	-306,0
8	77		-0,78	0,72	266,9	0,00	-30,4	-25,7	-262,0
Soma	518	-	-7,19	8,27	1345,9	260,7	-170,3	-13,2	-1450,8

*P = Precipitação pluviométrica (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); AC = Ascensão capilar (mm); R = escoamento superficial (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm) e, ETr = Evapotranspiração real

3.4 Indicadores hídrico-econômicos

A receita apresentou diferentes respostas com relação ao clone e a frequência de corte, sendo maior para o clone OEM na frequência de 6 meses (9250,5 US\$). Devido a isso, este mesmo clone apresentou a maior margem bruta (MB) e margem líquida (ML) na mesma frequência de corte (6 meses). Se tratando dos clones do gênero *Nopalea* (IPA e MIU), apresentaram ML negativa para todas as frequências de corte.

Tabela 8. Benefícios econômicos e indicadores hídrico-econômicos em três clones de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânea) submetida a diferentes frequências de corte, cultivada em uma região Semiárida brasileira.

Indicadores hídricos e econômicos	Clone	Manejo de corte			
		6	9	12+6	18
		Meses			
Receita (US\$)	MIU	1212,1	2674,7	1865,6	1946,3
	IPA	1928,9	2568,1	2809,9	2830,1
	OEM	9250,5	9083,5	7404,9	7246,6
CO (US\$)	MIU	14035,5	11156,4	19793,7	14035,5
	IPA	10796,5	15115,2	12595,9	10796,5
	OEM	14755,3	8997,1	19073,9	14755,3
MB (US\$)	MIU	567,4	2030,0	1221,0	1301,6
	IPA	1284,3	1923,5	2165,3	2185,5
	OEM	8605,8	8438,9	6760,3	6602,0
ML (US\$)	MIU	-3221,7	-1759,1	-2568,1	-2487,5
	IPA	-2504,8	-1865,6	-1623,8	-1603,6
	OEM	4816,7	4694,7	2971,2	2812,9
EUAc	MIU	0,91	0,87	0,90	0,92
	IPA	0,91	0,86	0,92	0,90
	OEM	0,91	0,88	0,91	0,91
*EUAc	MIU	0,24	0,49	0,43	0,44
	IPA	0,34	0,42	0,55	0,54
	OEM	1,53	1,70	1,43	1,56
PAc	MIU	0,23	0,47	0,41	0,42
	IPA	0,32	0,40	0,53	0,51
	OEM	1,46	1,62	1,36	1,49
*PAc	MIU	0,21	0,41	0,37	0,39
	IPA	0,29	0,34	0,49	0,46
	OEM	1,33	1,43	1,24	1,35
PAi	MIU	1,30	2,60	2,30	2,40
	IPA	1,90	2,20	3,10	2,90
	OEM	8,40	9,00	7,80	8,50
PBEAi	MIU	0,22	0,80	0,48	0,51
	IPA	0,50	0,76	0,85	0,86
	OEM	3,38	3,31	2,65	2,59
PLEi	MIU	-1,26	-0,69	-1,01	-0,98
	IPA	-0,98	-0,73	-0,64	-0,63
	OEM	1,89	1,83	1,17	1,10
PEAc	MIU	0,88	0,70	1,24	0,88
	IPA	0,67	0,94	0,79	0,67
	OEM	0,92	0,56	1,19	0,92
PEAi	MIU	5,51	4,38	7,77	5,51
	IPA	4,24	5,93	4,94	4,24
	OEM	5,79	3,53	7,49	5,79

*CO = custos de oportunidade; MB = margem bruta; ML = margem líquida; EUAc e *EUAc = eficiência do uso da cultura ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e $\text{kg ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, nesta ordem); PAc e *PAc = produtividade da água da cultura ($\text{kg ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); PAi = produtividade da água via irrigação ($\text{kg ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); PBEAi = produtividade bruta econômica da água via irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); PLEi = produtividade econômica líquida da água via irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); PEAc = produtividade econômica da água da cultura ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); PEAi = produtividade econômica da água via irrigação ($\text{US\$ ha}^{-1} \text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

A eficiência do uso da água (EUAc), que leva em consideração a evapotranspiração real e a entrada de água através da precipitação pluviométrica e irrigação, não se diferenciou expressivamente entre os clones e as frequências de corte, variando de 0,86 a 0,92, apresentando uma média de 0,89. Os indicadores *EUAc, PAc, *PAc e PAi, foram maiores para o clone OEM, em todas as frequências de corte, destacando-se a frequência de 9 meses (1,70, 1,62, 1,43 e 9,0 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹).

Com relação aos indicadores econômicos a produtividade bruta econômica da água via irrigação (PBEAi), produtividade econômica líquida da água via irrigação (PLEi) e a produtividade econômica da água da cultura (PEAc), foi maior para o clone OEM, isto com relação aos clones IPA e MIU. Os clones IPA e MIU apresentaram valores negativos de PLEi. A produtividade econômica da água via irrigação (PEAi), apresentou diferença sendo maior para o clone MIU na frequência de 12+6 meses (5,51 e 7,77 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹), o clone IPA na frequência de 9 meses (3,53 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹) e o clone OEM nas frequências de 6 e 18 meses (5,79 US\$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, para as duas frequências).

4. Discussão

4.1 Índices morfofisiológicos, fenofase e momento de corte

Os índices morfofisiológicos foram influenciados pelos diferentes clonees de palma forrageira, assim como pela frequência de corte. A taxa de crescimento absoluto (TCA), retrata a variação ao longo do tempo e do espaço do crescimento da cultura (Rees et al., 2010). A baixa TCA no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, está relacionado ao baixo número de células, o que resulta em uma menor área de cladódio, não permitindo uma maior realização de fotossíntese, consequentemente menor conversão dos fotoassimilados em matéria seca (Nunes et al., 2020).

Nesse estudo, a maior TCA ocorreu no clone OEM em todos em todas as frequências de corte, destacando-se a frequência de 18 meses. Esse resultado está atrelado principalmente as características genéticas exclusivas de cada clone, pois clones do gênero *Opuntia* apresentam uma maior área de cladódio, permitindo uma maior eficiência fotossintética, favorecendo assim um maior acúmulo de matéria seca ao longo do ciclo, com relação aos clones do gênero *Nopalea* (IPA e MIU) (Araújo Júnir et al., 2021a). Rocha et al. (2017) e Jardim et al. (2021c), ainda destacam que clones do gênero *Opuntia*, apresentam melhor adaptação e plasticidade do metabolismo fotossintético em regiões semiáridas, quando irrigados, permitindo um melhor crescimento e desenvolvimento.

Esse aumento da TCA da OEM com relação aos outros clones, também foram observados por Araújo Júnior et al. (2021a), estudando esses três clones e diferentes lâminas de irrigação, e por Jardim et al. (2021c), estudando o consórcio dos mesmos clones consórciado com três cultivares de sorgo, onde também observaram que independente da configuração adotada, o clone OEM, apresentou uma TCA, em comparação aos clones IPA e MIU.

A variação da taxa de crescimento relativo (TCR), é bastante utilizada para entender e explicar a variação da TCA (Müller et al., 2018). Este índice indica o aumento de rendimento de MS, isto com relação a uma quantidade de MS pré-existente em um determinado período de tempo (Araújo Júnior et al., 2021a). Os maiores valores desse índice foram encontrados no início do ciclo de desenvolvimento da cultura independente dos clones e as frequências de corte, isso por apresentar um desenvolvimento mais lento para a formação de novos tecidos (Queiroz et al., 2015).

Ao decorrer do ciclo, esse índice é reduzido em função do crescimento da cultura, onde ocorre alocação de fotoassimilados para outras estruturas das plantas (ou seja, folhas, caules, flores e frutos) (Gomes et al., 2018; Vasseur et al., 2018). Outra característica que pode-se observar nesse estudo é que o clone MIU apresentou uma maior TCR nas frequências de corte de 6 meses e a IPA na frequência de 9 meses, porém a partir da frequência de corte de 12+6 e 18 meses, o clone OEM ultrapassou, essa resposta pode ser entendida devido a um maior desenvolvimento inicial para os clones do gênero *Nopalea* em relação ao clone OEM, e que nas últimas frequências de corte, maior foi a TCR para o clone OEM, devido um maior índice de área do cladódio, permitindo um maior autossombreamento para o clone OEM, com relação ao clone MIU e IPA. Müller et al. (2018), destaca que com o desenvolvimento da cultura, ocorre um maior auto-sombreamento, e consequentemente a redução da TCR.

A taxa de assimilação líquida (TAL), é uma correlação entre a área foliar e produção de matéria seca ao longo do tempo (Queiroz et al., 2015), ou ainda representa o ganho de carbono de uma espécie através da fotossíntese líquida (Huber et al., 2018). A redução desse índice ao longo do desenvolvimento da cultura, está atrelado a emissão de novos cladódios, os quais apresentam baixa capacidade fotossintética, com relação a cladódios mais maduros (Queiroz et al., 2015). A TAL também pode ser comprometida, dependendo da posição em que os cladódios estão inseridos na planta, assim como a opacidade da superfície dos cladódios, ocasionando bloqueio da radiação solar, afetando negativamente o fluxo de fotoassimilados na cultura da palma forrageira (Jardim et al., 2021).

A área do cladódio específico (ACE), que apresenta uma relação entre a produção de MS com o IAC, mostrando a distribuição de MS ao longo do ciclo (Queiroz et al., 2015). Observa-se

que para a frequência de corte aos 6 meses, tem um aumento desse índice, por apresentar um menor desenvolvimento, menor IAC não ocorrendo uma maior fotossíntese, como consequência, uma redução na produção de MS. Agora observando as frequências de corte de 9, 12+6 e 18 meses, ocorre uma redução desse índice no final do ciclo, devido ao aumento nos tecidos condutores, e do aumento da produção de MS (Nunes et al., 2020).

Com relação aos resultados das fenofases, pode-se observar que o clone MIU apresentou emissão de cladódios de maior ordem (5ª ordem) e uma maior quantidade de fenofases (4 fases), isto com relação aos clones OEM e IPA. Essa fato esta ligado diretamente a uma características intrínseca da cultura, pois a planta gasta sua energia na produção de cladódios menores, com isso permite uma maior quantidade de cladódios, e um maior número de ordens (Silva et al., 2015b; Araújo Júnior et al., 2021a). Ainda destaca-se que o clone MIU apresentou menor duração da fenofase 2, entre os clones estudados, porém o clone OEM necessitou de uma maior quantidade de graus-dias acululado nessa mesma fenofase.

A segunda fenofase é caracterizada pela emissão de cladódios de segunda ordem, com isso, uma maior duração desta fase, indica uma maior emissão de cladódios de segunda ordem, e estudos como de Amorim et al. (2017) e Jardim et al. (2021b) mostraram que a maior produtividade para este clone, esta relacionado aos cladódios de segunda ordem. Vale salientar que a duração das fenofases, também está relacionada com o manejo realizado, e a competição interespecífica pelos recursos naturais (Jardim et al., 2021c).

Os clones IPA e OEM apresentaram em média apenas uma fenofase (fase 2), com exceção na frequência de corte de 18 meses, que apresentou duas fenofases (fase 2 e 3). Porém essa emissão de cladódios de terceira ordem, apenas no final do ciclo, passa a não ser desejado, pois são cladódios pequenos que apresentam uma baixa área fotossintética, o qual não influencia significativamente a produção de biomassa, servindo apenas como um dreno de fotoassimilados (Amorim et al., 2017). No presente estudo houve antecipação do corte para os clones estudados, porém para o clone MIU na frequência de 18 meses houve um retardamento maior em relação aos clones IPA e OEM, isso devido a uma maior emissão de cladódios desse clone. A antecipação do corte, permite uma melhor tomada de decisão, além de favorecer a disponibilidade de forragem antecipadamente, reduzindo custos com tratamentos culturais e irrigação (Perondi et al., 2019).

4.2. Variáveis biométricas

A variação das características estruturais, ou também denominada morfológicas, pode variar de acordo com o clone, idade, níveis de adubação, bem como os fatores ambientais (Sales

et al., 2013; Silva et al., 2015b). Estudo de Silva et al. (2015b), avaliando as características morfológicas nos três clones estudados, em condição de sequeiro, obtiveram respostas semelhantes ao nosso estudo. O clone IPA apresenta um dossel mais ereto em comparação ao do clone MIU. A maior produção de cladódios do clone MIU é decorrente da sua própria genética, embora o clone IPA, seja pertencente ao mesmo gênero, menor é a quantidade de cladódios, pois esse clone investe na produção de cladódios de uma maior área de cladódio (Araújo Júnior et al., 2021a).

Se tratando das diferenças nas frequências de corte, o maior crescimento e desenvolvimento da palma forrageira, ocorreu aos 18 meses, por permitir um maior e melhor aproveitamento dos recursos naturais (e.g., água, luz e nutrientes). Reis Filho et al. (2022), observaram esse mesmo comportamento para a palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexica, nas mesmas frequências de corte, e se tratando do NTC, a maior frequência proporciona o surgimento de novas brotações obtidas na planta.

4.3 Rendimento de forragem

De acordo com a colocação dos dados, pode-se observar que a produtividade de matéria fresca e seca foram influenciadas nos clones e frequências de corte estudadas. Quando analisado apenas o último corte, o clone OEM com a frequência de corte de 18 meses, apresentou o maior rendimento de MF e MS. Essa maior produção está relacionada com as características genéticas desse clone, apresentando características morfológicas superiores (ou seja, maior área de cladódio, e conseqüentemente índice de área de cladódio), alta eficiência no uso da água, elevada produção de MF e MS por planta e por área (Pereira et al., 2015; Nunes et al., 2020; Alves et al., 2022). Silva et al. (2015b) também relaciona que a maior produção está relacionada com o índice de área do cladódio (IAC), que para este clone é maior, com relação aos clones IPA e MIU. Vale destacar que embora nesse estudo as plantas apresentaram mesma densidade de plantio ($50.000 \text{ plantas ha}^{-1}$), no final do ciclo pode-se observar uma alta mortalidade nos clones IPA e MIU (dados não mostrados), o qual também influenciou no baixo rendimento desses clones. Resultados semelhantes ao de Rocha et al. (2017) avaliando as frequências de corte aos 4, 8, 12 e 16 meses, os clones OEM, MIU e IPA, apresentaram seu maior rendimento aos 16 meses.

Agora com relação a soma das produtividades ao longo do ciclo da cultura da palma forrageira, pode-se observar que o maior rendimento foi para o clone OEM, porém em todas as frequências de corte (6, 9, 12+6 e 18 meses). Com isso, observa-se que o corte a cada 6 meses é viável para o clone OEM, pois permite um maior aporte de forragem ao longo do tempo (ou

seja, a cada 6 meses). Com isso, o produtor conseguirá reduzir custos de aplicação de insumos e de manejo com a irrigação (Moraes et al., 2019).

4.4 Balanço de água no solo

Os componentes do balanço hídrico mostrou que os maiores valores para precipitação, ocorreu no ultimo corte realizado para todas as frequências estudadas, isto por nesse período apresentarem maiores eventos de precipitação pluviométrica, com isso ocorreu maiores perdas por escoamento superficial e um aumento na evapotranspiração real (ET_r). Com relação a variação do armazenamento de água no solo, apresentou um baixo armazenamento nos primeiros cortes da frequência de 6 e 9 meses, já a de 12+6 o maior armazenamento ocorreu no segundo corte realizado. Já aos 18 meses o armazenamento foi negativo. O entendimento do armazenamento de água no solo, deve ser estudado, pois uma maior disponibilidade hídrica no solo, favorece uma maior disponibilidade de nutrientes em solução para melhor atividade fotossíntese, e conseqüentemente maior produção. (Machado et al., 2015)

4.5 Indicadores hídrico-econômicos

A partir dos resultados obtidos do rendimento de forragem, os resultados dos benefícios econômicos se mostraram mais eficientes para o clone OEM, com a frequência de corte aos 6 meses, pois esses valores estão relacionado com o rendimento de forragem, o que foi já mencionado anteriormente. Segundo Queiroz et al. (2016), a eficiência do uso da água (EUAc), com base na razão da ET_r e do somatório de entrada de água no sistema solo, através da precipitação pluviométrica e irrigação, vai responder o aproveitamento da água para o sistema. Em nosso estudo a média apresentada para os três clones foi 0,89 m³ ha⁻¹, indicando que apenas 79% da água aplicada foi utilizada no processo de evaporação. Segundo Silva et al. (2011), esse índice pode apresentar variação de 0,6 a 1,1 para regiões semiáridas, sendo assim, a nossa pesquisa apresentou um valor aceitável.

Com relação aos indicadores hídricos *EUAc, PAc, *PAc e PAi e os indicadores econômicos PBEAi, PLEi, PEAc, apresentaram maiores valores para o clone OEM, em decorrência ao maior rendimento que esse clone obteve, e por proporcionar uma maior margem bruta (MB) e líquida (ML). Reis Filho et al. (2022), avaliado a eficiência do uso da água (EUA), que para a nossa pesquisa está se tratando da produtividade da água da cultura (*PAc). Obteram achados superiores a nossa pesquisa, para o clone OEM em todas as frequências de corte, isso ocorreu devido ao aumento de 36,9% da precipitação pluviométrica, além de uma maior duração do ciclo, sendo 24 meses.

5. Conclusão

Este estudo avaliou o rendimento, índices morfofisiológicos, fenofases, momento de corte, componentes do balanço de água no solo e indicadores hídrico-econômicos em diferentes clones de palma forrageira e frequências de corte. O clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) apresentou melhor desempenho produtivo que os clones Miúda e IPA Sertânea, independente das frequências de corte estudadas. Os índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte, apresentaram diferentes comportamentos, com relação aos clones e as frequências de corte.

Os componentes do balanço de água no solo, não apresentou diferenças com relação aos fatores estudados. Porém, os indicadores hídrico-econômicos, mostraram que o clone OEM apresentou maior eficiência da utilização da água e proporcionando maior benefício econômico, independente do intervalo de corte.

Portanto, como a frequência de corte não influenciou o rendimento de forragem do clone OEM, a utilização do intervalo de corte, dependerá da quantidade de animais para serem alimentados. Essa redução também permite um aumento de forragem ao longo do ano, e favorece redução de custos de produção. Com isso, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas voltadas a frequências de corte, em diferentes épocas do ano, condições edafoclimáticas, irrigações com água de baixa qualidade, com o intuito de melhoria no entendimento do crescimento, desenvolvimento e qualidade da forragem.

Agradecimentos

Os autores agradecem a 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, à própria FACEPE pela concessão da bolsa de estudo (BCT-0221-5.03/21) e ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por todo desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G.

- (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C. P., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L. S. B. de, Araújo, G. G. L. de, Souza, C. A. A. de, Salvador, K. R. da S., Leite, R. M. C., Pinheiro, A. G., & Silva, T. G. F. da. (2022). How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. *Industrial Crops and Products*, 184(May). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- Alves, C. P., Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., Cruz Neto, J. F., Santos, J. P. A.S. (2019). Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27(2), 347-356. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Amorim, D. M., Silva, T. G. F., Pereira, P. C., Souza, L. S. B., Minuzzi, R. B. (2017). Phenophase and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 62-71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- Araújo Júnior, G. N., Sillva, T. G. F., Souza, L. S. B., Araújo, G. G. L., Moura, M. S. B., Alves, C. P., Salvador, K. R. S., Souza, C. A. A., Montenegro, A. A. A., Silva, M. J. (2021a). Phenophase, morphophysiological indices and cuttin time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *Journal of Arid Environments*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- Araújo Júnior, G. D. N., da Silva, T. G. F., de Souza, L. S. B., Souza, M. de S., de Araújo, G. G. L., de Moura, M. S. B., Santos, J. P. A. de S., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., & Alves, H. K. M. N. (2021b). Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*, 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- Araújo Primo, J. T., Silva, T. G. F., Silva, S. M. S., Moura, M. S. B. & Souza, L. S. B. (2015). Calibração de sondascapacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, 62(1), 020-029
- Brito, C. F. B., Rodrigues Donato, S. L., De Magalhães Arantes, A., Da Silva, J. A., Rodrigues Donato, P. E., & Dos Santos, A. J. (2021). Eficiência Fotoquímica Em Cladódios De Palma Forrageira ‘Gigante’ Cultivada Sob Diferentes Espaçamentos E Adubação Mineral. *Nativa*, 9(3), 254–259. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.10587>
- Farias, I., Lira, M. A., Santos, D. C., Tavares Filho, J. J., Santos, M. V. F., Fernandes, A. P. M., Santos, V. F. (2000). Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira em

- consórcio com sorgo granífero, no agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 341-347.
- Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., & Cuevas, M. V. (2020). 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*, 237(March), 106074. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- Fonseca, Varley A, Costa, L. C., Silva, J. A., Donato, S. L. R., Donato, P. E. R., & Souza, E. S. (2020). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental ' Gigante ' cactus pear cultivated at different population densities in a mechanizable arrangement*. 769–775.
- Fonseca, Varley Andrade, Dos Santos, M. R., da Silva, J. A., Donato, S. L. R., Rodrigues, C. S., & Brito, C. F. B. (2019). Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of opuntia ficus-indica irrigated with saline water. *Acta Scientiarum - Agronomy*, 41(1), 1–11. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42631>
- Gomes, F. H. F., Cunha, F. N., Lopes Filho, L. C., Soares, F. A. L., Teixeira, M. B., Morais, W. A. (2018). Análise de crescimento do milho safrinha em diferentes épocas de aplicação de zinco. *Nativa*, 6(6), 557-562.
- Huber, J., Dettman, D. L., Williams, D. G., Hultine, K. R. (2018). Gas exchange characteristics of giant cacti species varying in stem morphopology and life histpry strategy. *Am. J. Bot.*, 105, 1688-1702.
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Araújo, J. F. N., Silva, G. I. N., & Silva, J. O. N. (2019). Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros*, 27(2), 357–365. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>
- Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Sandra, L. S. B., Souza, M. S. (2020). Tnteraction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 69-87.
- Jardim, A. M. da R. F., Santos, H. R. B., Alves, H. K. M. N., Ferreira-Silva, S. L., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, Souza, C. A. A. de, & Silva, T. G. F. da. (2021a). 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*, 162(November 2020), 421–430. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves,

- H. K. M. N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, & Moura, M. S. B. de. (2021b). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188, 104464. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A. M. R. F., Souza, L. S. B., Alves, C. P., Araújo, J. F. N., Souza, C. A. A., Pinheiro, A. G., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. (2021c). Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range and Forage Science*. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- Libardi, P. L. (2005). *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 61. 329 p.
- Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., Souza, W., Ribeiro, A., Firmino, F. (2015). Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20, 731-740. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- Marques, O. F. C., Gomes, L. S. P., Mouthé, M. H. F., Braz, T. G. S., Pires Neto, O. S. (2017). Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. *Caderno de ciências agrárias*, 9(1), 75-93
- Moraes, G. S. O., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., Almeida, M. P., Ferreira, M. A. (2019). Cactus [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livestock Science*, 221, 133-138.
- Müller, L. L. B., Albach, D. C., Zotz, G. (2018). Growth responses to elevated temperatures and the importance of ontogenetic niche shifts in Bromeliaceae. *New Phytol*, 217, 127-139.
- Nunes, J. S. L., Salvador, K. R. S., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Carvalho, A. A., Souza, L. S. B., Montenegro, A. A. A., Silva, T. G. F. (2020). Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 128-139.
- Pereira, P. D. C., Da Silva, T. G. F., Zolnier, S., De Moraes, J. E. F., & Dos Santos, D. C. (2015). Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28(3), 184–195.
- Perondi, D., Fraisse, C. W., Staub, C. G., Cerbaro, V. A., Bareto, D. D., Pequeno, D. N. L., Mulvaney, M. J., Troy, P., Pavan, W. (2019). Crop season planning tool: Adjusting

- sowing decisions to reduce the risk of extreme weather events. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(2018), 62-70.
- Pinheiro, K. M., da Silva, T. G. F., de Sousa Carvalho, H. F., Santos, J. E. O., de Moraes, J. E. F., Zolnier, S., & dos Santos, D. C. (2014). Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(12), 939–947. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Souza, C. A. A., Carvalho, H. F. S. (2016). Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido, *Irriga*, 141-154.
- Queiroz, M. G., Silva, T. G. F., Zolnier, S., Silva, S. M. S., Lima, L. R., Alves, J. O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 931-938.
- Rees, M., Osborne, C. P., Woodward, F. I., Hulme, S. P., Turnbull, L. A., Taylor, S. H., (2010). Partitioning the components of relative growth rate: how important is plant size variation?. *The American Naturalist*, 176(6), 152-161.
- Reis Filho, R. J. C., Carneiro, M. S. S., Pereira, E. S., Furtado, R. N., Moraes Neto, L. B., Magalhães, J. A., Alves, F. G. S., Lopes, M. N. (2022). Biomass components and water use efficiency in cactus pear under different irrigation systems and harvest frequencies. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 51, e20210093, 1-15.
- Richards, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60).
- Rocha, R. S., Voltolini, T. V., Gava, C. A. T. (2017). Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de Zootecnia*, 66(255), 365-373.
- Sales, A. T., Andrade, A. P., Leite, M. M. V. L., Silva, D. S., Viana, B. L., Santos, E. G., (2013). Mortality index of forage cactus in the semiarid of Paraíba State -Brazil. *Acta Horticulturae*, 811, 401-406.
- Souza, M. S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Ferraz Jardim, A. M. R., Araújo Júnior, G. do N., Alves, H. K. M. N (2019). Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 3(4), 417–430. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>
- Souza, M. S., Araújo Júnior, G. N., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Silva, G. I. N.,

- Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Leite, M. L. M. V., Tabosa, J. N., Silva, T. G. F. (2022). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range and Forage Science*. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.2016967>
- Silva, T. G. F. da, Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F. de, Diniz, W. J. da S., Souza, C. A. A. de, & Silva, M. da C. (2015b). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28(2), 10–18.
https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3630/pdf_241
- Silva, T. G. F., Primo, J. T. A., de Mura, M. S. B., Silva, S. M. S. e., de Morais, J. E. F., de Caldas Pereira, P., Souza, C. A. A. (2015a). Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 50(7), 515–525. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- Silva, T. G. F., Moura, M. S. B., Zolnier, S., Soares, J. M., Vieira, V. J. S., Gomes Júnior, W. F. (2011). Demanda hídrica e eficiência do uso da água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15, 1257-1265.
- Taiz, L., Zeiger, F., Moller, I. M., Murphy, A. (2017). *Plant physiology & Development*, 6th Edition. Oxford University Press. 761p.
- Vasseur, F., Bresson, J., Wang, G., Schwab, R., Weigel, D. (2018). Image-based methods for phenotyping growth dynamics and fitness components in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Methods*, 14, 1-11.