

RAUL CACO ALVES BEZERRA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, EFLUXO DE CO₂ E ATRIBUTOS DO SOLO DE
SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA EM
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

SERRA TALHADA - PE

2024

**B
E
Z
E
R
R
A**

**R
C
A**

**D
E
S
E
M
P
E
N
H
O**

**A
G
R
O
N
Ô
M
I
C
O**

**·
·
2
0
2
4**

RAUL CACO ALVES BEZERRA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO, EFLUXO DE CO₂ E ATRIBUTOS DO SOLO DE
SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA EM
AMBIENTE SEMIÁRIDO**

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

Orientador:

Prof. Dr. Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite

Coorientadores:

Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Prof. Dr. Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena

SERRA TALHADA - PE

2024

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)

- B574d Bezerra, Raul Caco Alves Bezerra
Desempenho agrônômico, efluxo de CO₂ e atributos do solo de sistemas de cultivo de palma forrageira e pomunça em ambiente semiárido / Raul Caco Alves Bezerra Bezerra. - 2024.
104 f.
- Orientador: Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite.
Coorientador: Eduardo Soares de Souza. Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Serra Talhada, 2024.
1. Cacto. 2. Manihot. 3. Rendimento de fitomassa. I. Leite, Mauricio Luiz de Mello Vieira, orient. II. Lucena, Eduardo Soares de Souza. Leandro Ricardo Rodrigues de, coorient. III. Título

CDD 581.15

RAUL CACO ALVES BEZERRA

DESEMPENHO AGRONÔMICO, EFLUXO DE CO₂ E ATRIBUTOS DO SOLO DE
SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA EM AMBIENTE
SEMIÁRIDO

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

APROVADO em 22/02/2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite – UFRPE/UAST
Orientador

Prof. Dr. Aldo Torres Sales – UFPE/DEN
Examinador Externo

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva – UFRPE/UAST
Examinador Interno

*À minha mãe, esposa e filha,
Wílma Alves de Epifânio,
Érica Micaely Bezerra de Sousa
e Maria Melinda Alves Bezerra,
que são fontes de motivação e alegria em minha vida*

Amo muito vocês!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente em todos os momentos de minha vida me dando saúde e proteção, para que eu possa seguir em frente.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV/UAST), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado e a todos os Professores do PGPV/UAST pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas e por sempre estarem disponíveis para solucionar eventuais dúvidas.

A meu orientador Prof. Dr. Maurício Luiz de Mello Vieira Leite, um grande amigo e exemplo de pessoa, obrigado por tanto e tudo, ao Sr. sou muito grato pela confiança em mim, agradeço a Deus pelo privilégio de conhecê-lo.

A todos os amigos que fiz durante esses dois anos de PGPV/UAST, principalmente a todos da turma, verdadeiros amigos que levarei durante toda minha vida, em especial a Jean e Calaça, exemplos de amigos, parceiros que estão sempre presentes.

Aos meus amigos e integrantes do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR), Denir, Douglas, Hozana, Isla, Jhonnathan, Matheus, Paulo, Pedro Araújo, Pedro Arthur, Rani, e aos demais, pela imprescindível colaboração, apoio e disponibilidade para realização desta pesquisa.

Enfim, agradeço a todos aqueles que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional, e pela ajuda na condução dessa dissertação.

Muito obrigado!

*“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor,
a eletricidade e a energia atômica: a vontade”.*

(Albert Einstein)

RESUMO GERAL

A pecuária representa uma das mais importantes atividades econômicas para o Semiárido brasileiro. A produção de forragem para os rebanhos nessas regiões constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta, devido a variabilidade e incertezas climáticas, tornando as culturas das forrageiras uma operação de elevado risco. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o desempenho agrônomo, eficiência biológica e habilidade competitiva nos sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça em ambientes semiáridos. O ensaio experimental foi conduzido entre março de 2022 e agosto de 2023 na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - PE, em delineamento em blocos ao acaso, com seis repetições, composto por cinco sistemas de cultivo: dois clones de palma forrageira (Doce Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) em sistema exclusivo e em consórcio com a pornunça, resultando em 30 unidades experimentais. Em termos de rendimento de massa seca, o sistema de cultivo consorciado (OEM-P: 19,03 t ha⁻¹; DM-P: 25,34 t ha⁻¹) obteve maior rendimento forrageiro quando comparado ao solteiro (OEM: 11,59 t ha⁻¹; DM: 10,85 t ha⁻¹; P: 9,43 t ha⁻¹). As variações mais significativas do efluxo de CO₂ ocorreram com a mudança no teor de água do solo causada pelas chuvas. Para o estoque de carbono no solo não houve diferença pelos sistemas de cultivo nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm, com valores médios de 13,39 (OEM), 14,33 (DM), 14,70 (P), 12,17 (OEM-P) e 14,33 t ha⁻¹ (DM-P). O consórcio palma-pornunça foi 351% mais produtivo em massa seca do que os sistemas de cultivos solteiros dos clones de palma. No índice de produtividade do sistema o consórcio OEM-P obteve valor de 20,00, e a DM-P de 10,68. Na razão de competitividade, a pornunça obteve valores superiores a 1 em ambos sistemas de cultivo consorciado, e os clones de palma valores inferiores a 1 (OEM: 0,17; DM: 0,05). O consórcio palma-pornunça, independentemente do clone, em ambientes semiáridos pode melhorar o uso dos recursos naturais disponíveis devido à complementaridade interespecífica de culturas de importância local, possuem alta eficiência biológica, capacidade competitiva e vantagem produtiva, além de contribuir para estabilidade de forragem para os animais ao longo do ano. Nos consórcios palma-pornunça, a cultura da pornunça apresenta dominância sobre os clones Orelha de Elefante Mexicana e Doce Miúda.

Palavras-chave: Cacto; *Manihot*; Rendimento de fitomassa.

GENERAL ABSTRACT

Livestock farming represents one of the most important economic activities for the Brazilian semiarid region. The production of forage for livestock in these regions constitutes the biggest challenge that livestock farming faces, due to climate variability and uncertainty, making forage crops a high-risk operation. In this sense, the objective was to evaluate the agronomic performance, biological efficiency and competitive ability in cactus and pornunça cultivation systems in semi-arid environments. The experimental trial was conducted between March 2022 and August 2023 at the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada - PE, in a randomized block design, with six replications, composed of five cultivation systems: two forage cactus clones (Doce Miúda and Orelha of Mexican Elefante) in an exclusive system and in consortium with pornunça, resulting in 30 experimental units. In terms of dry mass yield, the intercropping system (OEM-P: 19.03 t ha⁻¹; DM-P: 25.34 t ha⁻¹) obtained higher forage yield when compared to the single one (OEM: 11.59 t ha⁻¹; DM: 10.85 t ha⁻¹; P: 9.43 t ha⁻¹). The most significant variations in CO₂ efflux occurred with changes in soil water content caused by rainfall. For soil carbon stock, there was no difference between cultivation systems in the 0 – 10 and 10 – 20 cm layers, with average values of 13.39 (OEM), 14.33 (DM), 14.70 (P), 12.17 (OEM-P) and 14.33 t ha⁻¹ (DM-P). The cactus-pornunça consortium was 351% more productive in dry mass than the single cultivation systems of palm clones. In the system productivity index, the OEM-P consortium obtained a value of 20.00, and DM-P of 10.68. In the competitiveness ratio, the palm obtained values above 1 in both intercropping systems, and the forage cactus clones values below 1 (OEM: 0.17; DM: 0.05). The cactus-pornunça consortium, regardless of the clone, in semi-arid environments can improve the use of available natural resources due to the interspecific complementarity of crops of local importance, have high biological efficiency, competitive capacity and productive advantage, in addition to contributing to forage stability for animals throughout the year. In the cactus-pornunça consortiums, the pornunça culture is dominant over the Orelha de Elefante Mexicana and Doce Miúda clones.

Keywords: Cactus; *Manihot*; Phytomass yield.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1	Mapa de localização da área experimental.....	46
Figura 2	Variação da temperatura média do ar, umidade média do ar, precipitação pluvial, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, Serra Talhada – PE.....	47
Figura 3	Evolução da altura (A), largura (B), número total de cladódios (C) e índice de área do cladódio (D) de clones de palma forrageira sob diferentes sistemas de cultivo.	54
Figura 4	Evolução da altura de planta (A, B e C) e largura de copa (D, E e F) de três ciclos de pornunça sob diferentes sistemas de cultivo.....	56
Figura 5	Evolução do diâmetro do caule (A, B e C) e números de ramos (D, E e F) de três ciclos de pornunça sob diferentes sistemas de cultivo.....	57
Figura 6	Rendimento de massa fresca (A) e seca (B) de clones de palma forrageira e pornunça em sistemas de cultivo sob condições de sequeiro, no município de Serra Talhada - PE, Semiárido brasileiro.....	59

CAPÍTULO III

Figura 1	Variação da temperatura média do ar, umidade média do ar, precipitação pluvial, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, em Serra Talhada – PE.....	71
Figura 2	Curvas de retenção (A) e condutividade hidráulica (B) de sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada – PE.....	76
Figura 3	Relação da resistência do solo a penetração com a precipitação pluvial entre os meses de fevereiro e julho de 2023, em sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada - PE.....	77

Figura 4	Efluxo de CO ₂ no solo (ECO ₂) em sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça, em ambiente semiárido.....	78
Figura 5	Médias do efluxo de CO ₂ no solo (ECO ₂) em função da precipitação pluvial e temperatura do solo durante os meses de novembro de 2022 e julho de 2023 em sistemas de cultivos de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada-PE.....	79

CAPÍTULO IV

Figura 1	Variação da temperatura média do ar, umidade média do ar, precipitação pluvial, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, em Serra Talhada – PE...	90
-----------------	--	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1	Atributos físicos e químicos do solo da área experimental, em Serra Talhada-PE.....	48
Tabela 2	Taxas médias de crescimento da altura planta ($\partial AP/\partial t$), largura de planta ($\partial LP/\partial t$), número total de cladódios ($\partial NTC/\partial t$) e índice de área dos cladódios ($\partial IAC/\partial t$) de clones de palma forrageira sob sistemas de cultivo solteiro e consorciado com pornunça em Serra Talhada – PE.....	55
Tabela 3	Taxas médias de crescimento da altura planta ($\partial AP/\partial t$), largura de copa ($\partial LC/\partial t$), diâmetro de caule ($\partial DC/\partial t$), número de ramos ($\partial NR/\partial t$) e índice de área foliar ($\partial IAF/\partial t$) de pornunça sob sistemas de cultivo solteiro e consorciado com clones de palma forrageira em Serra Talhada-PE.....	58
Tabela 4	Eficiência do uso da água de chuva (EUAC, Kg MS ha ⁻¹ mm ⁻¹) e acúmulo de água (AA, t ha ⁻¹) de clones de palma forrageira e pornunça submetidos a sistemas de cultivo em condições de sequeiro, Serra Talhada-PE.....	60

CAPÍTULO III

Tabela 1	Composição química do solo na profundidade de 0 – 20 cm de sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça.....	75
Tabela 2	Resistência mecânica do solo à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) na profundidade de 0 - 20 cm, em sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em ambiente semiárido.....	77
Tabela 3	Estoque de carbono no solo (ECS, t ha ⁻¹) de sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça em ambiente semiárido.....	80

CAPÍTULO IV

Tabela 1	Atributos físicos e químicos do solo da área de estudo, em Serra Talhada – PE.....	91
Tabela 2	Rendimento de massa seca ($t\ ha^{-1}$) de clones de palma forrageira e pornunça em sistemas de cultivo sob condições de sequeiro, em Serra Talhada - PE.....	96
Tabela 3	Índices de eficiência biológica de clones de palma forrageira consorciada com pornunça.....	97
Tabela 4	Índices de habilidade competitiva de clones de palma forrageira consorciada com pornunça.....	99

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	13
CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA: SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	16
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. PALMA FORRAGEIRA.....	19
3. CONSÓRCIOS COM PALMA FORRAGEIRA.....	23
4. PORNUNÇA.....	24
5. ATRIBUTOS, EFLUXO CO ₂ E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO.....	25
6. ÍNDICES DE EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E HABILIDADE COMPETITIVA.....	28
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS, MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS DA PALMA E PORNUNÇA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO	42
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4. CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS.....	61
CAPÍTULO III - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO, EFLUXO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO EM CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA	67
1. INTRODUÇÃO.....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4. CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	81
CAPÍTULO IV - ÍNDICES DE EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E HABILIDADE COMPETITIVA DE SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA COM PORNUNÇA	86

1. INTRODUÇÃO.....	88
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	95
4. CONCLUSÕES.....	99
REFERÊNCIAS.....	101
CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES.....	104

APRESENTAÇÃO

As constantes mudanças climáticas têm afetado drasticamente todas as partes do mundo, e principalmente regiões com climas áridos e semiáridos, onde os fatores edafoclimáticos (i.e., precipitação pluvial baixa e irregular, altas temperaturas do ar e demanda atmosférica, balanço hídrico negativo, águas com altos teores de sais e solo com baixa fertilidade), exercem impactos diretos para o baixo desempenho produtivo das atividades agropecuárias destas regiões, com isso, ocasionando insegurança alimentar para os rebanhos.

A utilização de estratégias que contribuam com o aumento da eficiência da cadeia produtiva de ruminantes, onde, a caprinovinocultura e a bovinocultura leiteira são atividades economicamente importantes e utilizadas pelas famílias rurais das regiões áridas e semiáridas de todo mundo, notadamente do Nordeste brasileiro. Desta maneira, um manejo adequado que permita a utilização de recursos forrageiros adaptados às condições climáticas locais, associada a técnicas resilientes são de extrema necessidade, pois, permite maiores rendimentos e sustentabilidade dos cultivos.

Diante do pressuposto, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é uma cactácea adaptada e com alta eficiência na utilização da água, devido, principalmente, ao metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). A partir desta condição fisiológica, observa-se uma produção de forragem mesmo com restrição hídrica e assegurando a alimentação dos rebanhos nos períodos de seca prolongados, além de contribuir com o aporte hídrico proveniente dos seus cladódios com cerca de 90% de água, também apresenta uma forragem de excelente qualidade, todavia contém baixos teores de fibra e proteína bruta que são essências para a alimentação de ruminantes.

Corroborando para aumento do aporte forrageiro, a utilização de euforbiáceas (e.g., pornunça, maniçoba e mandioca), às quais são adaptadas as condições semiáridas, tornando-se uma excelente alternativa alimentar como fonte de fibra e proteína, que complementam a cultura da palma. Em sistemas consorciados, na literatura há relatos bem sucedidos do consórcio palma-sorgo, e a associação de palma-milho-feijão ou cultivo de milho e feijão, que são comumente empregados por agricultores familiares. Desta forma, o consórcio busca intensificar a produção por unidade de área e aumentar a disponibilidade de forragem para os rebanhos e fontes de rendas para o produtor.

Com subsídios de índices de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico, pode-se determinar quais os melhores arranjos de cultivos consorciados e quais espécies são mais adequadas para este sistema, aumentando a eficiência da utilização dos recursos naturais e aumento da produtividade por área. No entanto, para mitigar os efeitos do déficit hídrico durante os períodos secos do ano, a utilização estratégica do consórcio pode aumentar o desempenho das plantas e possibilitar maiores ciclos ao longo do ano, contribuindo para uma maior eficiência dos sistemas agropecuários do semiárido, e torna-os mais rentáveis.

Nesse sentido, a hipótese deste estudo é de que plantas forrageiras adaptadas às condições edafoclimáticas presentes em ambiente semiárido, a exemplo da palma forrageira e pornunça, quando associadas com práticas de manejo resilientes, como o consórcio, são capazes de reduzir as flutuações no aporte forrageiro, possibilitando maior sustentabilidade da atividade agropecuária.

Diante do que foi exposto, esta pesquisa objetivou avaliar o “Desempenho agrônômico, efluxo de CO₂ e atributos do solo de sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça em ambiente semiárido”. Esta dissertação foi dividida em capítulos, conforme descrito abaixo.

O capítulo I apresenta o referencial teórico do tema abordado. O capítulo II ressalta a evolução e a capacidade adaptativa de dois clones palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana e Doce Miúda) e da pornunça, em sistemas de cultivo solteiro e consorciado, no Semiárido pernambucano. Foram avaliados os aspectos estruturais dos clones de palma, como: altura de planta, largura de planta, número total de cladódios e o índice área de cladódio. Na cultura da pornunça, foram analisados: altura de planta, largura de copa, diâmetro de caule, números de ramos e o índice de área foliar. Determinou-se o rendimento de massa fresca e seca dos clones de palma forrageira e da pornunça, e posteriormente, suas eficiências no uso de água da chuva e acúmulo de água, em função dos distintos sistemas de cultivos.

O capítulo III investiga a qualidade química do solo, capacidade e retenção de água no solo, resistência do solo à penetração, densidade do solo, respiração do solo (efluxo de CO₂) e estoque de carbono no solo para compreender a dinâmica de carbono dos distintos sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça.

No capítulo IV é quantificado a produtividade da palma forrageira e da pornunça em distintos sistemas de cultivo, calculado os índices de eficiência biológica (uso eficiente da terra, razão de área equivalente no tempo, coeficiente equivalente de terra e índice de

produtividade do sistema), e habilidade competitiva do consórcio palma-porunça (coeficiente de adensamento relativo, agressividade, perda ou ganho atual de rendimento e razão de competitividade), a fim de recomendar o sistema de cultivo mais adequado para produção de forragem em ambiente semiárido e determinar a cultura dominante.

Por fim, estão as considerações finais e sugestões desta pesquisa.

CAPÍTULO I – REVISÃO DE LITERATURA: SISTEMAS DE CULTIVO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

O setor agrícola é dependente da variabilidade das condições edafoclimáticas, dessa forma, o clima regional reflete em efeitos negativos ou positivos na produtividade das culturas, nesse sentido, o uso de estratégias que incrementem a resiliência diante de eventos climáticos é de extrema importância, como o uso de culturas adaptadas e adequado manejo tornam-se práticas relevantes, pois buscam maior eficiência dos sistemas de produção por meio de modificações no ambiente, proporcionando êxito na produção agrícola, sem causar danos econômicos e ambientais. A pecuária representa uma das mais importantes atividades econômicas para o Semiárido brasileiro, sendo um dos principais fatores para a garantia da segurança alimentar das famílias rurais e geração de emprego e renda. Nessas regiões, a produção de alimentos para os rebanhos constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta, devido a sazonalidade climática, dificultando o cultivo de plantas forrageiras. Dessa forma, é crucial a exploração de culturas forrageiras adaptadas a tais condições, assim como a utilização de manejo adequado, com a finalidade de se obter eficientes rendimentos produtivos. Diante desse contexto, uma cultura que vem se destacando para alimentação animal é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), que devido a suas características morfológicas, fisiológicas e anatômicas, apresenta elevada adaptação a ambientes com altas temperaturas e déficit hídrico, exibindo ainda, elevada eficiência no uso da água. Destaca-se também espécies do gênero *Manihot*, como a pornunça, que apresentam alta tolerância à seca e a solos pobres e ácidos, além de alto valor nutricional e elevado potencial produtivo. O consórcio palma-pornunça pode proporcionar um melhor aproveitamento dos recursos em escala temporal e espacial, uma vez que o nicho ecológico no ambiente causa uma redução na competição interespecífica e promove a complementaridade entre as duas espécies. Logo, estudos relacionados a produtividade de plantas forrageiras, como a palma forrageira e a pornunça, são de suma importância, pois devido suas características de adaptabilidade mostram-se como uma forte alternativa para serem cultivadas em ambiente de condições semiáridas para o suprimento de alimentação animal ao longo do ano, como forma de reduzir os riscos de perda da produção de forragem decorrente a sazonalidade climática.

Palavras-chave: Consórcio; Forrageiras xerófilas; Resiliência.

CHAPTER I – LITERATURE REVIEW: CULTIVATION SYSTEMS OF FORAGE CACTUS AND PORNUNÇA CLONES IN THE BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

The agricultural sector is dependent on the variability of soil and climate conditions, therefore, the regional climate reflects negative or positive effects on crop productivity. In this sense, the use of strategies that increase resilience in the face of climatic events is extremely important, such as the use of adapted crops and adequate management become relevant practices, as they seek greater efficiency in production systems through changes in the environment, providing success in agricultural production, without causing economic and environmental damage. Livestock farming represents one of the most important economic activities for the Brazilian semiarid region, being one of the main factors in ensuring food security for rural families and generating employment and income. In these regions, the production of food for livestock constitutes the biggest challenge that livestock farming faces, due to climatic seasonality, making it difficult to cultivate forage plants. Therefore, it is crucial to explore forage crops adapted to such conditions, as well as the use of appropriate management, in order to obtain efficient productive yields. In this context, a crop that has stood out for animal feed is the forage cactus (*Opuntia* spp. and *Nopalea* spp.), which, due to its morphological, physiological and anatomical characteristics, shows high adaptation to environments with high temperatures and water deficit, it also exhibits high efficiency in water use. Also noteworthy are species of the *Manihot* genus, such as pornunça, which have high tolerance to drought and poor and acidic soils, as well as high nutritional value and high productive potential. The cactus-pornunça consortium can provide better use of resources on a temporal and spatial scale, since the ecological niche in the environment causes a reduction in interspecific competition and promotes complementarity between the two species. Therefore, studies related to the productivity of forage plants, such as forage cactus and pornunça, are of utmost importance, as, due to their adaptability characteristics, they are a strong alternative to be cultivated in semi-arid environments for the supply of animal feed. throughout the year, as a way of reducing the risk of loss of forage production due to climatic seasonality.

KEYWORDS: Consortium; Xerophilous foragers; Resilience.

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola é dependente da variabilidade das condições edafoclimáticas, dessa forma, o clima regional reflete em efeitos negativos ou positivos na produtividade das culturas, sendo nítidos aqueles relacionados às alterações nos padrões de chuvas no que se refere ao seu volume (i.e., secas e enchentes) e sua distribuição espaço-temporal (RAI et al., 2018; RAO et al., 2019). Nesse sentido, o uso de estratégias que incrementem a resiliência dos sistemas agrícolas diante de eventos climáticos é de extrema importância, como o uso de culturas adaptadas e adequado manejo tornam-se práticas relevantes, pois buscam maior eficiência dos sistemas de produção por meio de modificações no ambiente, proporcionando êxito na produção agrícola, sem causar danos econômicos e ambientais (ALVES et al., 2021).

A pecuária representa uma das mais importantes atividades econômicas para o Semiárido brasileiro, sendo um dos principais fatores para a garantia da segurança alimentar das famílias rurais, geração de emprego e renda. A exploração de ruminantes contribui para uma maior estabilidade econômica dos produtores rurais desta região, devido ser uma atividade de menor risco em comparação à agricultura de sequeiro (MEIRA et al., 2021).

Nas regiões semiáridas, a produção de alimentos para os rebanhos constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta, devido a sazonalidade climática, dificultando o cultivo de plantas forrageiras (GUEDES et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2021). Dessa forma, é crucial a exploração de culturas forrageiras adaptadas a tais condições, assim como a utilização de manejo adequado, com a finalidade de se obter eficientes rendimentos produtivos (CIRINO JUNIOR et al., 2022).

Diante desse contexto, uma cultura que é destaque na alimentação animal é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), que devido a suas características morfológicas, fisiológicas e anatômicas, apresenta elevada adaptação a ambientes com altas temperaturas do ar e déficit hídrico, exibindo ainda, elevada eficiência no uso da água (TAIZ et al., 2017; NUNES et al., 2020; ALVES et al., 2021). Destaca-se também espécies do gênero *Manihot*, como a pornunça, que apresentam alta tolerância à seca e a solos pobres e ácidos, além de alto valor nutricional para a alimentação de ruminantes e elevado potencial produtivo de sua parte aérea (LEITE et al., 2021).

O consórcio palma-pornunça pode proporcionar um melhor aproveitamento dos recursos ambientais disponíveis em escala temporal e espacial, uma vez que o nicho ecológico no ambiente causa uma redução na competição interespecífica e promove a complementaridade entre as duas espécies. Além de melhorar os atributos do solo, pois o

cultivo de plantas que possuem raízes vigorosas e profundas, como a pornunça, contribui para o rompimento de camadas compactadas do solo, promovendo a formação de bioporos com ampla variação de tamanho, aumentando a porosidade e a capacidade de infiltração de água no perfil do solo, melhorando sua estrutura e, conseqüentemente, elevando sua qualidade física (MOTTIN et al., 2022) e química, através da ciclagem de nutrientes e incremento do carbono orgânico no solo.

Embora o consórcio promova inúmeros benefícios, há ocorrência de competição interespecífica entre as culturas, o que causa alterações no crescimento e desenvolvimento vegetal, diminuindo o rendimento individual das culturas (JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022). Portanto, a utilização dos índices de eficiência biológica e habilidade competitiva auxilia na compreensão da viabilidade (ou inviabilidade) do sistema de cultivo consorciado, identificação da cultura dominante e aspectos essenciais de cultivos (SOUZA et al., 2022).

Diante deste cenário, estudos relacionados a produtividade de plantas forrageiras, como a palma forrageira e a pornunça, são de suma importância, pois devido suas características de adaptabilidade mostram-se como uma forte alternativa para serem cultivadas em ambiente de semiaridez para o suprimento de alimentação animal ao longo do ano, como forma de reduzir os riscos de perda da produção de forragem decorrente a sazonalidade climática. Nesse sentido, objetivou-se com esta revisão, ressaltar a importância do sistema de cultivo consorciado de clones de palma forrageira com pornunça no Semiárido brasileiro, e suas contribuições na alimentação animal e mitigação dos gases de efeito estufa.

2. PALMA FORRAGEIRA

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) é uma cactácea de origem mexicana, que se expandiu por todo continente americano, Ásia, África, Europa e Oceania, adaptando-se a diversos climas, sendo cultivada em regiões áridas e semiáridas de todo o mundo (JARDIM et al., 2020; SALVADOR et al., 2021).

A adaptabilidade dessa cactácea a diferentes ambientes é possibilitada devido a suas características anatômicas e morfofisiológicas, principalmente, pelo metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que propicia a fixação de CO₂ durante a noite, quando a temperatura ambiente está relativamente amena e a umidade relativa do ar elevada, com auxílio da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase), a partir da abertura dos seus estômatos (TAIZ et al., 2017; SALVADOR et al., 2021). Durante o dia, os estômatos se fecham, reduzindo a perda de

água pela transpiração e entrada de CO₂, mantendo as células turgidas, com isso, viabilizando seu desenvolvimento em ambientes com déficit hídrico e altas temperaturas do ar (TAIZ et al., 2017; ALVES et al., 2021).

A palma forrageira, apresenta outras características estruturais que diminuem a perda de água para o ambiente, como cutícula espessa e cerosa, vacúolos grandes, estômatos pequenos e com aberturas limitadas, que proporciona também proteção a inimigos naturais. Apresenta um sistema radicular superficial com uma elevada distribuição espacial, que promove uma maior exploração do solo e, conseqüentemente, uma elevada captação de água (HASSAN et al., 2019). Estes aspectos morfofisiológicos possibilitam uma alta eficiência na utilização da água e nutrientes, viabilizando a sobrevivência da mesma em locais com precipitação pluvial anual em torno de 150 mm (SALVADOR et al., 2021).

As plantas com metabolismo MAC quando comparadas com plantas com metabolismo C3 e C4, apresentam uma eficiência no uso da água de 3 a 10 vezes maior (ALVES et al., 2021) No entanto, para que a palma forrageira expresse seu potencial produtivo, deve ser cultivada em regiões com precipitações pluviiais anuais em torno de 368 a 812 mm (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a).

No Brasil, estima-se que existam, aproximadamente, 600.000 ha cultivados com palma forrageira, sendo o Nordeste a região com maior extensão de terra cultivada (SALVADOR et al., 2021). Os principais clones cultivados são a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e a Doce Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), ambas resistentes a Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) (MOREIRA et al., 2020).

No setor agropecuário, a palma forrageira apresenta inúmeros benefícios para a alimentação animal, possuem cladódios com grandes quantidades de água, contendo minerais, vitaminas, carboidratos não fibrosos, alta aceitabilidade e digestibilidade (SALVADOR et al., 2021), bem como uma elevada capacidade de rebrota durante seus ciclos produtivos (CARDOSO et al., 2019). É uma cultura imprescindível na sustentabilidade da pecuária do Semiárido brasileiro, notadamente a leiteira (LEITE et al., 2014).

A palma forrageira pode atender a demanda energética dos ruminantes, por ser considerada um alimento rico em energia, no entanto, devido ao alto teor de carboidratos não fibrosos, quando fornecida exclusivamente, pode causar problemas ruminais (e.g., timpanismo, acidose, diarreia e diminuição no teor de gordura do leite) (AGUIAR et al., 2015). Como estratégia para contornar essa situação, o fornecimento de alimentos proteicos e com elevado teor de fibra torna-se de extrema importância (GUSHA et al., 2015).

Diante deste cenário, ressalta-se espécies do gênero *Manihot*, como a pornunça (*Manihot* sp.), uma euforbiácea perene de ocorrência natural no Semiárido brasileiro, que apresenta alto teor de proteína bruta, alta proporção de fibras e elevado potencial produtivo, em virtude da tolerância à poda e capacidade de rebrotação, podendo ser associada à palma forrageira na dieta dos rebanhos, na forma de feno, silagem e *in natura*, em função dos menores teores de ácido cianídrico quando comparada a mandioca e maniçoba (FERREIRA et al., 2009; LEITE et al., 2021).

Esta associação pode ser feita através do consórcio, prática que permite o cultivo simultâneo de duas ou mais espécies na mesma área, visando à utilização mais eficiente dos recursos naturais disponíveis. Os benefícios do consórcio de culturas agrícolas, quando comparado com os sistemas exclusivos, devem-se ao melhor aproveitamento dos recursos naturais em escala temporal e espacial (CHIMONYO et al., 2018). A consorciação contribui no controle biológico de pragas e doenças, devido a maior diversidade de espécies vegetais na área, proporciona diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação, minimiza a infestação de plantas daninhas, enriquece a microbiota do solo, estabilidade alimentar para os rebanhos, diversidade de alimentos e fonte de renda para as famílias (JAVANMARD et al., 2020; SALVADOR et al., 2021).

A produção de fitomassa por unidade de área em condição de consórcio é elevada quando comparada com os sistemas de cultivo solteiro, havendo otimização dos recursos disponíveis locais, minimizando eventuais perdas de produção, especialmente em áreas sob a ocorrência de eventos climáticos extremos (AMORIM et al., 2017). Nesse sentido, para a maximização na produtividade de cultivos de plantas forrageiras e maior eficiência no uso da terra, o cultivo consorciado é uma alternativa bastante viável, principalmente em regiões semiáridas (LIMA et al., 2018; JARDIM et al., 2021b).

O uso e manejo inadequado do solo contribui para uma maior emissão de gases do efeito estufa (GEE), prejudicando o meio ambiente, além de promover inúmeros problemas relacionados à sustentabilidade de agrossistemas, em razão da degradação da matéria orgânica do solo, afetando negativamente os atributos físicos e químicos do solo, assim como sua biodiversidade. Nesse sentido, o uso de práticas resilientes (e.g., cobertura morta, consórcio, plantio direto, etc.) que visam à manutenção e o acúmulo de carbono (C) no sistema solo-planta, podem mitigar os efeitos do aquecimento global (KOVEN et al., 2017).

Com base na importância nutricional, produtiva e econômica da palma forrageira, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com objetivos de potencialização do seu cultivo em sistema consorciado, todavia, há necessidade de mais estudos (DINIZ et al., 2017; LIMA et al., 2018; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022). Na literatura, são poucos os relatos sobre cultivos solteiros ou consorciados de pornunça (ANDRADE et al., 2016; MOURA et al., 2020). Portanto, não há estudos de longa duração que relatem o uso de consórcios múltiplos nestas espécies. Quando consorciadas, espécies forrageiras podem sofrer alterações nas taxas de crescimento e na dinâmica de uso dos recursos biofísicos, entretanto, espera-se uma vantagem produtiva ao adotar essa prática (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022; BEZERRA et al., 2022).

O consórcio palma-pornunça é uma configuração promissora e vantajosa para o sistema de produção agropecuário, por causa do potencial quali-quantitativo forrageiro destas duas espécies, melhorando a eficiência no uso da terra, nutrientes, água, CO₂, radiação, controle de ervas daninhas, bem como, uma maior diversificação e incremento nutricional da dieta dos ruminantes (DINIZ et al., 2017; LIMA et al., 2018, SOUZA et al., 2022). No cenário atual, onde as margens de retorno econômico das atividades pecuárias são restritas, a procura de maior eficiência ambiental e econômica se torna questão de sobrevivência dos sistemas de produção.

Devido às características morfofisiológicas de alta adaptabilidade a ambientes semiáridos, a palma forrageira com seu sistema radicular superficial e metabolismo MAC e a pornunça, espécie de metabolismo C₃, com sistema radicular tuberoso profundo, constituem notável exemplo de vegetais com elevada eficiência de utilização de água e que podem incrementar no Semiárido brasileiro a oferta de forragem de alto valor nutricional, ao longo do ano, tanto no período das chuvas como de seca.

O cultivo de plantas forrageiras adaptadas às condições do Semiárido brasileiro pode manter o equilíbrio na oferta de alimento ao longo do ano, diminuindo a escassez de forragem no período de seca. Com isso, torna-se necessário um aprofundamento nas pesquisas com espécies presentes nesse território, notadamente quanto ao seu valor qualitativo e quantitativo, para que dessa maneira se consiga a sustentabilidade do meio rural (ALENCAR et al., 2015).

3. CONSÓRCIOS COM PALMA FORRAGEIRA

O consórcio é uma prática agrícola conservacionista que utiliza mais de uma espécie vegetal na mesma área e no mesmo período de tempo (SOUZA et al., 2018; BEZERRA et al., 2022). Essa técnica proporciona maiores retornos produtivos, resultante de uma elevada eficiência na utilização dos recursos naturais (i.e., água, luz e nutrientes), quando comparado ao cultivo solteiro das espécies (JIAO et al., 2021). A consorciação contribui também no controle biológico de pragas e doenças, em função da maior diversidade de espécies na área, propicia diminuição da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação, minimiza a infestação de plantas daninhas, enriquece a vida biológica do solo, otimiza a mão de obra e promove estabilidade alimentar para os rebanhos, diversidade de alimentos e fontes de renda para as famílias (JAVANMARD et al., 2020).

O uso de sistemas consorciados vem sendo muito incentivado nas regiões semiáridas, por permitirem um melhor aproveitamento por área, havendo maiores rendimentos por meio da cooperação mútua das culturas (MASVAYA et al., 2017). A produção de fitomassa, por unidade de área em condição de consórcio, é elevada, havendo otimização dos recursos disponíveis no local, especialmente em áreas com baixíssimos níveis pluviométricos anuais (AMORIM et al., 2017). Nesse sentido, para a maximização da produtividade de cultivos de plantas forrageiras e elevada eficiência no uso da terra, o cultivo consorciado é uma alternativa promissora e bastante viável, principalmente em regiões semiáridas (LIMA et al., 2018; JARDIM et al., 2021a).

Em cultivo de palma forrageira solteira e consorciada com sorgo, Diniz et al. (2017) verificaram um incremento produtivo de aproximadamente $1,65 \text{ t ha}^{-1}$ no consórcio palma-sorgo em relação a palma solteira em ambiente semiárido, embora com uma redução na produtividade individual da palma quando consorciada, devido a competição interespecífica entre as culturas por recursos naturais (i.e., água, luz, nutrientes). Posteriormente, Jardim et al. (2021b) avaliaram o consórcio da palma com cultivares de sorgo em ambiente semiárido, e observaram incrementos produtivos de 47% de fitomassa em relação aos cultivos solteiros. No entanto, para a obtenção de maiores rendimentos nos sistemas consorciados, deve-se levar em consideração a escolha de espécies que se complementam, o arranjo do cultivo, espaçamento e densidade populacional, para que as culturas persistam no sistema e alcancem seu potencial produtivo (CARVALHO, 2017; SALVADOR et al., 2021).

4. PORNUNÇA

As plantas do gênero *Manihot* apresentam grande importância nas regiões semiáridas, em função das suas adaptabilidades, elevado teor de proteína bruta, alta digestibilidade e capacidade produtiva (ALENCAR et al., 2015). A pornunça (*Manihot* spp.), também conhecida como pornúncia, prinunça, pornona, mandioca de sete anos ou maniçoba de jardim, é uma planta da família da Euforbiácea, cruzamento natural da mandioca (*Manihot esculenta*) com maniçoba (*Manihot* spp.), se destaca na produção de forragem, retenção foliar, tolerância a cortes, capacidade de brotação e valor nutritivo do feno e silagem produzidos (VOLTOLINI et al., 2010). Apresenta ainda, raízes com grande capacidade de reserva promovendo a esta espécie uma grande persistência no período seco. Essa planta é um importante recurso forrageiro para a alimentação de ruminantes no Semiárido brasileiro por ser uma planta perene cultivada na forma de lavoura xerófila (ALENCAR et al., 2015).

Algumas plantas do gênero *Manihot* causam intoxicação em animais, dependendo da forma como é administrada (AMORIM et al., 2005), devido seus altos conteúdos de glicosídeos cianogênicos, que ao se hidrolisarem mediante a ação da enzima linamarase, originam o ácido cianídrico (HCN), entretanto, a pornunça tem apresentado menores conteúdo desses glicosídeos em comparação a outras espécies do gênero *Manihot*, como a mandioca e a maniçoba, propiciando assim segurança ao produtor diante de possíveis riscos de intoxicação (FERREIRA et al., 2009). Entretanto, poucos criadores conhecem essa planta forrageira, e menos ainda, sabem como manejá-la de forma adequada para mostrar todo seu potencial forrageiro,

Na literatura são encontradas algumas pesquisas com pornunça, em função do crescimento e produção em relação a diferentes fontes de adubos orgânicos (NASCIMENTO et al., 2021), composição bromatológica (VASCONCELOS et al., 2010), produção e valor nutritivo da parte aérea (FERREIRA et al., 2009), no entanto, são poucos os estudos da pornunça em sistema consorciado, necessitando de mais estudos.

Essa euforbiácea pode ser associada à palma, promovendo um incremento qualitativo na oferta de forragem nas regiões semiáridas (LEITE et al., 2021). Além disso, a utilização de plantas que possuam sistema radicular volumoso e agressivo, como a pornunça, tem mostrado eficiência na descompactação de solos a longo prazo, rompendo camadas compactadas e adensadas do solo, promovendo uma diminuição da resistência a penetração (SANTIANI et al., 2020).

5. ATRIBUTOS, EFLUXO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural ocasionado pela concentração de gases (i.e., dióxido de carbono - CO₂, metano - CH₄ e óxido nitroso - N₂O), formando uma camada que permite a passagem dos raios solares e a absorção de calor, contribuindo para manutenção da temperatura global e possibilitando a ocorrência de vida na Terra (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2017). Entretanto, diversas atividades antrópicas têm causado aumento na concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, a exemplo do uso e manejo inadequado do solo, alterando a capacidade dos solos em armazenar o CO₂ adsorvido pelas plantas, provocando aumento da temperatura e distribuição irregular de chuvas durante o ano (SANTANA et al., 2019). Contudo, o uso de práticas resilientes (e.g., cobertura morta, consórcio, sistemas agroflorestais, plantio direto, etc.) que visam à manutenção e o acúmulo de carbono (C) no sistema solo-planta, podem mitigar os efeitos do aquecimento global (KOVEN et al., 2017).

A respiração do solo é o segundo maior fluxo de CO₂ entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera. O CO₂ é produzido na superfície do solo, por meio da atividade microbiana, decomposição aeróbica da matéria orgânica e respiração do sistema radicular das plantas. A saída do gás carbônico para a atmosfera, resultante desses vários processos que ocorrem na serrapilheira, na superfície e nas camadas mais profundas do solo, é chamada de efluxo de CO₂ (YANG et al., 2018). Logo, o balanço de C no solo é condicionado pela relação entre as adições de C fotossintetizado pela planta (parte aérea e raízes) a as saídas de C para a atmosfera proveniente da oxidação microbiana do C orgânico à CO₂ (LOURENÇO et al., 2022).

As intervenções agrícolas contribuem com diversas alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Sendo que os principais fatores físicos e químicos do solo que contribuem para a emissão de CO₂ do solo, são: densidade do solo, macro e microporosidade, teor de matéria orgânica e carbono orgânico (IAMAGUTI et al., 2015). A porosidade do solo afeta a infiltração, o acúmulo e a drenagem da água ao longo do perfil do solo, além de afetar o fluxo e a distribuição de ar no solo, contribuindo assim para as diversas alterações que ocorrem nas emissões de CO₂ do solo, além disso, elevadas densidades do solo em combinação com uma baixa porosidade compromete a atividade biológica do solo (SIMÕES et al., 2023).

Avaliando a emissão de CO₂ em solo de textura arenosa, Novara et al. (2012) constataram uma redução de um terço na emissão de CO₂ quando a densidade do solo atingiu 1,5 g cm⁻³. Mostrando assim, que esse aumento na quantidade de CO₂ nos poros do solo advém da atividade respiratória do solo, sendo a concentração de CO₂ proveniente da respiração radicular e atividade biológica do solo (YANG et al., 2018). Conforme Braga et al. (2015), os solos com textura arenosa apresentam maior organização entre as partículas e são mais resistentes as forças externas, proporcionando assim condições favoráveis a atividade microbiana. Já a composição espacial dos atributos do solo é interferida por vários fatores de uma forma altamente complexa devido à covariação espacial e temporal entre os fatores influenciadores, além disso, a classe textural do solo, como também sua topografia pode contribuir para a variação espacial e temporal da emissão de CO₂ do solo (FÓTI et al., 2016).

Além dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, a dinâmica da emissão de CO₂ depende também das práticas de manejo do solo a serem adotadas, bem como das condições climáticas locais (SIMÕES et al., 2023). Por isso vale salientar que as variadas alterações que ocorrem nos fatores ambientais, gera consequências nas emissões de CO₂, causando grandes variações nesse processo (YANG et al., 2018).

Levando em consideração as alterações diárias na emissão de CO₂, as condições climáticas são determinantes na intensidade deste fenômeno, visto que atuam diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo, que são um dos principais fatores controladores do processo de emissão, por meio de seus efeitos sobre a atividade microbiana e de raízes (YANG et al., 2018). Segundo Yang et al. (2018), o aumento na temperatura do solo acelera a decomposição da matéria orgânica, a atividade microbiana e das raízes, conseqüentemente, eleva a emissão de CO₂. Considerando o estudo de alguns autores (YANG et al., 2018; SOUZA et al., 2021; SIMÕES et al., 2023), a umidade do solo também se destaca quando se trata da avaliação da emissão de CO₂, pois a mesma participa no controle dos processos de produção, transporte e emissão de CO₂ do solo para a atmosfera (LOURENÇO et al., 2022). Mas dependendo da umidade, esses processos podem ser tanto favorecidos quanto inibidos, já que envolve a atividade microbiana e a difusão de gases (MIAO et al., 2017). Simões et al. (2023) relataram que a interação entre a umidade do solo e o seu espaço poroso são os grandes responsáveis por tais processos.

Diversos autores constataram que a emissão de CO₂ está correlacionada com a umidade do solo (PANTOJA et al., 2020; SOUZA et al., 2021; SIMÕES et al., 2023) e com a temperatura do solo (IAMAGUTI et al., 2015; YANG et al., 2018). A emissão de CO₂ em

função da umidade e temperatura do solo, em áreas agrícolas e florestas, podem variar tanto espacialmente como temporalmente (KONCZ et al., 2015; YANG et al., 2018).

A presença da cobertura vegetal em solos submetidos a manejos conservacionistas contribui para as mudanças no teor de água do solo, induzindo assim a heterogeneidade espacial ao afetar a capacidade de retenção de carbono, água e nutrientes (DENARDIN et al., 2019). Já em solos desprovidos de cobertura vegetal, a atividade respiratória é apenas heterotrófica, ou seja, ocorre somente através do metabolismo de diversos organismos associados aos substratos e compostos orgânicos (YANG et al., 2018).

A conversão dos ecossistemas naturais em ambientes de cultivo promove alterações na dinâmica do C no solo, sendo que essas modificações frequentemente provocam o declínio no teor de C orgânico, em função da redução do aporte, perdas por erosão e por decomposição da matéria orgânica (DENARDIN et al., 2019).

Os sistemas agropecuários vêm apresentando nos últimos anos crescente interesse nos efeitos do manejo do solo e estoques de carbono do solo (LAL, 2018), objetivando aumentar a taxa de armazenamento de C em solos agrícolas e assim contribuir para minimizar os impactos proveniente das mudanças climáticas, além de promover melhorias na ciclagem de nutrientes nos sistemas de produção (KOVEN et al., 2017; ROSSET et al., 2019; FERREIRA et al., 2020).

Uma importante fonte de interesse da pesquisa atual é entender os fatores que controlam o estoque de C do solo e sua estabilidade em resposta ao manejo aplicado (WARD et al., 2016). Isso ocorre porque o armazenamento de C no solo em longo prazo é necessário para a mitigação dos GEE, e requer estabilização em formas menos suscetíveis a perdas (ADKINS et al., 2016). O estoque de C orgânico do solo está relacionado com o modo de uso da terra e das práticas agrícolas adotadas (LAL, 2018; ASSUNÇÃO et al., 2019). Em área de vegetação nativa, o teor de C é estável e pouco varia ao longo do tempo, como em sistemas conservacionistas de produção agrícola, tal como o plantio direto (ROSSET et al., 2016), consórcios agrícolas (SOUZA et al., 2022), reflorestamento e sistemas agrofloretais (SIMÕES et al., 2023), tendem a armazenar mais C, pelo grande aporte de material orgânico acumulado na superfície e ainda contribuem positivamente nas características físicas, químicas (SALES et al., 2018) e biológicas do solo (FERREIRA et al., 2019).

O uso e manejo inadequado do solo, além de contribuírem para a emissão dos GEE, prejudicando o ambiente, ainda trazem inúmeros problemas relacionados à sua sustentabilidade em razão da degradação da matéria orgânica do solo, alterando

negativamente, por consequência, os atributos físicos e químicos do solo, bem como sua biodiversidade. Entretanto, práticas adequadas de manejo, que visam à manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podem atenuar os efeitos do aquecimento global (KOVEN et al., 2017). Além de seu papel no balanço global de C, os solos também são um recurso vital para a humanidade, abrigando a biodiversidade, regulando ciclos de nutrientes, produção de alimentos, erosão e qualidade de água doce (KEESSTRA et al., 2016).

Recentemente, Jardim et al. (2023) analisando dados de covariância de fluxo turbulento ao longo de três anos (2019–2021) em cultivo de palma forrageira, observaram o comportamento do balanço de carbono, energia e radiação, onde constaram que em agroecossistema cultivado com a palma *Opuntia stricta*, o fechamento do balanço energético utilizando dados do sistema de covariância de redemoinhos alcançou resultados satisfatórios de 71%, mostrando assim que a palma tem um potencial sumidouro de C ao longo do ano, com troca líquida de CO₂ no ecossistema. Portanto, muitos pesquisadores acreditam que ações que visam às reduções dos GEE devem ser imediatamente colocadas em prática para garantir a resiliência desse importante ecossistema frente às oscilações climáticas atuais (KOVEN et al., 2017; LAL, 2018; ROSSET et al., 2019; FERREIRA et al., 2020).

6. ÍNDICES DE EFICIÊNCIA BIOLÓGICA, HABILIDADE COMPETITIVA E VIABILIDADE ECONÔMICA DO CONSÓRCIO

O consórcio é uma prática muito importante em ambientes semiáridos, pois permite otimizar o uso da terra e dos recursos naturais locais disponíveis (i.e., água, radiação e nutrientes) (JAVANMARD et al., 2020). Vários estudos relataram um aumento na produção de forragem em sistemas consorciados (MASVAYA et al., 2017; DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022).

Embora o consórcio seja uma estratégia promissora, há ocorrência de competição interespecífica das culturas, causando alterações no seu crescimento e desenvolvimento, devido ao efeito de fatores bióticos e abióticos no ambiente de cultivo e na fotossíntese líquida e partição da matéria seca (CHIMONYO et al., 2018; JIAO et al., 2021; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022). No entanto, entender o desempenho de crescimento das plantas contribui na identificação dos fatores que limitam a produção de forragem e auxilia na adaptação das práticas de manejo (JARDIM et al., 2021b).

Os índices de eficiência biológica geralmente utilizados para estimar a performance dos sistemas consorciados são: a razão equivalente de terra, razão de área equivalente no tempo, coeficiente equivalente de terra e o índice de produtividade do sistema. Já para os índices de habilidade competitiva são utilizados: o coeficiente de adensamento relativo, agressividade, perda ou ganho atual de rendimento e a razão de competitividade (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022; BEZERRA et al., 2022).

Existem vários estudos com palma forrageira solteira em condições de sequeiro (SILVA et al., 2015; ROCHA et al., 2017; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021b), e consorciada (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022), todavia, ainda são poucas as pesquisas avaliando o consórcio de palma forrageira com outras culturas, necessitando de mais estudos. Souza et al. (2022) estudaram os índices de eficiência biológica, capacidade competitiva e benefícios econômicos em cultivo de palma forrageira e milho, e constataram vantagens produtivas no sistema consorciado quando comparado ao solteiro.

A aplicação de índices de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas de cultivo consorciado ajuda a entender a competitividade das culturas, a determinação da cultura dominante, os benefícios econômicos e as configurações ideais de cultivo (CHIMONYO et al., 2018; JARDIM et al., 2021b; SOUZA et al., 2022).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A oferta regular de forragem ao longo do ano nas regiões semiáridas é um dos principais obstáculos que o setor agropecuário enfrenta, principalmente no período de estiagem, logo, o uso de práticas resilientes, como o consórcio, é uma alternativa sustentável para o cultivo de plantas forrageiras, pois permite uma elevada eficiência dos recursos naturais, notadamente na utilização da água de chuva, e aumento de rendimento de fitomassa por área.

Adicionalmente, espera-se que o efluxo de CO₂ do solo seja elevado pela respiração das raízes e maior atividade microbiana no sistema consorciado, sendo esse um indicativo utilizado para avaliação de sistemas de cultivo sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ADKINS, J.; JASTROW, J. D.; MORRIS, G. P.; SIX, J.; GRAAFF, M. Effects of switchgrass cultivars and intraspecific differences in root structure on soil carbon inputs and accumulation. **Geoderma**, v. 262, p. 147-154, 2016.

AGUIAR, M. S. M. A.; SILVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; COSTA, L. T.; MATEUS, R. G.; SOUZA, D. R.; SILVA, V. L. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 1013–1030, 2015.

AGUIRRE-GUTIÉRREZ, C. A.; HOLWERDA, F.; GOLDSMITH, G. R.; DELGADO, J.; YEPEZ, E.; CARBAJAL, N.; ESCOTO-RODRIGUES, M.; ARREDONDO, J. T. The importance of dew in the water balance of a continental semiarid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 168, p. 26-35, 2019.

ALENCAR, F. H. H. D.; SILVA, D. S. D.; ANDRADE, A. P. D.; CARNEIRO, M. S. D. S.; FEITOSA, J. V. Composição química e digestibilidade da pornunça sob duas fontes de adubação orgânica e cortes. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 215-222, 2015.

ALVES, C. P.; CIRINO JUNIOR, B.; ROCHA, A. K. P.; VIEIRA, D. S. M. M.; EUGÊNIO, D. S.; LEITE, M. L. M. V. Respostas morfofisiológicas das plantas forrageiras sob manejo de cultivo e pastejo: Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e10610615405-e10610615405, 2021.

AMORIM, S. L.; MEDEIROS, R. M.; RIET-CORREA, F. Intoxicação experimental por *Manihot glaziovii* (Euphorbiaceae) em caprinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 25, p. 179-187, 2005.

AMORIM, D. M.; SILVA, T. G. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, L. S. B.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactos under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 62-71, 2017.

ANDRADE, S. F. J. D.; BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R. D.; LUCENA, R. B. D.; ANDRADE, R. D. P. X. D. Fresh or dehydrated spineless cactus in diets for lambs. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.38, n.2, p.155-161, 2016.

ARAÚJO JÚNIOR, G. 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. F. R.; ALVES, C. P.; ALVES, H. K. M. N. 2021. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, p. 1–12, 2021a.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. J.; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A.; COSTA, S. A. T.; SILVA, T. G. F. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, p. 126375, 2021b.

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, n. 1, p. 901-911, 2019.

BRAGA, F. V. A.; REICHERT, J. M.; MENTGES, M. I.; VOGELMANN, E. S.; PADRÓN, R. A. R. Propriedades mecânicas e permeabilidade ao ar em topos sequência Argissolo-Gleissolo: Variação no perfil e efeito de compressão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 39, p. 1025-1035, 2015.

BEZERRA, R. C. A.; SANTOS, A. R. M.; CORDEIRO, L. R. B. A.; SOUZA, J. C. G.; NASCIMENTO, D. B.; NOGUEIRA, J. C.; LEITE, M. L. M. V. Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e258111537107-e258111537107, 2022.

CAIÇARA, T. M. S.; TEIXEIRA, T. C.; SOUZA, J. P. M. C.; SOUZA, F. P. Panorama do abastecimento de água no semiárido brasileiro. **Exatas & Engenharias**, v. 12, n. 35, p. 22-40, 2022.

CARDOSO, D. B.; CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, G. R.; GUIM, A.; CABRAL, A. M. D.; VÉRAS, R. M. L., SANTOS, K. C., DANTAS, L. C. N., NASCIMENTO, A. G. O. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23–31, 2019.

CARVALHO, R. T. L. Alimentos e alimentação de caprino-ovinocultura no Brasil. **Revista Ciência Rural**, v. 36 n. 5, p. 87-94, 2017.

CHIMONYO, V. G. P.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. **South African Journal of Botany**, v. 118, p. 76-84, 2018.

CIRINO JUNIOR, B.; LEITE, M. L. M. V.; SILVA, F. E.; ALVES, C. P.; OLIVEIRA, A. C.; EUGÊNIO, D. S. Crescimento inicial de clones de palma forrageira submetidos a níveis de adubação potássica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, n. 1, 2022.

COSTA, M. S.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTOS, P. J.; CORREIA FILHO, W. L. F.; GOIS, G.; BLANCO, C. J. C.; TEODORO, P. E.; SILVA JUNIOR, C. A.; SANTIAGO, B. D.; SOUZA, E. O.; JARDIM, A. M. R. F. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its relationship with El Niño– Southern Oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 41, p. E2111-E2135, 2020.

CRUZ NETO, J. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Desertificação: uma visão geral dos processos e conceitos, fundamentados em aplicação de índices orbitais através do sensoriamento remoto. **Research, Society and Development**, v. 10, p. e585101119950, 2021.

DENARDIN, L. G. D. O.; CARMONA, F. D. C.; VELOSO, M. G.; MARTINS, A. P.; FREITAS, T. F. S.; CARLOS, F. S.; MARCOLIN, E.; CAMARGO, F. A. O.; ANGHINONI,

I. No-tillage increases irrigated rice yield through soil quality improvement along time. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 64-69, 2019.

DINIZ, W. J. S.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; SANTOS, D. C.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 724-733, 2017.

FERREIRA, A. L.; SILVA, A. F.; PEREIRA, L. G. R.; BRAGA, L. G. T.; MORAES, S. A.; ARAÚJO, G. G. L. Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 1, p. 129-136, 2009.

FERREIRA, C. R.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Diversity of the edaphic macrofauna in areas managed under no-tillage for different periods. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 2, p. 599-610, 2019.

FERREIRA, C. R.; SILVA NETO, E. C.; PEREIRA, M. G.; GUEDES, J. N.; ROSSET, J. S.; ANJOS, L. H. C. Dynamics of soiln aggregation and organic carbon fractions over 23 years of no-till management. **Soil & Tillage Research**, v. 198, p. 1-9, 2020.

FÓTI, S.; BALOGH, J.; HERBST, M.; PAPP, M.; KONCZ, P.; BARTHA, S.; ZIMMERMANN, Z.; KOMOLY, C.; SZABÓ, G.; MARGÓCZI, K.; ACOSTA, M.; NAGY, Z. Meta-analysis of field scale spatial variability of grassland soil CO₂ efflux: Interaction of biotic and abiotic drivers. **Catena**, v. 143, p. 78–89, 2016.

GUEDES, F. L.; SILVA, N. L.; SOUZA, H. A.; POMPEU, R.; FERNANDES, F. **Desempenho de forrageiras em caatinga manipulada em região semiárida**. Embrapa Caprinos e Ovinos-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2018.

GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; NGONGONI, N. T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 1-7, 2015.

HASSAN, S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORI, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v. 105, p. 104-110, 2019.

HUSSAIN, J.; KHALIQ, T.; AHMAD, A.; AKHTER, J.; ASSENG, S. Wheat responses to climate change and its adaptations: a focus on arid and semi-arid environment. **International Journal of Environmental Research**, v. 12, n. 1, p. 117-126, 2018.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. D. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA J. R, N. Preparo do solo e emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 497–504, 2015.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; SOUZA, M. S. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactussorghum in the semi-arid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, p. 69-87, 2020.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V.; SILVA, A. R.; SANTOS, A.; PANDORFI, H.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; LIMA, J. L. M. P.; SOUZA, L. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, T. G. F. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 223, p. 105733, 2021a.

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.; MOURA, M. S. B. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021b.

JARDIM, A. M. R. F.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B.; MORAIS, J. E. F.; MARIN, F. R.; MOURA, M. S. B.; MORELLATO, L. P. C.; MONTENEGRO, A. A. A; OMETTO, L. P. C.; LIMA, J. L.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SILVA, T. G. F. Sink or carbon source? how

the *Opuntia* cactus agroecosystem interacts in the use of carbon, nutrients and radiation in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Hydrology**, v. 625, p. 130121, 2023.

JAVANMARD, A.; MACHIANI, M. A.; LITHOURGIDIS, A.; MORSHEDLOO, M. R.; OSTADI, A. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 1, p. 100003, 2020.

JIAO, N.; WANG, J. M. A. C.; ZHANG, C.; GUO, D.; ZHANG, F.; JENSEN, E. S. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. **The Crop Journal**, v. 9 n. 6, p. 1460-1469, 2021.

KESSTRA, S. D.; BOUMA, J.; WALLINGA, J.; TITTONELL, P.; SMITH, P.; CERDA, A.; MONTANARELLA, L.; QUINTON, J. N.; PACHEPSKY, Y.; VAN DER PUTTEN, W. H.; BARDGETT, R. D.; MOOLENAAR, S.; MOL, G.; JANSEN, B.; FRESCO, L. O. A importância dos solos e da ciência do solo para a realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, **Soil & Tillage Research**, v. 2, p. 111-128, 2016.

KONCZ, P.; BALOGH, J.; PAPP, M.; HIDY, D.; PINTÉR, K.; FÓTI, S.; KLUMPP, K.; NAGY, Z. Higher soil respiration under mowing than under grazing explained by biomass differences. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 103, n. 2, p. 201–215, 2015.

KOVEN, C. D.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D. M.; WIEDER, W. R. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 11, p. 817, 2017.

LAL, R. Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, p. 3285-3301, 2018.

LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. S. B. Comparison of methods for estimating leaf area in pornunça (*Manihot*

sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 11, p. 733-740, 2021.

LEITE, M. L. M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano, **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F.; PEREIRA, P. C.; MORAIS, J. E. F.; ASSIS, M. C. S. Productive economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 191–201, 2018.

LOURENÇO, E. R. C.; SOUZA, B. I.; D'ANDREA, A. F.; SOUZA, J. J. L. L. Temporal variation of soil CO₂ emission in different land uses in the Caatinga. **Applied Geography**, v. 140, p. 102661, 2022.

MASVAYA, E. N.; NYAMANGARA, J.; DESCHEEMAEKER, K.; GILLER, K. E. Is maize-cowpea intercropping a viable option for smallholder farms in the risky environments of semi-arid southern Africa. **Field Crops Research**, v. 209, p. 73-87, 2017.

MEIRA, A. N.; GIVISIEZ, P. E. N.; SOUZA, FRANCISCA G. C.; LEON, C. M. G. C.; AZEVEDO, P. S.; SILVA, N. M. V.; OLIVEIRA, C. J. B. Food security and safety mismatch in low-income settings: Evidence from milk produced by smallholders in semiarid Paraíba, Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104453, 2021.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2017.

MIAO, Y.; HAN, H.; DU, Y.; ZHANG, Q.; JIANG, L.; HUI, D.; WAN, S. Nonlinear responses of soil respiration to precipitation changes in a semiarid temperate steppe. **Scientific Reports**, v. 7, p. 45782, 2017.

MOREIRA, J. M.; PÉREZ-MARIN, A. M.; ARAÚJO, J. S.; LAMBAIS, G. R.; SALES, A. T. Nutrients demand of cactus forage. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, p. 811–820, 2020.

MOTTIN, M. C.; SEIDEL, E. P.; RIBEIRO, L. L. O.; PAN, R.; FEY, E.; ROSSET, J. S. Efeito do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura na produção de massa seca e nas propriedades físicas do solo. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 70-91, 2022.

MOURA, M. S. B.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, W. M. Aspectos meteorológicos do Semiárido brasileiro. **Tecnologias de convivência com o semiárido brasileiro**. Banco do Nordeste do Brasil, v. 1, p. 85-104, 2019.

MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; SIMÕES, V. J. L. P.; SIMPLÍCIO, J. B. Relation of plant height and cladode number of cactus little sweet clone consorted with pornunça. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 54, n. 2, 2020.

NASCIMENTO, R. R.; ALBUQUERQUE, D. R.; SOUZA CARNEIRO, M. S.; EDVAN, R. L.; SOUSA, J. M. S.; SOUSA COSTA, M. A.; ROCHA, A. M. Crescimento e produção de pornunça em relação a diferentes fontes de adubos orgânicos disponíveis em regiões semiáridas. **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia Volume**, v. 9, p. 8, 2021.

NOVARA, A.; ARMSTRONG, A.; GRISTINA, L.; SEMPLE, K. T.; QUINTON, J. N. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 37, p. 994-999, 2012.

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. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, p. 128–139, 2020.

OLIVEIRA, F.; SENA, R.; AZEVEDO, D.; SANTOS, D. Difusão de forrageiras adaptadas à caatinga: uma estratégia para a produção animal sustentável. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 38, 2021.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; MENDES, D.; CORREIA FILHO, W. L. F.; SILVA JUNIOR, C. A.; GOIS, G.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V.; LYRA, G. B.; TEODORO, P. E.; PIMENTEL, L. C. G.; LIMA, M.; SANTIAGO, D. B.; ROGERIO, J. P.; MARINHO, A. A. R. Fire Foci in South America: Impact and Causes, Fire Hazard and Future Scenarios. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103623, 2021.

PANTOJA, C. A.; ARAÚJO, A. C.; MENDES, E. M. O.; SOUZA, C. M. A.; SANTIAGO, A. V.; SILVA, J. A. F.; YAKUWA, J. C. P. Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, 2020.

RAI, R. K.; BHATTA, L. D.; ACHARYA, U.; BHATTA, A. P. Assessing climate-resilient agriculture for smallholders. **Environmental Development**, v. 27, p. 26-33, 2018.

RAO, C. S.; KAREEMULLA, K.; KRISHNAN, P.; MURTHY, G. R. K.; RAMESH, P.; ANANTHAN, P. S.; JOSHI, P. K. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 621-633, 2019.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Organic matter and soil aggregation in agricultural systems with different adoption times. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 6, p. 3443-3460, 2019.

SADEGHPOUR, A.; JAHANZAD, E.; ESMAEILI, A.; HOSSEINI, M. B.; HASHEMI, M. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semiarid conditions: Additive series. **Field Crops Research**, v. 148, n. 7, p. 43-48, 2013.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia Legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n. 1, p. 1-15, 2018.

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2322-2343, 2021.

SANTANA, M. S.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; GIONGO, V.; MENEZES, R. S. C.; JESUS, K. N.; ALBUQUERQUE, E. R. G. M.; PRIMO, D. C. Carbon and nitrogen stocks of soils under different land uses in Pernambuco state, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 16, p. e00205, 2019.

SANTIANI, L.; ROSSATO, O. B.; CONTINI, R. P.; VORTMANN, I.; EISENHARDT, J. Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade de massa seca. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 6, p. 36-46, 2020.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; SILVA, M. V.; LOPES, P. M. O.; GUEDES, R. V. S.; SILVA, E. F. F.; ORTIZ, P. F. S.; RODRIGUES, J. A. M. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100372, 2020.

SIMÕES, V. J. L. P.; SOUZA, E. S.; LEITE, M. L. M. V.; SOUZA, R., SILVA, J. R. I.; SALES, A. T.; ANTONINO, A. C. D. Physical-hydric attributes and soil CO₂ efflux in pastoral systems in a Brazilian semi-arid environment. **Agroforestry Systems**, 1-13, 2023.

SOUZA, E. L.; CRUZ, P. J. R.; BONFÁ, C. S.; MAGALHÃES, M. A. Plantas forrageiras para pastos de alta produtividade. **Nutritime**, v. 15, p. 8273-8284, 2018.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FERRAZ, A. P. F.; ALMEIDA, A. Q.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104768, 2021.

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. Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. **African Journal of Range & Forage Science**, p. 1-12, 2022.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I.M., MURPHY, A., 2017. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. (6° ed). Editora Artmed, 2017.

VASCONCELOS, W.; SANTOS, E.; EDVAN, R.; SILVA, T.; MEDEIROS, G. Morfometria, produção e composição bromatológica da Maniçoba e Pornunça, em resposta a diferentes fontes de adubação. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 36-42, 2010.

VOLTOLINI, T. V.; NEVES, A. L. A.; GUIMARÃES FILHO, C.; NOGUEIRA, D.; CAMPECHE, D.; ARAUJO, G. G. L.; MORAES, S. A. **Alternativas alimentares e sistemas de produção animal para o Semiárido brasileiro**. Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE), 2010.

WARD, S. E.; SMART, S. M.; QUIRK, H.; TALLOWIN, J. R. B.; MORTIMER, S. R.; SHIEL, R. S.; WILBY, A.; BARDGET, R. D. Legacy effects of grassland management on soil carbon to depth. **Global Change Biology**, v. 22, n. 8, p. 2929- 2931, 2016.

YANG, K.; YANG, Y.; XU, Z.; WU, Q. Respiração do solo em uma floresta subtropical do sudoeste da China: componentes, padrões e controles. **Plos One**, v. 13, n. 9, p. e0204341, 2018.

ZHANG, Z.; CHIRSTENSSEN, M.; NAN, Z.; WHISH, J. P. M.; BELL, L. E.; WANG, Z.; SIM, R. Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. **Industrial Crops and Products**, v. 131, p. 41-53, 2019.

CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS, MORFOGÊNICAS E PRODUTIVAS DA PALMA E PORNUNÇA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

RESUMO

A produção de forragem para os rebanhos em ambiente semiárido constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta, devido à variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial ao longo ano, logo, o uso de práticas resilientes e culturas adaptadas que possam suprir o déficit de forragem é de grande importância. Nesse sentido, objetivou-se avaliar as características agronômicas de palma forrageira e pornunça em distintos sistemas de cultivo em ambiente semiárido. O ensaio foi conduzido em condições de sequeiro, na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - PE, em delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco sistemas de cultivo: pornunça em cultivo solteiro (P), dois clones de palma forrageira [Doce Miúda (DM) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM)] em cultivo solteiro e em consórcio com a pornunça, com seis repetições. A duração do período experimental foi de 497 dias, compreendidos entre março de 2022 e agosto de 2023. Foram analisadas as características estruturais, morfogênicas, eficiência no uso da água de chuva, acúmulo de água, massa fresca e seca da palma e da pornunça. O clone OEM em sistema consorciado apresentou maior evolução no índice de área de cladódio. As taxas médias de crescimento da altura de planta, largura de planta e número total de cladódios não foram influenciadas pelos sistemas de cultivo estudados, sendo, em média, iguais a 2,19 cm mês⁻¹, 3,28 cm mês⁻¹ e 1,33 unidades, respectivamente. Em termos de massa seca, os sistemas de cultivos consorciados (OEM-P: 19,03 t ha⁻¹; DM-P: 25,34 t ha⁻¹) obtiveram maior rendimento forrageiro quando comparado aos solteiros (OEM: 11,59 t ha⁻¹; DM: 10,85 t ha⁻¹; P: 9,43 t ha⁻¹). O consórcio palma com pornunça, independentemente do clone, pode ser considerado vantajoso e eficiente na produção de fitomassa e uso da água da chuva em ambiente semiárido.

Palavras-chave: Euforbiácea; *Nopalea cochenillifera*; *Opuntia stricta*.

CHAPTER II - STRUCTURAL, MORPHOGENIC AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF PALM AND NUNCA IN SEMIARID ENVIRONMENT

ABSTRACT

The forage production for livestock in a semi-arid environment constitutes the biggest challenge that livestock farming faces, due to the temporal and spatial variability of rainfall throughout the year, therefore, the use of resilient practices and adapted crops that can make up for the forage deficit is of great importance. In this sense, the objective was to evaluate the agronomic characteristics of forage cactus and pornunça in different cultivation systems in a semi-arid environment. The trial was conducted under rainfed conditions, in the experimental area of the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada - PE, in a randomized block design, composed of five cultivation systems: pornunça in single cultivation (P), two clones of forage cactus [Doce Miúda (DM) and Orelha de Elefante Mexicana (OEM)] in single cultivation and in consortium with pornunça, with six replications. The experimental period duration was 497 days, between march 2022 and august 2023. The structural, morphogenic characteristics, rainwater use efficiency, water accumulation, fresh and dry mass of forage cactus and pornunça. The OEM clone in a consortium system showed greater evolution in the cladode area index. The average growth rates of plant height, plant width and total number of cladodes were not influenced by the cultivation systems studied, being, on average, equal to 2.19 cm month⁻¹, 3.28 cm month⁻¹ and 1.33 units, respectively. In terms of dry mass, the intercropping system (OEM-P: 19.03 t ha⁻¹; DM-P: 25.34 t ha⁻¹) obtained higher forage yield when compared to the single one (OEM: 11.59 t ha⁻¹; DM: 10.85 t ha⁻¹; P: 9.43 t ha⁻¹). The consortium of forage cactus with pornunça, regardless of the clone, can be considered advantageous and efficient in the production of phytomass and use of rainwater in a semi-arid environment.

Keywords: Euphorbiaceae; *Nopalea cochenillifera*; *Opuntia stricta*.

1. INTRODUÇÃO

A pecuária representa uma das mais importantes atividades econômicas para o Semiárido brasileiro, sendo um dos principais fatores para a garantia da segurança alimentar das famílias rurais, geração de emprego e renda. A exploração de ruminantes contribui para uma maior estabilidade econômica dos produtores rurais desta região, devido ser uma atividade de menor risco em comparação a agricultura de sequeiro (LEITE et al., 2014; MEIRA et al., 2021).

No Semiárido brasileiro, a produção de alimentos para os rebanhos constitui no maior desafio que a pecuária enfrenta, devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial ao longo do ano, dificultando o cultivo de plantas forrageiras (OLIVEIRA et al., 2021). Além disso, nessas regiões as pastagens nativas compõem grande parte da dieta consumida pelos animais, apresentando um rendimento médio de $1.000 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de massa seca, proporcionando assim uma baixa disponibilidade de forragem para os animais ao longo do ano, principalmente no período de estiagem (PEREIRA FILHO et al., 2013; BEZERRA et al., 2022). Dessa forma, é crucial a exploração de culturas forrageiras adaptadas a tais condições, assim como a utilização de manejo adequado, com a finalidade de se obter altos rendimentos produtivos (CIRINO JUNIOR et al., 2022).

Uma cultura crucial na alimentação animal no Semiárido brasileiro é a palma forrageira, que devido a suas características morfológicas, fisiológicas e anatômicas, apresenta boa adaptação a ambientes com altas temperaturas do ar e déficit hídrico (NUNES et al., 2020; ALVES et al., 2021), no entanto, devido ao seu alto teor de carboidratos não fibrosos, quando fornecida exclusivamente, pode causar problemas ruminais (i.e., timpanismo, acidose, diarreia e diminuição no teor de gordura do leite) (AGUIAR et al., 2015). Como estratégia de contornar essa situação, recomenda-se seu fornecimento associado a alimentos proteicos e com alto teor de fibra (GUSHA et al., 2015).

Diante deste cenário, ressaltam-se espécies do gênero *Manihot*, como a pornunça, uma euforbiácea perene de ocorrência natural no Semiárido brasileiro, rica em proteína bruta e fibras, além de grande potencial produtivo, podendo assim ser associada à palma forrageira na dieta dos rebanhos, na forma de feno, silagem e *in natura*, em função dos menores teores de ácido cianídrico, quando comparada a mandioca e maniçoba (FERREIRA et al., 2009; LEITE et al., 2021). Existem inúmeros estudos que relataram o crescimento e rendimento da palma forrageira em sistema cultivo solteiro e consorciado (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a;

JARDIM et al., 2021; MOURA et al., 2020). Em cultivo de sequeiro, Silva et al. (2015) estudaram o crescimento e a produtividade dos clones Doce Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, observaram baixo efeito das variáveis meteorológicas na dinâmica de crescimento da cultura, entretanto, o aumento dos índices pluviométricos incrementou na dinâmica de largura das plantas, aparecimento e crescimento dos cladódios, e produtividade de matéria seca dos clones. Nunes et al. (2020) constataram em estudos de morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento que as taxas médias de crescimento de largura do dossel, emissão de cladódios e índice de área do cladódio (IAC), exibiram diferenças apenas entre os clones (Doce Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), não havendo efeito do ambiente de crescimento. Vantagens produtivas foram encontradas em cultivado consorciado com sorgo (JARDIM et al., 2021) e milho (SOUZA et al., 2022). Entretanto, não há estudos de longa duração que relatem o crescimento, desenvolvimento e produtividade da palma forrageira em sistema consorciado com a pornunça em ambiente semiárido (ANDRADE et al., 2016; MOURA et al., 2020).

As características estruturais como altura e largura de planta, o número total de cladódios e IAC são cruciais para verificação da capacidade produtiva da palma (NUNES et al., 2020). Assim, a análise dessas características ao longo do tempo pode auxiliar na compreensão da resposta e elaboração de critérios para seleção de clones de palma forrageira em sistema de cultivo solteiro e consorciado com pornunça.

Sabendo-se das vantagens da palma forrageira e da pornunça, se faz necessário pesquisas sob as interações dessas duas culturas. Nesse estudo, hipotetizamos que o consórcio palma forrageira-pornunça é uma estratégia sustentável para regiões semiáridas ao promover um melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis e um incremento qualitativo na oferta de forragem para os animais. Desse modo, objetivou-se avaliar as características estruturais, morfogênicas e produtivas de palma forrageira e pornunça em distintos sistemas de cultivo em ambiente semiárido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre março de 2022 e agosto de 2023 na área experimental do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), em Serra Talhada – PE, Sertão do Pajeú (7°57'24" Sul; 38°17'44" Oeste e Altitude 490 m) (Figura 1). Conforme a classificação

de Köppen, o clima enquadra-se no tipo BSw^h, semiárido quente e seco, chuvas concentradas de janeiro a abril, com pluviosidade média anual de 632 mm ano⁻¹, temperatura média do ar, em torno de 25 °C, umidade relativa do ar de aproximadamente 63%, e demanda atmosférica anual de 1.800 mm (LEITE et al., 2021).

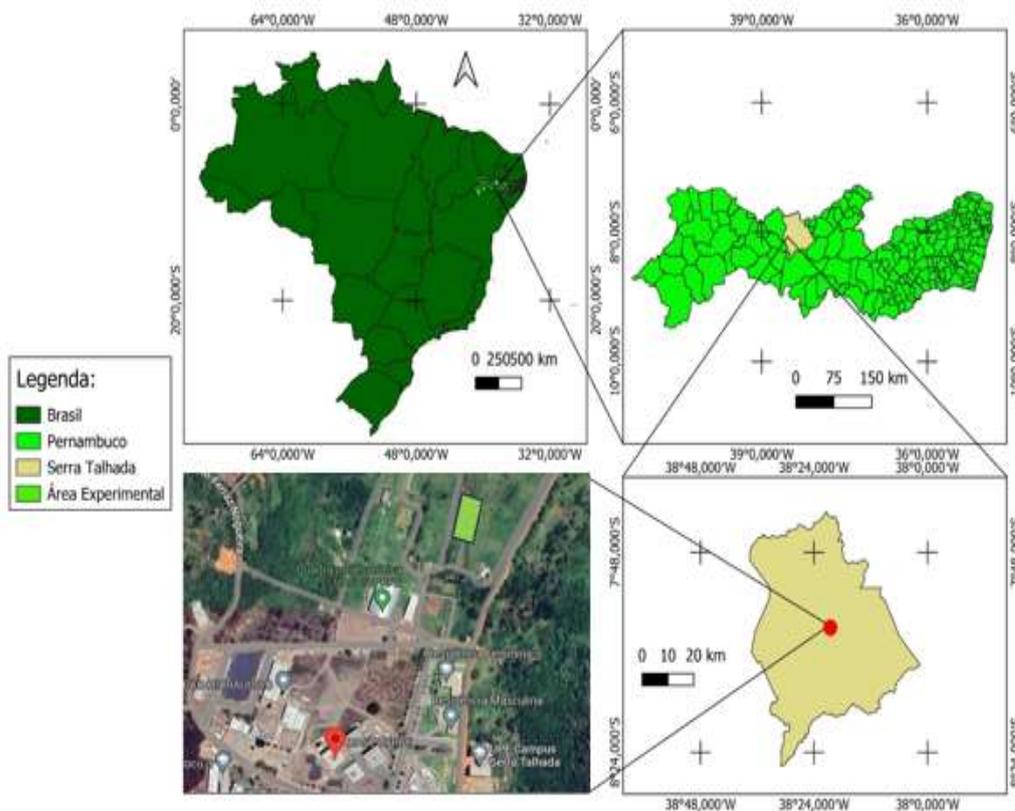


Figura 1. Mapa de localização da área experimental.

Na cultura da palma forrageira, o período experimental foi de ciclo único (16/03/2022 a 28/04/2023, 408 dias). Para a avaliação da pornunça, considerou-se três períodos de avaliação: i) Primeiro ciclo, início do ensaio até o primeiro corte (16/03/2022 a 26/07/2022, 132 dias); ii) Segundo ciclo, do primeiro ao segundo corte (27/07/22 a 11/04//23, 258 dias); iii) Terceiro ciclo, segundo corte até o final do experimento (12/04//23 a 28/07/23, 107 dias), perfazendo um total de 497 dias nos três ciclos de crescimento da pornunça.

As variáveis meteorológicas foram monitoradas ao longo do ciclo das culturas, por meio de uma Estação Meteorológica Automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a 300 m da área experimental (Figura 2).

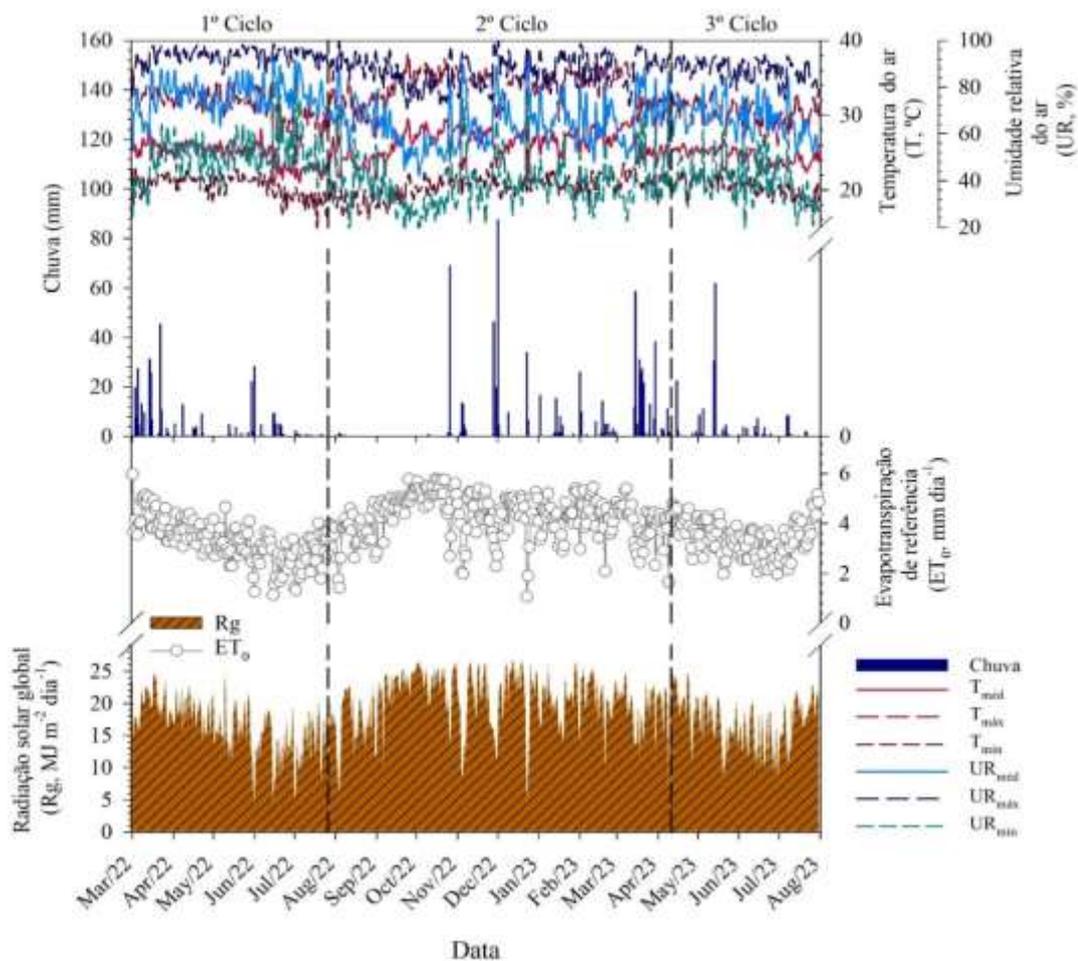


Figura 2. Variação da temperatura do ar (máxima, média e mínima), umidade relativa do ar (máxima, média e mínima), chuva, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, em Serra Talhada – PE. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco sistemas de cultivo: dois clones de palma forrageira [Doce Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck); Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (L.))] em sistema de cultivo solteiro e consorciado com a pornunça (*Manihot esculenta* x *Manihot glaziovii*), e a pornunça em sistema de cultivo solteiro, com seis repetições, resultando em 30 unidades experimentais.

A unidade experimental com área de 24,0 m² (5,0 x 4,8 m), foi composta por três fileiras de palma forrageira, independentemente do clone avaliado, com 25 plantas por fileira, perfazendo 75 plantas por unidade experimental. O espaçamento adotado na palma foi 1,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas (densidade populacional de 31.250 plantas ha⁻¹). Na pornunça, em cultivo solteiro, foram implantadas quatro fileiras com cinco plantas por fileira, totalizando 20 plantas por unidade experimental. Foi adotado para a pornunça o espaçamento de 1,6 x 1,0 m (6.250 plantas ha⁻¹). No consórcio palma-pornunça, três fileiras de palma e

duas fileiras de pornunça na entrelinha da palma, obedecendo aos mesmos espaçamentos adotados no cultivo solteiro das duas culturas, totalizando uma densidade populacional no sistema consorciado de 37.500 plantas ha⁻¹ (31.250 plantas de palma ha⁻¹ + 6.250 plantas de pornunça ha⁻¹).

O preparo do solo foi realizado com 30 dias de antecedência ao plantio, efetuando-se uma aração, seguida de duas gradagens. O solo da área experimental, classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico (SANTOS et al., 2018), foi coletado na camada superficial (0 a 20 cm), posteriormente destorroado e homogeneizado, em seguida peneirado com malha de 2 mm, e caracterizado seus atributos físicos e químicos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo da área experimental, Serra Talhada – PE

Atributos físicos													
Camada	DS	DP	PT	GF	AT	AG	AF	Silte	Argila				
cm	g cm ⁻³		Composição granulométrica %										
0 - 20	1,61	2,53	36,26	59,00	73,60	44,50	29,10	15,90	10,50				
20 - 40	1,66	2,47	32,40	58,31	72,20	48,88	23,34	17,20	10,50				
Atributos químicos													
Camada	P	K ⁺	Na ⁺	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	PST	M.O	
cm	mg dm ⁻³	pH	cmol _c dm ⁻³							%			
0 - 20	380	7,1	0,88	0,11	0,14	1,20	0,10	1,0	2,29	3,29	69,60	3,34	1,24
20 - 40	380	7,1	0,68	0,27	0,30	1,30	0,30	1,0	2,55	2,55	71,80	7,60	0,88

SB = Soma de base = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; CTC = Capacidade de troca catiônica - CTC = SB + (H⁺ + Al³⁺); V = Saturação por base = (SB/CTC) × 100; H+Al = Alumínio trocável; M.O = matéria orgânica; RAS - razão de adsorção ele sódio = Na⁺/[(Ca²⁺+Mg²⁺)/2]^{1/2}; PST - percentagem de sódio trocável, PST = (Na⁺ /CTC) × 100; DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partícula; PT = Porosidade total; GF = Grau de floculação; AT = Areia total; AG = Areia Grossa; AF = Areia fina.

A palma forrageira e a pornunça foram cultivadas sob condições naturais de chuva (sem irrigação) e sem nenhum tipo de adubação. Durante o período experimental, quando necessário, foi realizado o controle manual de plantas daninhas, a fim de evitar que as mesmas provocassem interferência nos cultivos.

Para a produção das mudas de pornunça foram utilizadas manivas com 20,0 cm de comprimento e 2,0 cm de diâmetro; plantadas em sacos plásticos de 30 cm de altura, sendo as manivas enterradas a 10 cm de profundidade. Posteriormente, foram transplantadas para a área experimental. Os cladódios-semente de palma utilizados no ensaio foram provenientes de plantas com idade de aproximadamente três anos, oriundos da área experimental do GEFOR. O plantio foi realizado após a cura dos cladódios (08 dias), inserindo um cladódio por cova,

na posição vertical, em profundidade suficiente para que a metade do mesmo fosse enterrada. Na escolha dos cladódios para o plantio, foram considerados critérios básicos, como, aparência do cladódio, ausência de infestação/ataque de pragas ou doenças e alto acúmulo de reservas (cladódio não muito jovem).

Na palma forrageira, foram avaliadas mensalmente, em duas plantas por unidade experimental, características estruturais no cladódio e na planta: altura de planta (AP) - medida da superfície do solo à extremidade superior do cladódio mais alto, largura de planta (LP) - maior distância horizontal entre cladódios, número total de cladódios (NTC) e por ordem (contagem), comprimento de cladódio (CC) - da base ao ápice do cladódio, largura de cladódio (LC) - ponto mais largo entre uma lateral e outra do cladódio. As medições foram realizadas com o auxílio de paquímetro digital, trena e régua milimétrica. As características estruturais da palma foram utilizadas para determinar as características morfogênicas (taxa média de crescimento da altura, largura, número total de cladódios e Índice de área de cladódio) (NUNES et al., 2020).

A área de cladódio (AC_{DM} – Doce Miúda; ACO_{EM} – Orelha de Elefante Mexicana) e o índice de área do cladódio (IAC) foram determinados através das Equações 1, 2 e 3, respectivamente (SILVA et al., 2014a).

$$AC_{DM} = 0,7198 (CC.LC) \quad (1)$$

$$AC_{OEM} = 0,7086 (1 - \exp(-0,000045765.CC.LC)) / 0,000045765 \quad (2)$$

$$IAC = \Sigma(AC1+...+ACn)/10000/(E1.E2) \quad (3)$$

onde, o IAC é o índice de área do cladódio observado, em $m^2 m^{-2}$; 10.000 é o fator de conversão de cm^2 para m^2 ; e E1.E2 representa o espaçamento entre fileiras e plantas de cada clone.

Na cultura da pornunça, foram avaliados em duas plantas por unidade experimental, a cada 30 dias, as seguintes características estruturais: altura de planta (base da planta até a inserção do ramo mais alto), largura de copa (maior distância horizontal entre os ramos), diâmetro do caule (medido a uma altura de 5,0 cm do solo) e número de ramos (contado a partir da primeira bifurcação da base para o ápice da planta). Posteriormente, nessas duas plantas, foi marcado um ramo com um cordão para identificação e posteriores avaliações. As medições foram feitas com uso de paquímetro digital, trena e régua milimétrica.

O índice de área foliar (IAF) foi medido mensalmente durante os três ciclos produtivos da pornunça, às 11 horas da manhã, a partir de um sensor portátil ceptômetro (AccuPAR LP-80, Decagon Devices, Pullman, USA), que se baseia no método não destrutivo de interceptação luminosa para estimativa do IAF (LEITE, et al., 2021). A partir das medidas das características estruturais, foram determinadas as características morfogênicas da pornunça (taxa média de crescimento da altura de planta, largura de copa, diâmetro de caule e índice de área foliar), conforme Carvalho et al. (2022).

A definição do momento dos cortes da pornunça foi em função do estágio fenológico, considerando adequado quando as mesmas estavam em pleno desenvolvimento, logo após o início da floração (20% das plantas em floração) e antes da frutificação (ALENCAR et al., 2015).

Cada característica estrutural avaliada foi ajustada a modelos matemáticos não lineares, quadrático (Equação 4) e sigmoidal (Equação 5) para descrever o comportamento ao longo do período experimental, utilizando como variável independente o dia da avaliação (considerando dia zero o início da aplicação dos tratamentos) e variável dependente as características estruturais da palma forrageira e da pornunça.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 + e_i \quad (4)$$

$$Y_i = a / (1 + \exp(-(X_i - X_0)/b)) + e_i \quad (5)$$

em que: Y_i = variável dependente; X_i = variável independente; b_0 , b_1 e b_2 = coeficientes de ajuste da equação de segundo grau; a , X_0 e b = coeficientes de ajuste do modelo sigmoidal, e e_i = variação aleatória (erro experimental).

Por ocasião de colheita, realizada após o corte, foram preservados todos os cladódios primários em cada planta de palma, com o objetivo de manutenção do estande, e posterior avaliação da rebrota. Todas as plantas de palma foram colhidas para determinação da massa verde e seca. Os cladódios selecionados foram pesados individualmente, com auxílio de balança eletrônica, obtendo-se o peso total por ordem de cladódio, por planta e por tratamento. Em seguida, uma amostra de, aproximadamente, 600 g de cada cladódio, por ordem e por tratamento, foi cortada no sentido transversal, permitindo assim, uma perda rápida de umidade. Foi determinado o teor de massa seca (MS) por meio de secagem do material em sacos de papel kraft identificados, conduzidos a uma estufa de circulação forçada

de ar a 55°C, até atingir peso constante (CIRINO JUNIOR et al., 2022). O teor de umidade foi obtido por diferença de massa fresca e seca.

Na pornunça, por meio da realização dos cortes a 30 cm do solo, foi estimada a produção de fitomassa da parte aérea, verificando-se as quantidades produzidas, de forma a determinar separadamente o peso de ramos finos (< 1 cm de diâmetro), ramos grossos (> 1 cm de diâmetro), folhas vivas e folhas mortas (mais de 50% do limbo foliar em senescência) com o uso de balança eletrônica. Após pesagem dos componentes morfológicos da pornunça, em balança eletrônica, eles foram fragmentados e acondicionados em sacos de papel kraft com amostras em torno de 100 g, identificados e conduzidos a uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, até obter de peso constante (CIRINO JUNIOR et al., 2022).

A produção de massa fresca (MF) por hectare de palma forrageira e da pornunça foi determinada pelo produto entre a produção por metro linear e a quantidade de metros lineares de cada cultura em um hectare. A produção de massa seca (MS) foi calculada multiplicando-se a MF pelo teor de massa seca. Para os sistemas de cultivo solteiro, na palma a produtividade do ciclo, já na pornunça, foram somadas as produtividades dos três ciclos. Nos sistemas de cultivo consorciado, os rendimentos totais de fitomassa foram obtidos a partir da soma da produtividade do ciclo da palma forrageira e dos três ciclos da pornunça.

A eficiência do uso da água da chuva (EUAC) em função dos tratamentos foi obtida dividindo-se a MS pela quantidade de chuva precipitada na área experimental (PA), no período de avaliação (Equação 6). E a quantidade de água acumulada foi obtida subtraindo-se a MF pela MS (Equação 7).

$$EUAC = MS/PA \quad (6)$$

$$AA = MF - MS \quad (7)$$

Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de Cochran. Para avaliar a influência dos modelos foi utilizado como critério R². A taxa de crescimento foi obtida em escala mensal, os valores médios das taxas de incremento do crescimento das plantas e a produtividade foram comparados entre os diferentes sistemas de cultivo, por meio de análise de variância e pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. O programa utilizado para realizar as análises estatísticas, ajuste de modelos matemáticos foi o software R-project versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2022), e para a confecção dos gráficos o SigmaPlot 14.0 (Systat Software Inc, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, constatou-se valores extremos de temperatura do ar de 18,3 e 35,4 °C, com uma amplitude térmica de 17,1 °C (Figura 2). A temperatura mínima do ar variou entre 18,3 e 26,4 °C, com média de 20,7 °C, com menores magnitudes de julho a setembro de 2022. A temperatura máxima do ar oscilou entre 27,6 e 35,4 °C, com média de 31,84 °C e maiores magnitudes entre setembro de 2022 e fevereiro de 2023. Já a temperatura média do ar e radiação solar global apresentaram média igual a 25,3 °C e 18,5 MJ m⁻²dia⁻¹, respectivamente, com menores magnitudes ocorrendo entre abril e agosto de 2022, e setembro e outubro com maiores valores (Figura 2).

A umidade relativa média do ar (UR) foi de 68%, com máxima de 87% e mínima de 43% (Figura 2). Houve uma redução nos valores de umidade relativa do ar entre setembro e outubro de 2022. A precipitação pluvial acumulada de 16 de março de 2022 a 08 de agosto de 2023 foi de 1.128 mm, sendo o mês de março, independentemente do ano avaliado, com maior valor, todavia, os meses compreendidos entre julho e setembro de 2022, os de menores valores (Figura 2). O ano de 2022 (16 de março a dezembro) obteve precipitação acumulada de 540 mm, já em 2023 (janeiro a 08 de agosto) de 587 mm.

A evapotranspiração de referência (ET_o) apresentou média de 5,0 mm dia⁻¹, com total de aproximadamente 2.485 mm no período experimental (497 dias), perfazendo um balanço negativo de - 1.357 mm (precipitação - ET_o), com valores mais elevados ocorrendo entre agosto e dezembro de 2022 (Figura 2), ratificando uma baixíssima capacidade de água disponível no solo.

A amplitude térmica, temperatura média do ar, temperatura mínima do ar, radiação, umidade relativa média do ar e precipitação pluvial acumulada anual caracterizou-se como condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento da palma forrageira, logo, a temperatura máxima do ar mostrou-se como indicador climático inadequado, pois a cultura consegue bom desenvolvimento com temperatura máxima do ar variando entre 28,5 e 31,5 °C (SOUZA et al., 2008).

A eficiência de predição dos modelos foi avaliada através do coeficiente de determinação (R²), sendo os ajustes satisfatórios, com o R² acima de 0,90 (Figura 3, 4 e 5).

A altura (AP) e largura de planta (LP) de palma apresentaram um crescimento linear ao longo do período experimental, independentemente do sistema de cultivo e clone de palma avaliado (Figura 3A e 3B). Os sistemas de cultivo adotados não afetaram a AP e LP,

principalmente quando consorciada, isso pode estar relacionado ao fato da cultura já ter se estabilizado quando a pornunça foi plantada. Assim, ao consorciar a palma, os cladódios de primeira ordem devem estar presentes, como nesse estudo, para que não haja impacto crescimento da palma (SOUZA et al., 2022). Resultados diferentes foram encontrados por Silva et al. (2015) em condições de sequeiro, quando avaliaram o crescimento dos clones OEM e DM, e observaram uma maior AP para o clone OEM (80,56 cm) em relação ao clone DM (68,11 cm), porém encontraram valores similares de LP para os clones estudados.

Para o número total de cladódios (NTC), a partir dos 200 dias após o corte (DAC), houve um aumento no NTC, independentemente do sistema de cultivo e clone de palma estudado, entretanto, o cultivo solteiro do clone DM sobressaiu sobre os demais. Já o clone OEM, independentemente do sistema de cultivo, obteve um crescimento semelhante ao cultivo consorciado do clone DM ao longo do período experimental (Figura 3C). Para o NTC, resultados similares foram obtidos por Leite et al. (2014) no semiárido da Paraíba, onde verificaram que o clone DM apresentou um NTC superior aos demais clones estudados. O clone DM apresenta superioridade em números de cladódios em relação ao clone OEM, devido ser uma característica morfológica do clone de emitir maior número cladódios de ordens superiores (CIRINO JUNIOR et al., 2022).

No índice de área de cladódio (IAC), depois dos 200 DAC, independentemente do sistema de cultivo, observa-se que os clones de palma mostraram um elevado crescimento, em contrapartida, o clone OEM obteve um maior IAC quando relacionado o clone DM. Percebe-se que o clone OEM quando consorciado apresentou uma maior evolução no IAC quando comparado aos demais sistemas. Já a evolução do IAC do clone do DM variou menos e apresentou menores valores, independentemente do sistema de cultivo (Figura 3D). Em relação ao IAC, Araújo Júnior et al. (2021a) também constataram menores valores no clone DM quando comparado ao clone OEM. O maior IAC pelo clone OEM induz a um elevado acúmulo de fitomassa, pois está associada à capacidade fotossintética da planta (ROCHA et al., 2017).

O incremento no NTC e IAC (Figura 3) aos 200 DAC pode ser explicado através das fases de crescimento da palma, pois com cerca de 40 dias ocorre uma fase de adaptação (fase *Lag*), aos 200 dias a fase de crescimento exponencial com aumento do sistema radicular e captação de CO₂ e, posteriormente, uma fase de estabilização (RAMÍREZ-TOBIAS et al., 2010).

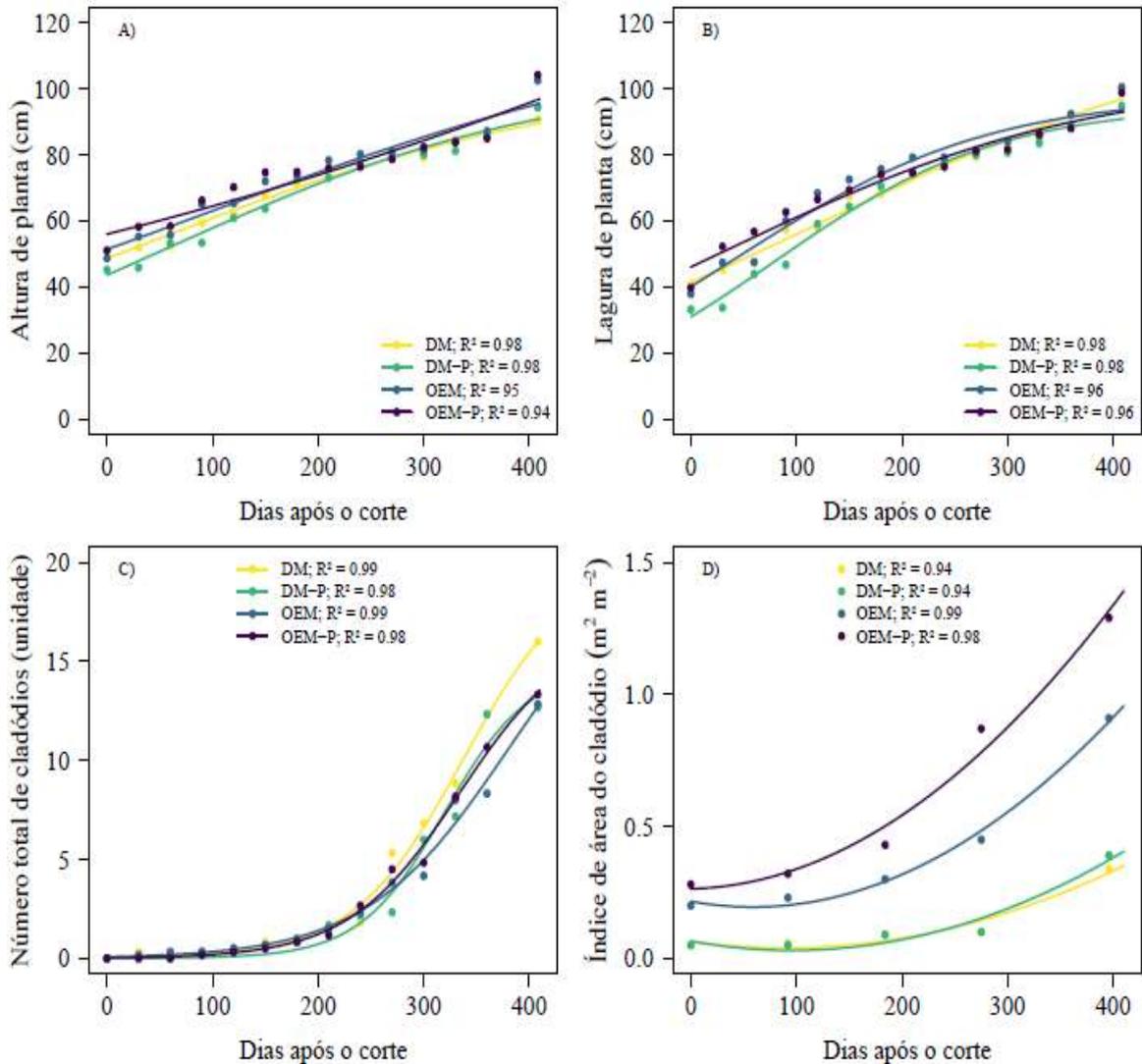


Figura 3. Evolução da altura (A), largura (B), número total de cladódios (C) e índice de área do cladódio (D) de clones de palma forrageira sob diferentes sistemas de cultivo. OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça.

Verifica-se que as taxas médias de crescimento da altura de planta ($\partial AP/\partial t$), largura de planta ($\partial LP/\partial t$) e número total de cladódios ($\partial NTC/\partial t$) não foram influenciadas pelos sistemas de cultivo estudados, sendo em média iguais a $2,19 \text{ cm mês}^{-1}$, $3,28 \text{ cm mês}^{-1}$ e $1,33$ unidades, respectivamente (Tabela 2). Já para a taxa média do índice de área dos cladódios ($\partial IAC/\partial t$), independentemente do sistema de cultivo avaliado, o clone OEM apresentou maiores valores, $0,36 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ no cultivo solteiro, e $0,42 \text{ m m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ no consorciado (Tabela 2). Os elevados valores de AP e LP pelos clones de palma nos sistemas de cultivo consorciados, deve está associado as estratégias desenvolvidas pelas plantas para captar luz, já que a pornunça sombreia a palma, quando cultivadas em consórcio.

Em virtudes das taxas médias de crescimento, resultados similares para $\partial AP/\partial t$ foram encontrados por Nunes et al. (2020), contudo, constataram influência do fator clone na $\partial LP/\partial t$, $\partial NTC/\partial t$ e $\partial IAC/\partial t$, e nas alterações sazonais da dinâmica do crescimento. O clone DM apresenta cladódios menores do que o clone OEM, o que acarreta em um baixo valor no IAC (CAVALCANTE et al., 2014).

Tabela 2. Taxas médias de crescimento da altura planta ($\partial AP/\partial t$), largura de planta ($\partial LP/\partial t$), número total de cladódios ($\partial NTC/\partial t$) e índice de área dos cladódios ($\partial IAC/\partial t$) de clones de palma forrageira sob sistemas de cultivo solteiro e consorciado com pornunça em Serra Talhada - PE

Variáveis	Unidade	OEM	DM	OEM-P	DM-P	p - valor
$\partial AP/\partial t$	cm mês ⁻¹	1,17	2,67	2,67	2,27	0,191
$\partial LP/\partial t$	cm mês ⁻¹	1,91	4,33	3,33	3,55	0,088
$\partial NTC/\partial t$	unidades mês ⁻¹	1,13	1,88	0,78	1,56	0,324
$\partial IAC/\partial t$	m m ⁻² mês ⁻¹	0,36a	0,09b	0,42a	0,10b	0,0004

OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Durante os três ciclos de crescimento da pornunça, observa-se uma evolução similar entre a altura de planta (AP) e largura de copa (LC) para cada ciclo (Figura 4). Tanto no ciclo 1 como no ciclo 2, o sistema de cultivo solteiro apresentou maior AP e LC, quando comparado ao sistema consorciado, com valores acima de 150 e 200 cm, respectivamente (Figura 4).

No ciclo 3, os valores de AP e LC, foram inferiores aos dos ciclos 1 e 2, abaixo de 150 e 200 cm, respectivamente (Figura 4). Os menores valores obtidos no sistema consorciado são devido a maior competição interespecífica (e.g., água, luz, nutrientes), o que reduz o crescimento e desenvolvimento individual das culturas (JARDIM et al., 2021).

No ciclo 1 da pornunça, para o diâmetro de caule (DC) e números de ramos (NR) constata-se relativamente um crescimento linear, com valores em torno de 60 mm e 8 unidades, respectivamente (Figura 5). No ciclo 2, ocorre um aumento no DC no sistema consorciado quando comparado ao sistema de cultivo solteiro, com menores valores no NR (Figura 5).

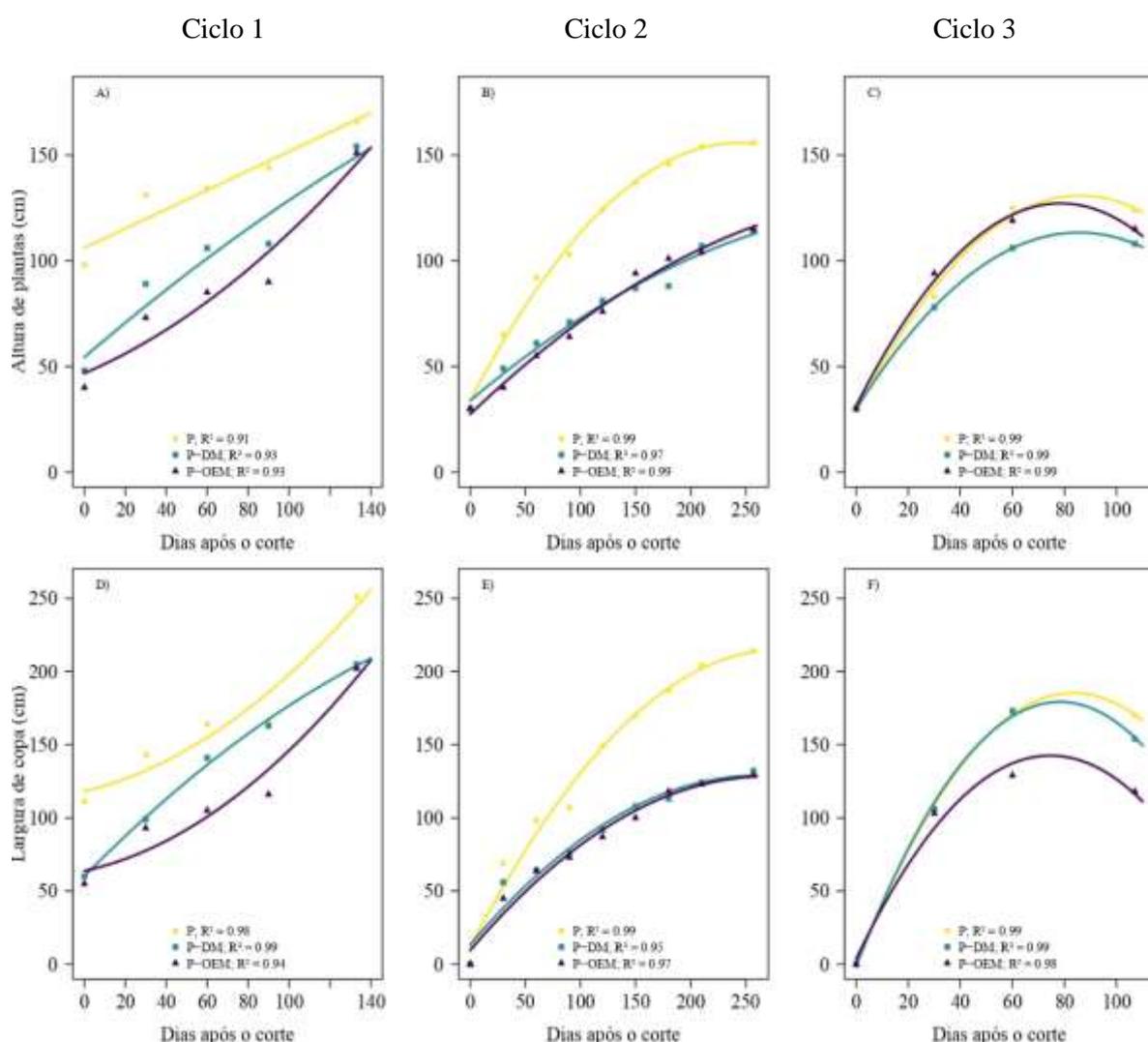


Figura 4. Evolução da altura de planta (A, B e C) e largura de copa (D, E e F) de três ciclos de pornunça sob diferentes sistemas de cultivo. P: Pornunça solteiro; P-OEM: Pornunça consorciada com Orelha de Elefante Mexicana; P-DM: Pornunça consorciada com Doce Miúda.

Já no ciclo 3, nota-se um aumento tanto no DC como no NR no sistema de cultivo consorciado quando comparado ao sistema de cultivo solteiro (Figura 5). É provável, que a pornunça esteja investindo em maiores DC e em raízes mais tuberosas para reserva de água e nutrientes, e elevado NR, que consequentemente gerará um maior número de folhas por planta, resultando em uma maior área foliar e capacidade fotossintética, utilizando tais mecanismos como estratégia de sobrevivência em condições de competição, bem como de persistência nos períodos de estiagem (ALENCAR et al., 2015).

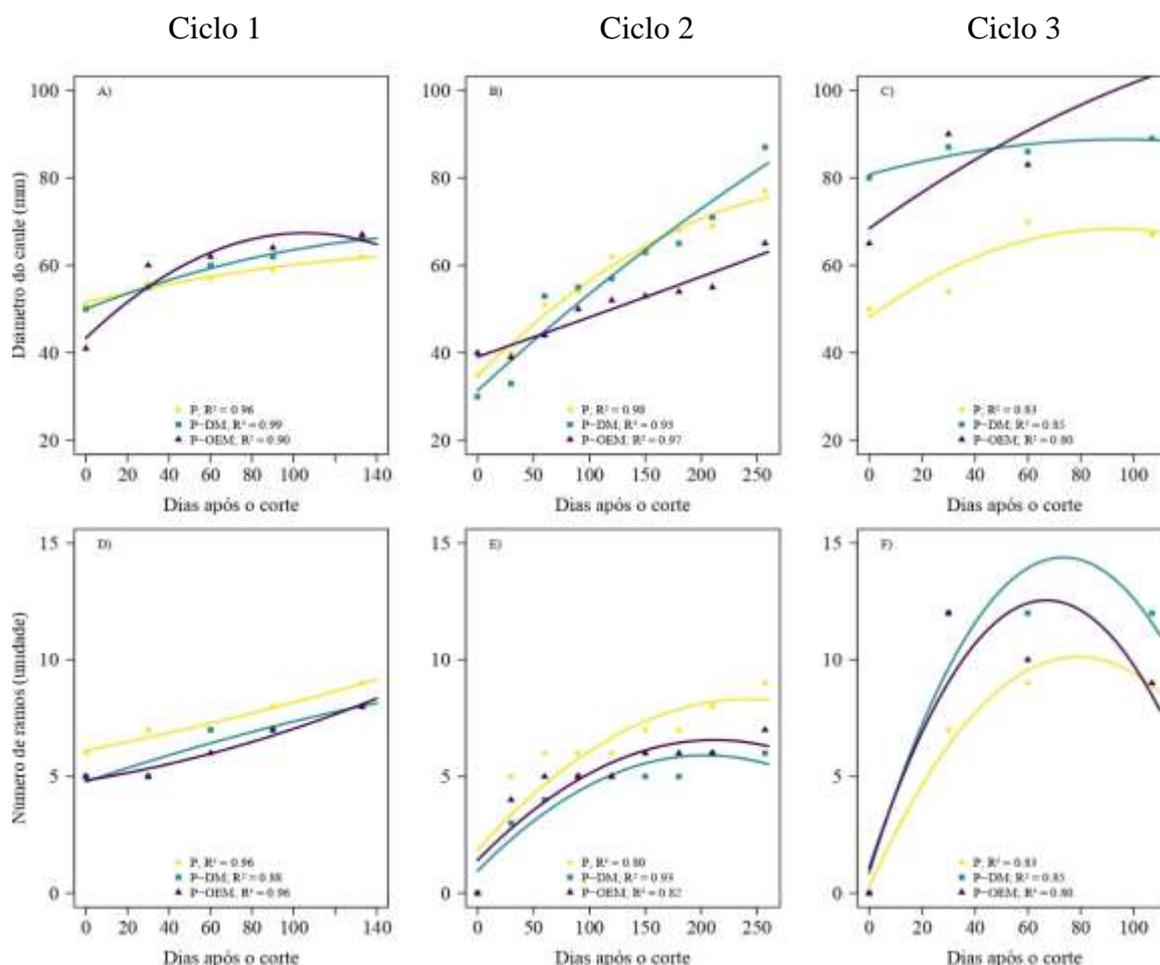


Figura 5. Evolução do diâmetro do caule (A, B e C) e números de ramos (D, E e F) de três ciclos de pornunça sob diferentes sistemas de cultivo. P: Pornunça solteira; P-OEM: Pornunça consorciada com Orelha de Elefante Mexicana; P-DM: Pornunça consorciada com Doce Miúda.

No ciclo 1 da pornunça (Tabela 3), verifica-se que os sistemas de cultivos não influenciaram nas taxas médias de crescimentos das variáveis altura de planta ($\partial AP/\partial t$), largura de copa ($\partial LC/\partial t$), diâmetro de caule ($\partial DC/\partial t$), número de ramos ($\partial NR/\partial t$) e índice de área foliar ($\partial IAF/\partial t$). No ciclo 2, observa-se influência significativa apenas para $\partial LC/\partial t$, onde o sistema de cultivo solteiro (P: 20,95 cm mês⁻¹) sobressaiu sobre o sistema consorciado da pornunça com o clone DM (P-DM: 20,95 cm mês⁻¹), mas não diferiu do sistema consorciado da pornunça com o clone OEM (P-OEM: 12,19 cm mês⁻¹), todavia, não houve diferença significativa entre os sistemas de cultivo consorciado (Tabela 3).

Assim como no ciclo 2, o ciclo 3 apresentou diferença significativa apenas para $\partial LC/\partial t$, em que o sistema de cultivo solteiro (P: 21,45 cm mês⁻¹) não diferiu do sistema consorciado da P-DM (22,67 cm mês⁻¹), porém mostrou-se superior ao sistema consorciado da P-OEM (13,17 cm mês⁻¹) (Tabela 3). Silva & Santana (2005) demonstraram que a

pornunça apresenta crescimento mais intenso que as outras espécies do gênero *Manihot*, quando submetida a regime de podas, tendo grande taxa de brotação e engrossamento de ramos. O melhor desenvolvimento pelas plantas no sistema de cultivo solteiro está atrelado a menor competição interespecífica quando comparado ao sistema consorciado (SOUZA et al., 2022).

Tabela 3. Taxas médias de crescimento da altura planta ($\partial AP/\partial t$), largura de copa ($\partial LC/\partial t$), diâmetro de caule ($\partial DC/\partial t$), número de ramos ($\partial NR/\partial t$) e índice de área foliar ($\partial IAF/\partial t$) de pornunça sob sistemas de cultivo solteiro e consorciado com clones de palma forrageira em Serra Talhada - PE

Variáveis	Unidade	Sistemas de cultivo			p-valor
		P	P-OEM	P-DM	
Ciclo 1					
$\partial AP/\partial t$	cm mês ⁻¹	17,00	27,79	26,50	0,533
$\partial LC/\partial t$	cm mês ⁻¹	35,08	36,87	36,21	0,994
$\partial DC/\partial t$	cm mês ⁻¹	2,71	6,42	3,78	0,233
$\partial NR/\partial t$	unidade mês ⁻¹	0,56	0,79	0,92	0,627
$\partial IAF/\partial t$	$\mu mol m^{-2} s^{-1}$	0,43	0,89	0,61	0,688
Ciclo 2					
$\partial AP/\partial t$	cm mês ⁻¹	13,09	11,05	9,43	0,473
$\partial LC/\partial t$	cm mês ⁻¹	20,95a	12,19ab	11,05b	0,031
$\partial DC/\partial t$	cm mês ⁻¹	5,43	3,71	7,71	0,312
$\partial NR/\partial t$	unidade mês ⁻¹	0,86	0,71	0,67	0,660
$\partial IAF/\partial t$	$\mu mol m^{-2} s^{-1}$	0,65	1,20	1,07	0,667
Ciclo 3					
$\partial AP/\partial t$	cm mês ⁻¹	21,45	13,00	22,67	0,730
$\partial LC/\partial t$	cm mês ⁻¹	36,00a	13,17b	35,00a	0,024
$\partial DC/\partial t$	cm mês ⁻¹	9,20	14,82	5,03	0,532
$\partial NR/\partial t$	unidade mês ⁻¹	1,67	1,83	1,5	0,822
$\partial IAF/\partial t$	$\mu mol m^{-2} s^{-1}$	0,21	0,59	0,15	0,057

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para massa fresca (MF), constata-se que o cultivo solteiro dos clones de palma (OEM: 116,65 t ha⁻¹; DM: 100,60 t ha⁻¹) não diferiu do cultivo consorciado (OEM-P: 135,25 t ha⁻¹; DM-P: 115,99 t ha⁻¹), no entanto, os clones de palma, independentemente dos sistemas de cultivo aplicado, apresentaram maior rendimento quando comparado ao cultivo solteiro da pornunça (30,45 t ha⁻¹) (Figura 6A).

Em termos de massa seca (MS), os sistemas de cultivo consorciados, independentemente do clone de palma avaliado (OEM-P: 25,34 t ha⁻¹; DM-P: 19,03 t ha⁻¹), sobressaíram sobre os sistemas de cultivo solteiro (OEM: 11,59 t ha⁻¹; DM: 10,85 t ha⁻¹; P: 9,43 t ha⁻¹) (Figura 6B). Produtividades diferentes foram verificadas por Silva et al. (2015), quando estudaram o crescimento e a produtividade da palma forrageira e as suas relações com

as variáveis meteorológicas, encontraram rendimentos de 163,0 t ha⁻¹ (MF) e 15,6 t ha⁻¹ (MS) para o clone OEM, e de 117,5 t ha⁻¹ (MF) e 11,5 t ha⁻¹ (MS) no clone DM. Ferreira et al. (2009) encontraram resultados de produção de MF e MS para pornunça, respectivamente, de 1,63 t ha⁻¹ e 0,468 t ha⁻¹. Tal resultado nos sistemas de cultivo consorciado é reflexo do melhor aproveitamento por área, havendo maiores rendimentos por meio da cooperação mútua das culturas e otimização dos recursos naturais disponíveis no local, minimizando as perdas de produção (AMORIM et al., 2017; BEZERRA et al., 2022).

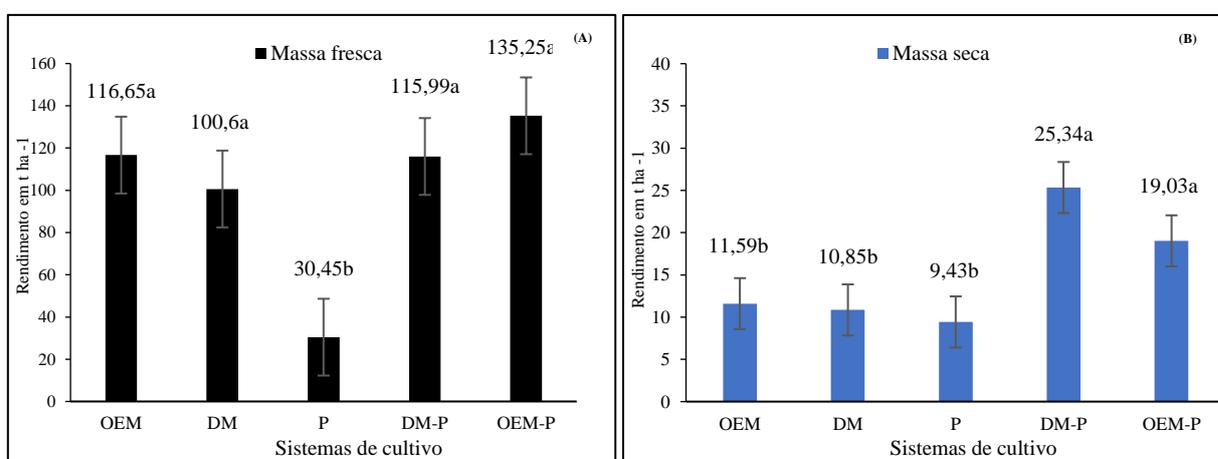


Figura 6. Rendimento de massa fresca (A) e seca (B) de clones de palma forrageira e pornunça em sistemas de cultivo sob condições de sequeiro, no município de Serra Talhada-PE, Semiárido brasileiro. OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça. Valores seguidos pela mesma letra minúscula não diferem entre si para massa fresca e massa seca, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em referência a eficiência do uso da água de chuva (EUAC), o sistema consorciado do clone DM apresentou maior EUAC (38,14 Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) quando comparado ao sistema de cultivo solteiro dos clones de palma avaliados (OEM: 12,11 Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹; DM: 11,34 Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹), logo, não houve diferença nos sistemas de cultivo consorciado (OEM-P: 29,08 Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) e solteiro da pornunça (P: 27,69 Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹). Entretanto, o sistema de cultivo consorciado do clone OEM não diferiu dos sistemas de cultivo solteiro (Tabela 4).

Para EUAC, Silva et al. (2014b) obtiveram no clone OEM uma EUAC de 10,8 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, sob condições de sequeiro e precipitação de 791 mm ano⁻¹. Rocha et al. (2017) e Araújo Júnior et al. (2021b) comprovaram uma maior EUAC no gênero *Opuntia* quando comparado ao gênero *Nopalea*. Resultados de EUAC em condições de sequeiro auxiliam na

seleção de clones de palma forrageira mais tolerantes ao déficit hídrico e mais eficientes na utilização da água, fator limitante em ambientes semiáridos. A maior EUAC pelos sistemas de cultivo consorciados deve-se ao fato do consórcio palma forrageira-pornunça promover uma complementaridade hídrica no sistema de cultivo, pois o metabolismo fotossintético da palma forrageira (MAC) favorece as trocas gasosas à noite, enquanto que, na pornunça (metabolismo C3), as trocas gasosas ocorrem durante o dia, portanto, essa configuração reduz a perda de água para a atmosfera (JARDIM et al., 2021).

Tabela 4. Eficiência do uso da água de chuva (EUAC, Kg MS ha⁻¹ mm⁻¹) e acúmulo de água (AA, t ha⁻¹) de clones de palma forrageira e pornunça submetidos a sistemas de cultivo em condições de sequeiro, Serra Talhada - PE

Sistemas de cultivo	Variáveis	
	EUAC	AA
OEM	12,11b	105,06a
DM	11,34b	89,74a
P	27,69ab	26,26b
OEM-P	29,08ab	110,97a
DM-P	38,14a	90,67a
p - valor	0,004	0,0001

OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No acúmulo de água (AA), os sistemas de cultivo solteiro dos clones de palma avaliados (OEM: 105,05 t ha⁻¹; DM: 41,85 t ha⁻¹) não diferiram dos sistemas cultivo consorciados (OEM-P: 110,05 t ha⁻¹; DM-P: 90,67 t ha⁻¹), no entanto, mostraram um elevado AA quando comparado o sistema de cultivo solteiro da pornunça (P: 26,26 t ha⁻¹) (Tabela 4).

Cavalcante et al. (2014) observaram resposta crescente no AA pelos clones de palma em função do aumento da densidade de plantio. Elevados valores na quantidade de água armazenada por hectare é de crucial importância, especialmente para as regiões sob semiaridez, pois nos períodos de estiagem ocorre escassez hídrica, nesse sentido, a palma forrageira pode ser fornecida na forma *in natura*, e servir como rica reserva hídrica para os animais, devido possuir cladódios com grandes quantidades de água (SALVADOR et al., 2021).

4. CONCLUSÕES

O clone Orelha de Elefante Mexicana, apresenta uma maior evolução no índice de área de cladódio quando consorciado com a Pornunça.

O consórcio palma com pornunça, independentemente do clone, pode ser considerado vantajoso e eficiente em termos de produção de fitomassa e uso da água da chuva em ambiente semiárido.

Os sistemas de cultivo dos clones Orelha de Elefante Mexicana e Doce Miúda apresentam um elevado acúmulo de água.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. S. M. A.; SILVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; COSTA, L. T.; MATEUS, R. G.; SOUZA, D. R.; SILVA, V. L. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 1013–1030, 2015.

ALENCAR, F. H. H. D.; SILVA, D. S. D.; ANDRADE, A. P. D.; CARNEIRO, M. S. D. S.; FEITOSA, J. V. Composição química e digestibilidade da pornunça sob duas fontes de adubação orgânica e cortes. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 215-222, 2015.

ALVES, C. P.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. D.; PINHEIRO, A. G.; SALVADOR, K. R. S; SILVA, T. G. F. Resiliência agrícola no cultivo consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, 3932-3952, 2021.

AMORIM, D. M.; SILVA T. G. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, L. S. B.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 62-71, 2017.

ANDRADE, S. F. J. D.; BATISTA, A. M. V.; CARVALHO, F. F. R. D.; LUCENA, R. B. D.; ANDRADE, R. D. P. X. D. Fresh or dehydrated spineless cactus in diets for lambs. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.38, n.2, p.155-161, 2016.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. J.; ALVES, C. P.; SOUZA, C. A. A.; COSTA, S. A. T.; SILVA, T. G. F. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, p. 126375, 2021a.

ARAÚJO JÚNIOR, G. 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. F. R.; ALVES, C. P.; ALVES, H. K. M. N. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia** v. 80, p. 1–12, 2021b.

BEZERRA, R. C. A.; SANTOS, A. R. M.; CORDEIRO, L. R. B. A.; SOUZA, J. C. G.; NASCIMENTO, D. B.; NOGUEIRA, J. C.; LEITE, M. L. D. M. V. Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e258111537107, 2022.

CARVALHO, C. A. B. D.; SILVA, P. H. F. D.; ZANELLA, P. G.; DIAVÃO, J.; PAIVA, A. J. Características morfogênicas e estruturais de perfilhos e acúmulo de forragem do capim-tanganica sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 23, 2022.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, p. 424–433, 2014.

CIRINO JUNIOR, B.; LEITE, M. L. M. V.; SILVA, F. E.; ALVES, C. P.; OLIVEIRA, A. C.; EUGÊNIO, D. S. Crescimento inicial de clones de palma forrageira submetidos a níveis de adubação potássica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, n. 1, 2022.

FERREIRA, A. L.; SILVA, A. F.; PEREIRA, L. G. R.; BRAGA, L. G. T.; MORAES, S. A.; ARAÚJO, G. G. L. Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 1, p. 129-136, 2009.

GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; NGONGONI, N. T.; NCUBE, S. Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. **Animal Feed Science and Technology**, v. 206, p. 1-7, 2015.

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.; MOURA, M. S. B. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021.

LEITE, M. L. M. V.; SILVA, D. S.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; RAMOS, J. P. F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano, **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192-200, 2014.

LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. S. B. Comparison of methods for estimating leaf area in pornunça (*Manihot* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 11, p. 733-740, 2021.

MEIRA, A. N.; GIVISIEZ, P. E. N.; SOUZA, FRANCISCA G. C.; LEON, C. M. G. C.; AZEVEDO, P. S.; SILVA, N. M. V.; OLIVEIRA, C. J. B. Food security and safety mismatch in low-income settings: Evidence from milk produced by smallholders in semiarid Paraíba, Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104453, 2021.

MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; SIMÕES, V. J. L. P.; SIMPLÍCIO, J. B. Relation of plant height and cladode number of cactus little sweet clone consorted with pornunça. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 54, n. 2, 2020.

NUNES, J. D. S. L.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; ALVES, H. K. M. N.; CRUZ NETO, J. F.; PINHEIRO, A. G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

OLIVEIRA, F.; SENA, R.; AZEVEDO, D.; SANTOS, D. Difusão de forrageiras adaptadas à caatinga: uma estratégia para a produção animal sustentável. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 38, 2021.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A. M. A.; CÉZAR, M. F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, p. 77-90, 2013.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022.

RAMÍREZ-TOBIAS, H. M.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; PINOS-RODRIGUEZ, J. M. Productivity of *Opuntia* ssp. and *Nopalea* sp. (Cactacea) growing under greenhouse hydroponics system. **Journal of Food, Agricultura & Environment**, v.8, p 660-665, 2010.

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; NASCIMENTO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2322-2343, 2021.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. Brazilian Soil Classification System. **Embrapa solos**, 2018.

SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R.; SANTOS, D. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, M. D. C.; CRUZ NETO, J. F.; ARAÚJO, J. E. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014a.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v.73, p.184-191, 2014b.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SILVA, A. F.; SANTANA, L.M. Crescimento de mandioca, maniçoba e pornunça conduzidas sob podas em épocas distintas na região Semiárida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11., 2005, Campo Grande: ABAM, 2005.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, Petrolina: **Embrapa Semiárido**, p.23-28, 2008.

SOUZA, M. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, G. I. N.; ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, T. G. F. D. Forage yield, competition and economic

benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. **African Journal of Range & Forage Science**, p. 1-12, 2022.

CAPÍTULO III - ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO, EFLUXO DE CO₂ E ESTOQUE DE CARBONO EM CULTIVOS DE PALMA FORRAGEIRA E PORNUNÇA

RESUMO

As atividades antrópicas vêm alterando o uso e a cobertura da terra, resultando em intenso desmatamento, acarretando no aumento dos gases de efeito estufa, logo, a adoção de manejos sustentáveis, como o consórcio de culturas, em prol das reduções dos impactos ambientais e conservação do solo, se faz necessário. Nesse sentido, objetivou-se investigar os aspectos físicos e químicos, efluxo CO₂ e o estoque de carbono no solo para compreender a dinâmica de carbono dos distintos sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça. O ensaio foi conduzido na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada - PE, em delineamento em blocos ao acaso, composto de cinco sistemas de cultivo: OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com pornunça, com seis repetições. Foi analisada a qualidade química do solo, capacidade e retenção de água no solo, resistência à penetração, densidade do solo, efluxo CO₂ e o estoque de carbono. O consórcio OEM-P obteve uma maior capacidade de retenção de água no solo. Os sistemas de cultivos não influenciaram na resistência mecânica do solo à penetração e densidade do solo, com valores variando entre 1,56 e 1,80 Mpa, e 1,29 a 1,36 g.cm⁻³, respectivamente. As variações mais significativas do efluxo de CO₂ ocorreram com a mudança no teor de água do solo causada pelas chuvas. Para o estoque de carbono no solo não houve diferença pelos sistemas de cultivo nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm, com valores médios de 13,39 (OEM), 14,33 (DM), 14,70 (P), 12,17 (OEM-P) e 14,33 t ha⁻¹ (DM-P). O consórcio Orelha de Elefante Mexicana e pornunça proporciona maior taxa de infiltração e capacidade de retenção de água no solo. O efluxo de CO₂ em cultivos de palma e pornunça possui maior influência da precipitação pluvial em ambientes semiáridos. O estoque de carbono no solo em cultivos de palma e pornunça é mais proeminente nas camadas mais superficiais do solo.

Palavras-chave: Resistência a penetração; Respiração do solo; Semiárido brasileiro.

CHAPTER III - PHYSICAL AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL, CO₂ EFFLUX AND CARBON STOCK IN FORAGE CACTUS AND PORNUNÇA CULTIVATION

ABSTRACT

Anthropogenic activities have been changing the use and cover of land, resulting in intense deforestation, leading to an increase in greenhouse gases, therefore, the adoption of sustainable management, such as crop intercropping, in favor of reducing environmental impacts. and soil conservation, if necessary. In this sense, the objective was to investigate the physical and chemical aspects, CO₂ efflux and carbon stock in the soil to understand the carbon dynamics of the different forage cactus and pornunça cultivation systems. The trial was conducted in the experimental area at the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada - PE, in a randomized block design, comprising five cultivation systems: OEM: single Mexican Elephant Ear; DM: Sweet Single Girl; Q: Single porn; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana in partnership with pornunça; DM-P: Doce Miúda in partnership with pornunça, with six repetitions. The chemical quality of the soil, capacity and retention of water in the soil, resistance to penetration, soil density, CO₂ efflux and carbon stock were analyzed. The OEM-P consortium achieved a greater water retention capacity in the soil. The cultivation systems did not influence the soil's mechanical resistance to penetration and soil density, with values varying between 1.56 and 1.80 Mpa, and 1.29 to 1.36 g.cm⁻³, respectively. The most significant variations in CO₂ efflux occurred with changes in soil water content caused by rainfall. For carbon stock in the soil, there was no difference between the cultivation systems in the layers of 0 – 10 and 10 – 20 cm, with average values of 13.39 (OEM), 14.33 (DM), 14.70 (P), 12.17 (OEM-P) and 14.33 t ha⁻¹ (DM-P). The Orelha de Elefante Mexicana and pornunça consortium provides a higher infiltration rate and water retention capacity in the soil. CO₂ efflux in forage cactus and ponunça crops is more influenced by rainfall in semi-arid environments. Soil carbon stock in forage cactus and ponunça crops is most prominent in the most superficial layers of the soil.

Keywords: Penetration resistance; Soil respiration; Brazilian semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

Em ambientes semiáridos, a pecuária se destaca como principal atividade econômica, entretanto, a produção de forragem torna-se um forte limitante no rendimento animal, concentrando a sua disponibilidade nos períodos chuvosos, o que torna o período seco um desafio para os pecuaristas (MORAES et al., 2019). Além disso, as pastagens nativas apresentam baixo rendimento forrageiro, com capacidade suporte abaixo de 0,1 unidade animal (UA) ha⁻¹ ano⁻¹ (COÊLHO et al., 2021), necessitando o emprego de estratégias que favoreçam a disponibilidade de alimento para os animais ao longo ano, vindo a mitigar as condições impostas pelo clima (ALVES et al., 2021).

Nesse cenário, uma cultura com destaque na alimentação animal é a palma forrageira (NUNES et al., 2020), no entanto, o seu fornecimento exclusivo provoca distúrbios nutricionais nos animais, devido as baixas concentrações de fibras, sendo necessário o incremento de culturas com alto teor de fibras (AGUIAR et al., 2015), como a pornunça, uma euforbiácea perene, com elevada capacidade de rebrota, teor de fibras, proteína bruta e tolerância a seca, além de um alta produtividade (ALENCAR et al., 2015). A associação dessas duas culturas, através do consórcio, pode contribuir para estabilidade de forragem durante o ano, além de melhorar as qualidades físicas e químicas do solo, e elevar o efluxo de CO₂ e estoque de carbono no solo, mitigando assim a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) (KOVEN et al., 2017).

As atividades antrópicas vêm alterando o uso e a cobertura da terra, resultando em intenso desmatamento, acarretando no aumento dos GEE, reduzindo a capacidade dos solos de armazenar o CO₂ adsorvido pelas plantas, produzindo impactos climáticos regionais e globais (PANTOJA et al., 2020). Além disso, causam diversas modificações nos atributos do solo (e.g., densidade do solo, resistência à penetração, macro e microporosidade, teor de matéria orgânica e carbono orgânico), que também favorecem a emissão de CO₂ do solo (SIMÕES et al., 2023). Sendo assim, a adoção de manejos sustentáveis, como o consórcio de culturas, em prol das reduções dos impactos ambientais e conservação do solo, se faz necessário (ALVES et al., 2021).

Estudos apontaram que práticas de agricultura regenerativa aplicadas ao manejo de áreas forrageiras diminuem a emissão GEE, além de aumentar o estoque de carbono e criar resiliência dos sistemas agrícolas em regiões secas às mudanças climáticas (CARDINAEL et al., 2021; GOMES et al., 2020; GUPTA et al., 2020). Souza et al. (2021) avaliando a dinâmica da resistência do solo à penetração (RP) em ambientes controlados por água,

detectaram uma forte correlação negativa entre umidade do solo e RP, onde valores mais elevados de RP foram encontrados quando o solo apresentava baixo teor de água. Darrouzet-Nardi et al. (2018) constataram que após uma precipitação pluvial ocorre um aumento no efluxo de CO₂, impulsionado pela infiltração e redistribuição da água que força a saída do CO₂ presente nos poros. Li et al. (2019) observaram uma elevação na respiração do solo, conforme a temperatura do solo aumentou.

A quantificação da variabilidade espacial e temporal da respiração do solo é necessária para estimar as perdas de carbono nos ecossistemas em escala global, regional e local, além de auxiliar na compreensão dos mecanismos que controlam essas perdas, bem como a identificação de cultivos mais sustentáveis (PHILLIPS et al., 2017). Além disso, sistemas de uso e manejo da terra que promovam a manutenção ou mesmo aumentos do carbono do solo, são importantes para a manutenção da qualidade do solo (RIBEIRO et al., 2023).

Nesse estudo, hipotetizamos que o consórcio palma forrageira-pornunça é uma alternativa de agricultura de baixo carbono em ambientes semiárido. No cenário atual, onde as margens de retorno econômico das atividades pecuárias são restritas, a procura de maior eficiência se torna questão de sobrevivência dos sistemas de produção. Nesse sentido, objetivou-se investigar os aspectos físicos e químicos, efluxo CO₂ e o estoque de carbono no solo para compreender a dinâmica de carbono dos distintos sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre março de 2022 e agosto de 2023 na área experimental do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), em Serra Talhada – PE, Sertão do Pajeú (7°57'24" Sul, 38°17'44" Oeste e Altitude 490 m). Conforme a classificação de Köppen, o clima enquadra-se no tipo BSw^h, semiárido, quente e seco, chuvas concentradas de janeiro a abril, com pluviosidade média anual de 632 mm ano⁻¹, temperatura média do ar, em torno de 25 °C, umidade relativa do ar de aproximadamente 63%, e demanda atmosférica anual de 1.800 mm (LEITE et al., 2021).

A duração do período experimental foi de 497 dias, compreendidos entre março de 2022 e agosto de 2023. As variáveis meteorológicas foram monitoradas ao longo de um ciclo da palma forrageira e três ciclos de pornunça, por meio de uma Estação Meteorológica

Automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada aproximadamente a 300 m da área experimental (Figura 1).

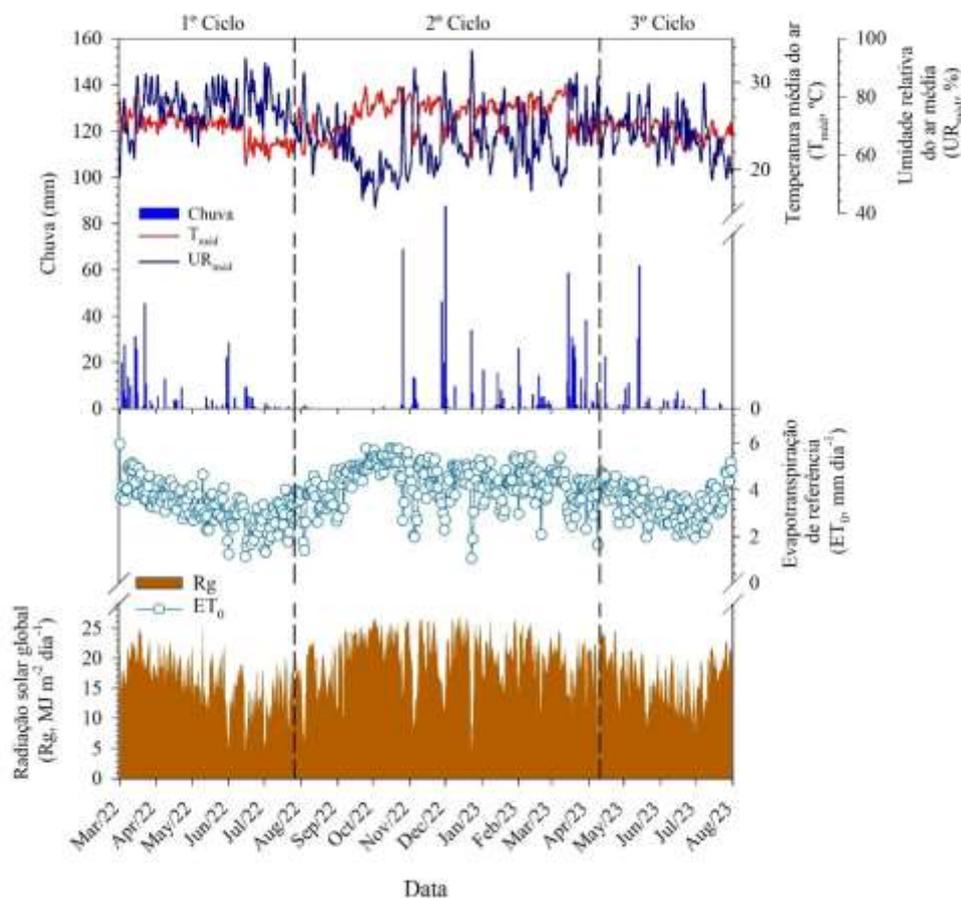


Figura 1. Variação da temperatura média do ar, umidade média do ar, chuva, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, em Serra Talhada – PE. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O preparo do solo foi realizado com 30 dias de antecedência do plantio, efetuando-se uma aração, seguida de duas gradagens. A área apresenta relevo plano e solo do tipo Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico (SANTOS et al., 2018).

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco sistemas de cultivo: dois clones de palma forrageira [*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck clone Doce Miúda; *Opuntia stricta* (L.) clone Orelha de Elefante Mexicana] em cultivo solteiro e em consórcio com a pornunça (*Manihot glaziovii* x *Manihot esculenta*) e a pornunça em cultivo solteiro, com seis repetições, resultando em 30 unidades experimentais.

A unidade experimental teve área de 24,0 m² (5,0 x 4,8 m), sendo composta por três fileiras de palma forrageira, independentemente do clone avaliado, com 25 plantas por fileira,

perfazendo um total de 75 plantas por unidade experimental. O espaçamento adotado na cultura da palma foi 1,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas (densidade populacional de 31.250 plantas ha⁻¹). Na pornunça em cultivo solteiro foram implantadas quatro fileiras com cinco plantas por fileira, totalizando 20 plantas por unidade experimental, no espaçamento de 1,6 x 1,0 m (6.250 plantas ha⁻¹). No consórcio palma-pornunça, três fileiras de palma e duas fileiras de pornunça na entrelinha da palma, obedecendo aos mesmos espaçamentos adotados no cultivo solteiro de ambas as culturas (31.250 plantas de palma ha⁻¹ + 6.250 plantas de pornunça ha⁻¹).

A palma e a pornunça foram cultivadas sob condições naturais de chuva (sem irrigação) e sem nenhum tipo de adubação. Durante o período experimental, quando necessário, foi realizado o controle de plantas daninhas manualmente, a fim de evitar que as mesmas provocassem alguma interferência no desenvolvimento dos cultivos.

Para a produção das mudas de pornunça foram utilizadas manivas com 20,0 cm de comprimento e 2,0 cm de diâmetro; plantadas em sacos plásticos de 30 cm de altura, sendo as manivas enterradas a 10 cm de profundidade. Os cladódios-semente de palma utilizados no ensaio foram provenientes de plantas com idade de aproximadamente três anos, originados na área experimental do GEFOR. O plantio foi realizado após a cura dos cladódios (08 dias), inserindo um cladódio por cova, na posição vertical, em profundidade suficiente para que a metade do mesmo fosse enterrada. Na escolha dos cladódios para o plantio, foram considerados critérios básicos, como, aparência do cladódio, ausência de infestação/ataque de pragas ou doenças e um bom acúmulo de reservas (cladódio não muito jovem).

Foram coletadas na área experimental amostras simples na profundidade de 0-20 cm, com o objetivo de determinar os atributos químicos do solo. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos de plástico, identificadas e conduzidas ao laboratório do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), onde foram analisadas.

Os testes de infiltração foram realizados no final do ensaio experimental, com um cilindro de 10 cm de diâmetro interno, inserido a uma profundidade de cerca de 2 cm para evitar perda lateral de água (LASSABATÈRE et al., 2006). Os ensaios de infiltração consistiram em analisar o tempo que volumes constantes de água (50 mL), adicionados continuamente no infiltrômetro, levaram para serem infiltrados, determinando assim, uma relação de infiltração acumulativa experimental, I (L), versus o tempo, t (s). Durante cada avaliação foram coletadas, ainda, amostras indeformadas para determinação da densidade do

solo (θ_s), além dos respectivos teores de água no solo inicial (θ_i) e final (θ_f), adotando-se θ_s igual à porosidade total (SIMÕES et al., 2023).

Para caracterização físico-hídrica do solo, foi utilizado o método de estimativa de transferência de água no solo, denominado de Beerkan (BEST), que estima simultaneamente os parâmetros da curva de retenção de água $\theta(h)$ através do modelo de Van Genuchten (1980) e a condutividade hidráulica do solo $K(\theta)$ de acordo com o modelo de Brooks; Corey (1964), com a condição de Burdine (1953), conforme as seguintes Equações (1 e 2):

$$\theta(h) = \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) = \left[1 + \left(\frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m} \quad \text{com } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (1)$$

$$K(\theta) = K_s \left(\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right)^\eta \quad \text{com } \eta = \frac{2}{m} + 2 + p \quad (2)$$

sendo θ a umidade volumétrica [$L^3.L^{-3}$]; θ_r e θ_s as umidades volumétricas residual e saturada [$L^3.L^{-3}$], respectivamente; h o potencial matricial [L]; h_g [L] um valor de escala de h ; m e n são parâmetros de forma; p um parâmetro de tortuosidade; K_s a condutividade hidráulica saturada do solo [$L.T^{-1}$] e η o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica. O θ_r é assumido como zero.

As funções que descrevem a curva de retenção e de condutividade hidráulica contêm cinco parâmetros desconhecidos: dois parâmetros de forma (m ou n e η) e três parâmetros de normalização (θ_s , K_s e h_g). Os parâmetros de forma dependem principalmente da textura, enquanto os parâmetros de normalização da estrutura dos solos (SIMÕES et al., 2023). A metodologia Beerkan, vale-se de propriedades estáticas e dinâmicas do solo, como a curva de distribuição do tamanho das partículas do solo (textura do solo) e a curva de infiltração da água no solo (estrutura do solo). A curva de distribuição do tamanho das partículas é obtida a partir da metodologia da ABNT (1988). Já a curva de infiltração, é obtida a partir de ensaios de infiltração, com infiltrômetro de anel simples.

A resistência do solo à penetração (RP) foi realizada mensalmente nas parcelas experimentais, utilizando um penetrômetro digital da marca Falker®, modelo PenetroLOG PLG 2040, usando cone do tipo 3 com diâmetro de 7,94 mm. Cada teste de RP foi realizado até 20 cm de profundidade, próximo aos locais das medidas de respiração do solo e dos testes de infiltração.

As medições do efluxo de CO₂ do solo foram realizadas mensalmente com analisador de gás por infravermelho (IRGA) modelo LI-870/LI-COR, equipado com uma câmara (Smart Chamber) de retenção de CO₂, com um volume interno de 4770 cm³ e exposto sobre uma área de 318 cm². Para evitar vazamentos e leituras incorretas causadas por fissuras no solo, foram cravados a 2 cm de profundidade no solo, anéis de PVC de 20 cm de diâmetro e ajustáveis à câmara do IRGA (LOURENÇO et al., 2022). Devido a perturbação física do solo provocada durante a instalação dos anéis, as medidas do efluxo de CO₂ foram realizadas após o reequilíbrio do sistema, ou seja, 24 horas após a instalação. Simultaneamente às medidas do efluxo de CO₂, foram monitoradas a umidade e temperatura do solo, através do sensor HydraProbe, acoplado à câmara do IRGA.

O estoque de carbono do solo (ECS) foi obtido pela soma dos estoques em cada camada de solo, estimado a partir do teor de carbono orgânico (CO) e densidade do solo (Ds) pela seguinte Equação (3) (RUFINO et al., 2022):

$$\text{ECS} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{E})/10 \quad (3)$$

em que, o ECS é estoque de carbono do solo (t ha⁻¹), o CO é teor de carbono do solo (g kg⁻¹), Ds representa a densidade do solo (g cm⁻³) e E a espessura da camada do solo (cm).

Os dados foram submetidos a testes de normalidade de Shapiro-Wilk e homogeneidade de Levene. As diferenças nas variáveis entre os sistemas de cultivos foram avaliadas pela análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R-project, versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2022), e os gráficos performados pelo SigmaPlot 14.0 (Systat Software Inc, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se que os sistemas de cultivo não alteraram o potencial hidrogeniônico (pH), os teores de fósforo (P), cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na), acidez potencial (H + Al), matéria orgânica (MO) e carbono orgânico (CO) do solo, no entanto, o sistema de cultivo solteiro da pornunça apresentou maior teor de magnésio (Mg; 0,84 cmolc.dm⁻³) quando comparado ao cultivo solteiro do clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (0,65 cmolc.dm⁻³), entretanto, os demais sistemas de cultivo não diferiram entre si (Tabela 1). Santos et al. (2020) analisaram os atributos químicos de solo cultivado com palma forrageira em

Cambissolo Háplico e obtiveram valores de pH, Ca, Mg, K e Na, respectivamente de, 8,18 e, 18,58, 4,36, 1,42 e 0,40 cmol_c.dm⁻³.

A não diferenciação da composição química do solo nos sistemas de cultivo consorciado e elevado teores de Mg pelo cultivo solteiro da pornunça, deve está associada a ciclagem de nutrientes realizada pela cultura da pornunça, uma planta caducifólia com sistema radicular tuberoso (SANTOS et al., 2021), que explora camadas mais profundas do solo quando comparado ao da palma forrageira, que possui um sistema radicular superficial (HASSAN et al., 2019). Entretanto, com uso contínuo do solo, sem reposição de nutrientes, o rendimento de fitomassa da palma tende a diminuir, seja pela exportação via colheita ou pela perda de nutrientes por erosão (PESSOA et al., 2022). O potencial produtivo da palma forrageira é maximizado quando as relações de nutrientes são adequadas no solo, absorvendo grandes quantidades na ordem de exportação K > Ca > N > Mg > S > P (LEDO et al., 2021).

Tabela 1. Composição química do solo na profundidade de 0 – 20 cm de sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça

Sistemas de cultivo	pH	P	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H+Al	MO	CO
		-----cmol _c .dm ⁻³ -----						%	g.dm ⁻³
OEM	5,35	122	3,07	0,65b	0,20	0,17	3,31	1,92	9,72
DM	5,60	100,01	3,23	0,73ab	0,18	0,17	3,34	1,83	10,9
P	5,60	111,67	3,50	0,84a	0,19	0,17	3,31	1,83	10,07
OEM-P	5,61	101,66	3,60	0,77ab	0,21	0,17	3,36	2,0	9,45
DM-P	5,68	117,17	3,66	0,81ab	0,20	0,12	3,19	1,33	9,57
p-valor	0,155	0,330	0,231	0,033	0,105	0,393	0,939	0,305	0,646

pH: Potencial hidrogeniônico; P: Fósforo; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; H + Al: Acidez potencial; MO: Matéria orgânica; CO: Carbono orgânico. OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 2, são apresentadas as curvas de retenção e condutividade hidráulica do solo. Em relação às curvas de retenção de água solo, observa-se uma maior retenção pelo sistema de cultivo consorciado do clone OEM com a pornunça, entretanto, na condutividade hidráulica, os solos dos sistemas de cultivo do clone OEM e cultivo solteiro da pornunça mostraram um comportamento hidráulico similar e superior quando comparado aos demais sistemas, logo, constata-se um movimento da água no solo semelhante para os sistemas de cultivo solteiro e consorciado clone DM. Chalise et al. (2019) observaram que o uso de culturas de cobertura aumentou a infiltração, capacidade de retenção e armazenamento de

água do solo. Esses resultados estão ligados à densidade de raízes, atuando no controle das rotas preferenciais de percolação e concentração de água nos solos (NASCIMENTO et al., 2020). O dossel da pornunça, promove uma maior cobertura do solo, diminuindo o impacto direto das gotas de chuva no solo. A chegada das gotas com menor velocidade (energia cinética) proporciona um aumento na taxa de infiltração da água da chuva, reduzindo o escoamento superficial do solo e evitando a compactação do solo pela chuva (TEXEIRA et al., 2023).

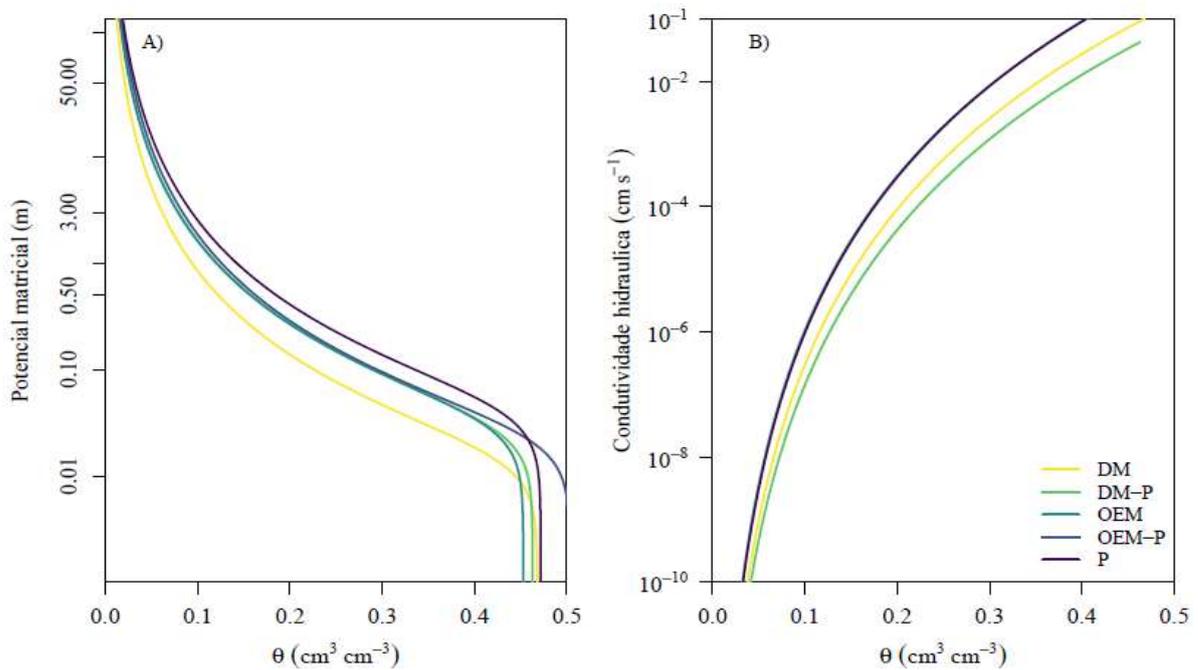


Figura 2. Curvas de retenção (A) e condutividade hidráulica (B) de sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada – PE. θ - umidade volumétrica; OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça.

Na Tabela 2, constata-se os resultados da resistência mecânica do solo à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) em função dos sistemas de cultivos de palma forrageira e pornunça. Observa-se que os sistemas de cultivos não influenciaram na resistência mecânica do solo à penetração (RP) e a densidade do solo (Ds), com valores variando entre 1,56 e 1,80 MPa, e 1,29 a 1,36 g.cm^{-3} , respectivamente (Tabela 2).

Na Figura 3, verifica-se que as variações da RP ocorreram com a mudança do teor de água do solo causada pelas chuvas, onde se observa um comportamento inverso da RP quando comparado à precipitação pluvial do período experimental. Os maiores picos de RP

ocorreram nos períodos de menor precipitação (fevereiro e julho), de maneira oposta, o menor pico ocorreu no período de maior precipitação (março) (Figura 3). Resultados similares foram encontrados por Simões et al. (2023) em sistemas pastoris em ambiente semiárido, onde obtiveram menores valores da RP nos períodos de chuvas.

Tabela 2. Resistência mecânica do solo à penetração (RP) e densidade do solo (Ds) na profundidade de 0 - 20 cm, em sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em ambiente semiárido

Atributos físicos	Unidade	OEM	DM	P	OEM-P	DM-P	p - valor
RP	MPa	1,70	1,62	1,80	1,56	1,73	0,718
Ds	g cm ⁻³	1,32	1,33	1,36	1,31	1,29	0,713

OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça.

A RP e a Ds são identificadas como atributos físicos do solo que melhor se destacam como indicadores para avaliar a qualidade do solo (CHAVEIRO et al., 2022). A disponibilidade de água é um fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas no período de estiagem. Em condições de escassez de água no solo, ocorre um impedimento físico do solo no crescimento radicular das plantas (SIMÕES et al., 2023).

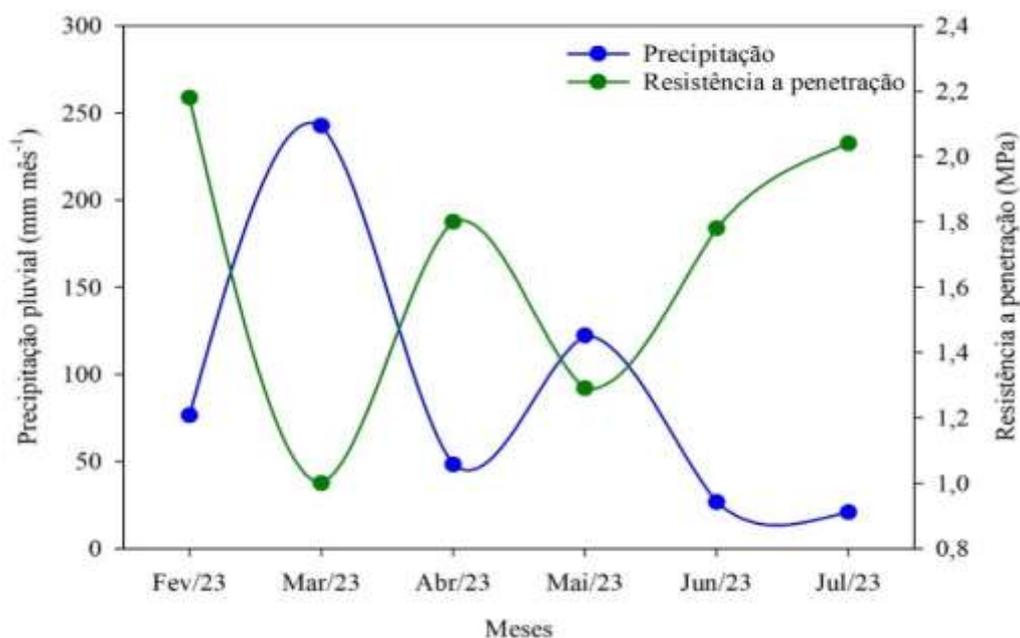


Figura 3. Relação da resistência do solo a penetração com a precipitação pluvial entre os meses de fevereiro e julho de 2023, em sistemas de cultivo de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada - PE.

A baixa umidade aumenta as forças de coesão entre as partículas do solo, que quanto mais próximas são difíceis de serem separadas, dificultando a penetração das raízes (SOUZA et al., 2021), o que justifica a grande variação dos valores de RP.

Para o efluxo de CO₂ no solo (ECO₂), não houve diferença significativa entre os distintos sistemas de cultivo, com valores variando entre 3,28 e 3,79 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 4). Provavelmente, os clones de palma forrageira e a pornunça apresentaram contribuições similares no ECO₂, embora tenham sistemas radiculares diferentes, assim, mostraram valores semelhantes.

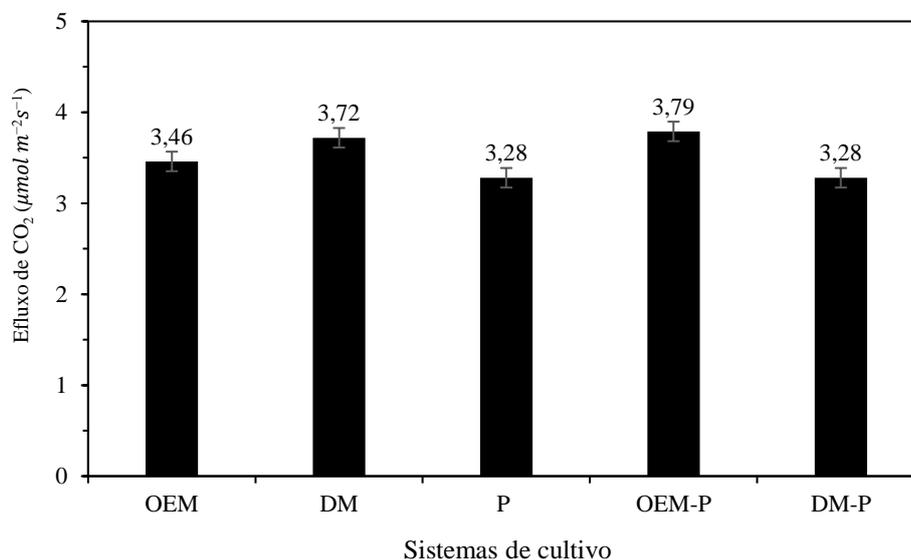


Figura 4. Efluxo de CO₂ no solo (ECO₂) em sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça, em ambiente semiárido. OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça.

As variações mais significativas de ECO₂ (Figura 5) ocorreram com a mudança no teor de água do solo causada pelas chuvas, mostrando um comportamento similar entre os diferentes sistemas de cultivo. Já quando correlacionado a temperatura do solo, verifica-se que ECO₂ não foi influenciado. Li et al. (2019) verificaram uma elevação no ECO₂ à medida que a temperatura do solo aumentou. Já Pantoja et al. (2020), contataram em sistemas de integração lavoura pecuária, maior ECO₂ no solo nos períodos de chuvas.

O aumento no ECO₂ do solo causado pelas chuvas está relacionado à mudança no teor de água do solo, impulsionado pela infiltração e redistribuição da água que força a saída do CO₂ existente nos poros (DARROUZET-NARDI et al., 2018), e aumento da atividade microbiana e

radicular das plantas (SIMÕES et al., 2023). No entanto, o ECO_2 pode ser restringido ou suprimido tanto por alto quanto por baixo teor de água no solo. O baixo teor de água no solo restringe a conectividade poro-água, reduzindo o transporte de carbono orgânico e sua biodisponibilidade (DAVIDSON et al., 2012). Já o elevado teor de água no solo cria uma barreira na difusão de gás na interface solo-atmosfera, limitando a saída de CO_2 e o suprimento de oxigênio (MIAO et al., 2017), reduzindo assim a produção e difusão de CO_2 , o que justifica tal comportamento do ECO_2 no mês de maior precipitação pluvial (março/2023).

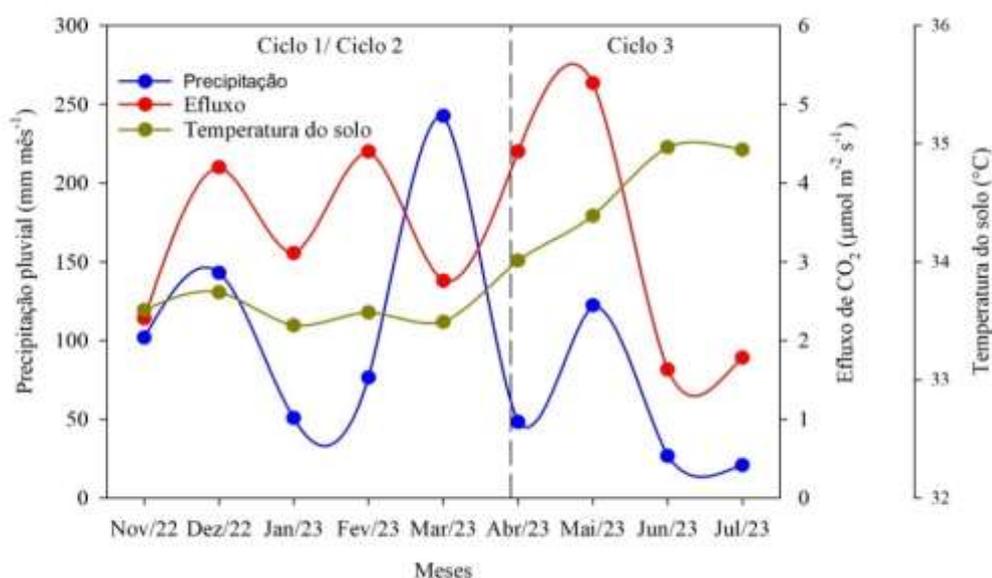


Figura 5. Médias do efluxo de CO_2 no solo (ECO_2) em função da precipitação pluvial e temperatura do solo durante os meses de novembro de 2022 e julho de 2023 em sistemas de cultivos de palma forrageira e pornunça, em Serra Talhada - PE.

Em relação ao estoque de carbono no solo (ECS) analisa-se que não houve diferença pelos sistemas de cultivo nas camadas de 0 – 10 e 10 – 20 cm, com valores médios de 13,39 (OEM), 14,33 (DM), 14,70 (P), 12,17 (OEM-P) e 14,33 t. ha⁻¹ (DM-P) (Tabela 3). Logo, quando comparado o ECS entre camadas, investiga-se que o cultivo solteiro do clone DM e OEM-P não mostrou diferença significativa, já para os demais sistemas de cultivo, percebe-se valores mais acentuados na camada 0 – 10 cm quando comparada a camada de 10 – 20 cm (Tabela 3). Embora não houve diferença significativa no ECS entre as camadas para todos os sistemas de cultivo, evidencia-se maiores valores na camada mais superficial do solo (0 – 10 cm), nesse sentido, com o passar do tempo é provável que ocorra diferenças significativas para todos sistemas. Ribeiro et al. (2023) constataram incremento significativos no ECS na camada de 0 – 10 cm em sistemas de uso e gestão de terras.

Tabela 3. Estoque de carbono no solo ($t\ ha^{-1}$) de sistemas de cultivo de clones de palma forrageira e pornunça em ambiente semiárido

Camadas	OEM	DM	P	OEM-P	DM-P	p - valor
0 – 10 cm	16,08Aa	15,08Aa	17,12Aa	12,81Aa	17,78Aa	0,104
10 – 20 cm	11,72Ab	13,57Aa	12,29Ab	11,53Aa	10,88Ab	0,583
p - valor	0,022	0,493	0,021	0,385	0,014	-

OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: Pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com Pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com Pornunça. Médias seguidas de letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A palma forrageira, por ser uma planta MAC, tem eficiência substancialmente maior na assimilação de carbono do que espécies C3, como a pornunça (JARDIM et al., 2022). Gomez-Casanovas et al. (2007) constataram, que em média, 36,2% do cladódio da palma do gênero *Opuntia* (i.e., clone OEM) é composto por carbono, e uma planta quando adulta é capaz de fixar 8,29 Kg de CO₂ por ano, podendo esse valor variar em função das condições ambientais, práticas agrícolas, número de cladódios por planta e densidade de plantio. Mostrando assim, que o cultivo de palma forrageira pode ser estimulado para áreas agrícolas em ambientes semiáridos como crédito de carbono, contribuindo para mitigação dos GEE (JARDIM et al., 2022).

4. CONCLUSÕES

O consórcio Orelha de Elefante Mexicana e pornunça proporciona maior taxa de infiltração e capacidade de retenção de água no solo.

A resistência do solo à penetração diminui com o aumento do conteúdo de água no solo, proveniente das precipitações pluviais em condições de semiaridez.

O efluxo de CO₂ em cultivos de palma e pornunça em ambientes semiáridos é influenciado, principalmente, pela precipitação pluvial.

O estoque de carbono no solo em cultivos de palma e pornunça é mais proeminente nas camadas mais superficiais do solo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. S. M. A.; SILVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; COSTA, L. T.; MATEUS, R. G.; SOUZA, D. R.; SILVA, V. L. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 1013–1030, 2015.

ALENCAR, F. H. H. D.; SILVA, D. S. D.; ANDRADE, A. P. D.; CARNEIRO, M. S. D. S.; FEITOSA, J. V. Composição química e digestibilidade da pornunça sob duas fontes de adubação orgânica e cortes. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 215-222, 2015.

ALVES, C. P.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; PINHEIRO, A. G.; SALVADOR, K. R. S; SILVA, T. G. F. Resiliência agrícola no cultivo consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, 3932-3952, 2021.

BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media. **Hydrology Paper**, v.3, p.1-27. 1964.

BURDINE, N. T. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. **America Institute Mining and Metallurgy Engineering**, v.198, p.71-77. 1953.

CARDINAEL, R.; CADISCH, G.; GOSME, M.; OELBERMANN, M.; NOORDWIJK, M. V. Climate change mitigation and adaptation in agriculture: Why agroforestry should be part of the solution. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v. 319, p. 107555, 2021.

CHALISE, K. S.; SINGH, S.; WEGNER, B. R.; KUMAR, S.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, J. D.; OSBORNE, S. L.; NLEYA, T.; GUZMAN, J.; ROHILA, J. S. Cover Crops and Returning Residue Impact on Soil Organic Carbon, Bulk Density, Penetration Resistance, Water Retention, Infiltration, and Soybean Yield. **Agronomy Journal**, v. 111, n. 1, p. 99-108, 2019.

CHAVEIRO, A.; BONINI, C. D. S. B.; FREITAS, P. G. N.; REIS, D. C. S.; OLIVEIRA, J. M. K.; SOUZA, J. A. L.; OLIVEIRA, A. B. Qualidade física e química do solo em sistema de plantio direto cultivado com hortaliças—Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e32711931564-e32711931564, 2022.

COÊLHO, J. J.; CUNHA, M.V.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX, J. C. B.; MELLO, A. C. L. Exotic forage grasses in the Brazilian semi-arid region: Forage mass, competitiveness, and botanical similarities of non-native pastures. **Journal of Arid Environments**, v. 193, p. 104551, 2021.

DARROUZET-NARDI, A.; REED, S.; GROTE, E.; BELNAP, J. Patterns of longer-term climate change effects on CO₂ efflux from biocrusted soils differ from those observed in the short term. **Biogeosciences**, v. 15, n. 14, p. 4561-4573, 2018.

DAVIDSON, E. A.; SAMANTA, S.; CARAMORI, S. S.; SAVAGE, K. The dual arrhenius and michaelis–menten kinetics model for decomposition of soil organic matter at hourly to seasonal time scales. **Global Change Biology**, v. 18, n. 1, p. 371–384, 2012.

GOMES, L.; BIANCHI, F.; CARDOSO, I.; FERNANDES, R.; FILHO, E. F.; SCHULTE, R. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in brazil. **Agriculture, Ecosystems Environment**, v. 294, p. 106858, 2020.

GOMEZ-CASANOVAS, N.; BLANC-BETES, E.; GONZALEZ-MELER, M. A.; AZCON-BIETO, J. Changes in respiratory mitochondrial machinery and cytochrome and alternative pathway activities in response to energy demand underlie the acclimation of respiration to elevated CO₂ in the invasive *Opuntia ficus-indica*. **Plant Physiology**, v. 145, n. 1, p. 49–61, 2007.

GUPTA, S.; DAGAR, J.; TEKETAY, D. Agroforestry for rehabilitation of degraded landscapes: achieving livelihood and environmental security. **Agroforestry for Degraded Landscapes: Recent Advances and Emerging Challenges**, v. 1, p. 23–68, 2020.

HASSAN, S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORI, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy** v. 105, p. 104-110, 2019.

JARDIM, A. M. R. F.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Understanding interactive processes: a review of CO₂ flux, evapotranspiration, and energy partitioning under

stressful conditions in dry forest and agricultural environments. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 10, p. 677, 2022.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA UGALDE, J. M.; CUENCA, R.; BRAUD, I.; HAVERKAMP, R. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments–BEST. **Soil Science Society of America Journal**. v. 70, p. 521–532, 2006.

LEDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, J. A.; BRITO, C. F. B.; DONATO, P. E. R. Nutritional balance and recovery rate of macronutrients by ‘Gigante’ cactus pear under different fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 82-89, 2021.

LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. S. B. Comparison of methods for estimating leaf area in pornunça (*Manihot* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 11, p. 733-740, 2021.

LI, Y.; WANG, Y.; WANG, Y.; WANG, B. Effects of simulated acid rain on soil respiration and its component in a mixed coniferous-broadleaved forest of the three gorges reservoir area in Southwest china. **Forest Ecosystems**, v. 6, n. 32, 7 2019.

LOURENÇO, E. R. C.; SOUZA, B. I.; D'ANDREA, A. F.; SOUZA, J. J. L. L. Temporal variation of soil CO₂ emission in different land uses in the Caatinga. **Applied Geography**, v. 140, p. 102661, 2022.

KOVEN, C. D.; HUGELIUS, G.; LAWRENCE, D. M.; WIEDER, W. R. Higher climatological temperature sensitivity of soil carbon in cold than warm climates. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 11, p. 817, 2017.

MIAO, Y.; HAN, H.; DU, Y.; ZHANG, Q.; JIANG, L.; HUI, D.; WAN, S. Nonlinear responses of soil respiration to precipitation changes in a semiarid temperate steppe. **Scientific Reports**, v. 7, p. 45782, 2017.

MORAES, G. S. O.; GUIM, A.; TABOSA, J. N.; CHAGAS, J. C. C.; ALMEIDA, M. P.; FERREIRA, M. A. 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**, v. 221, p. 133–138, 2019.

NASCIMENTO, L. G.; SANTOS, M. E. S; MELO, S. T.; BUZAR, R. D. J. C.; RESENDE, M. R.; AYRES, M. M. D. A. L.; ALVES, K. R. Análise da velocidade de infiltração de água no solo por meio de anéis concêntricos na zona leste da cidade de Teresina-PI. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15168-15178, 2020.

NUNES, J. D. S. L.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; ALVES, H. K. M. N.; CRUZ NETO, J. F.; PINHEIRO, A. G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.

PANTOJA, C. A.; ARAÚJO, A. C.; MENDES, E. M. O.; SOUZA, C. M. A.; SANTIAGO, A. V.; SILVA, J. A. F.; YAKUWA, J. C. P. Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. **Agrometeoros**, v. 27, n. 1, 2020.

PESSOA, R. M. S.; PESSOA, A. M. S; COSTA, D. C. C. C.; AZEVÊDO, P. C. S; GOIS, G. C.; CAMPOS, F. S.; LIMA, D. O. Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e12111334267-e12111334267, 2022.

PHILLIPS, C. L.; BOND-LAMBERTY, B.; DESAI, A. R.; LAVOIE, M.; RISK, D.; TANG, J.; TODD-BROWN, K.; VARGAS, R. The value of soil respiration measurements for interpreting and modeling terrestrial carbon cycling. **Plant and Soil**, v. 413, n. 1, p. 1–25, 2017.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022.

RIBEIRO, D. O.; GONÇALVES, G. R.; RUBIO, G. O.; CASTOLDI, G.; VENDRUSCOLO, E. P.; SOUZA, Z. H. D. Carbon stocks and lability in land use and management systems in southwestern Goiás, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 53, 2023.

RUFINO, D. C.; NETO, M. A. D.; SOUSA M. T.; BANDEIRA, L. B.; SILVA, M. D. P.; BULHÕES, L. A.; MESQUITA, E. F. Estoque de carbono do solo em agroecossistemas e vegetação secundária. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. e545111133840, 2022.

RUGGIERI, A. C.; CARDOSO, A. S. Balanço de carbono em sistemas de produção animal: fontes de emissão e opções de mitigação. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, p. 1-2, 2017.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. Brazilian Soil Classification System. **Embrapa solos**, 2018.

SANTOS, E. E. F.; SILVA, T. N.; SILVA, C. L.; SANTOS, M. H. L. C.; MOURA, W. N. D.; SOUZA RIBEIRO, D. Atributos químicos de solo cultivado com palma forrageira sob irrigação com água salobra. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e698997531-e698997531, 2020.

SANTOS, T. V. A.; EDSON-CHAVES, B.; OLIVEIRA, F. M. C. Xerofitismo e suculência. **Revista de Ciência Elementar**, v. 9, n. 2, 2021.

SIMÕES, V. J. L. P.; SOUZA, E. S.; LEITE, M. L. M. V.; SOUZA, R., SILVA, J. R. I.; SALES, A. T.; ANTONINO, A. C. D. Physical-hydric attributes and soil CO₂ efflux in pastoral systems in a Brazilian semi-arid environment. **Agroforestry Systems**, 1-13, 2023.

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FERRAZ, A. P. F.; ALMEIDA, A. Q.; LIMA, J. R. S; ANTONINO, A. C. D; SOUZA, E. S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104768, 2021.

TEIXEIRA, M.; FOLLMANN, D.; ROSA, G.; PEREIRA, A.; PINTO, B. R. Índice de vegetação por diferença normalizada na avaliação de mix de plantas de cobertura de inverno. **Enciclopedia Biosfera**, v. 20, n. 44, p. 215-224, 2023.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p.892-898, 1980.

CAPÍTULO IV - ÍNDICES DE EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E HABILIDADE COMPETITIVA DE SISTEMAS DE CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA COM PORNUNÇA

RESUMO

O consórcio promove competição interespecífica entre as culturas, o que causa alterações no seu crescimento e desenvolvimento. Logo, a aplicação dos índices de eficiência biológica e habilidade competitiva podem auxiliar na decisão da configuração essencial de cultivo, bem como na identificação da cultura dominante. Nesse sentido, objetivou-se quantificar a produtividade da palma forrageira e da pornunça em diferentes sistemas de cultivo, quantificar os índices de eficiência biológica e habilidade competitiva do sistema consorciado palma-pornunça, a fim de recomendar o sistema de cultivo mais adequado para produção de forragem. O ensaio foi conduzido no município de Serra Talhada-PE, Brasil, em blocos ao acaso, composto por dois clones de palma forrageira Doce Miúda (DM) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em sistema de cultivo solteiro e consorciado com pornunça (P), sendo 408 dias o ciclo de palma (1 ciclo) e 497 dias da pornunça (3 ciclos). O consórcio palma-pornunça foi 351% mais produtivo em massa seca do que os sistemas solteiros da palma. No índice de produtividade do sistema o consórcio OEM-P obteve valor de 20,00, e a DM-P de 10,68. Na razão de competitividade, obteve valores superiores a 1 pela pornunça em ambos sistemas de cultivo consorciado, e valores inferiores a 1 pelos clones de palma forrageira (OEM: 0,17; DM: 0,05). O consórcio palma-pornunça independentemente do clone, em ambientes semiáridos pode melhorar o uso dos recursos naturais disponíveis devido à complementaridade interespecífica de culturas de importância local e contribuir para estabilidade de forragem para os animais ao longo do ano. Entretanto, a configuração do clone Doce Miúda mostrou uma melhor eficiência biológica, habilidade competitiva e vantagem produtiva. Nos consórcios palma-pornunça, a cultura da pornunça apresenta dominância sobre os clones Orelha de Elefante Mexicana e Doce Miúda.

Palavras-chave: Cactácea; Euforbiácea; Configuração de cultivo.

CHAPTER IV - BIOLOGICAL EFFICIENCY INDICES AND COMPETITIVE ABILITY OF FORAGE PALM CULTIVATION SYSTEMS WITH PORNUÇA

ABSTRACT

The consortium promotes interspecific competition between crops, which causes changes in their growth and development, therefore, the application of biological efficiency and competitive ability indices can help in deciding the essential cultivation configuration, as well as identifying the dominant crop. In this sense, the objective was to quantify the productivity of forage cactus and pornunça in different cultivation systems, calculate the indices of biological efficiency and competitive ability of the cactus-pornunça intercropped system, in order to recommend the most suitable cultivation system for the production of forage. The trial was conducted in the experimental area of the Forage Farming Study Group, at the Federal Rural University of Pernambuco, Academic Unit of Serra Talhada - PE, in a randomized block design, composed of two clones of forage cactus Doce Miúda (DM) and Orelha of Elefante Mexicana (OEM) in a single and intercropped cultivation system with pornunça (P), with 408 days for the palm cycle (1 cycle) and 497 days for pornunça (3 cycles). The cactus-pornunça consortium was 351% more productive in dry mass than the single palm systems. In the system productivity index, the OEM-P consortium obtained a value of 20.00, and DM-P of 10.68. In the competitiveness ratio, it obtained values greater than 1 for the proportion in both intercropping systems, and values below 1 for the forage cactus clones (OEM: 0.17; DM: 0.05). The cactus-pornunça consortium, regardless of the clone, in semi-arid environments can improve the use of available natural resources due to the interspecific complementarity of crops of local importance and contribute to forage stability for animals throughout the year. However, the Doce Miúda clone configuration showed better biological efficiency, competitive ability and productive advantage. In the cactus-pornunça consortium, the pornunça culture is dominant over the Orelha de Elefante Mexicana and Doce Miúda clones.

Keywords: Cactaceae; Euphorbiaceae; Cultivation setup.

1. INTRODUÇÃO

No Semiárido brasileiro uma cultura que vem se destacando na alimentação animal é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.). Este vegetal pertence à família Cactaceae, sendo uma planta perene que possui cladódios com grandes quantidades de água, minerais, vitaminas, carboidratos não fibrosos, alta aceitabilidade e digestibilidade (SALVADOR et al., 2021; JARDIM et al., 2023), bem como uma elevada capacidade de rebrota durante seus ciclos produtivos (CARDOSO et al., 2019). No entanto, devido seus baixos teores de fibras, recomenda-se seu fornecimento juntamente com alimentos ricos em fibra, pois quando fornecida de forma exclusiva pode causar problemas ruminais nos animais (MORAES et al., 2019). Uma cultura que pode ser associada à palma na dieta animal, é a pornunça (*Manihot glaziovii* × *Manihot esculenta*). Espécie perene da família Euforbiaceae, com alto teor de proteína bruta, alta proporção de fibras, elevada capacidade de rebrota e grande potencial produtivo em condições de semiaridez (LEITE et al., 2021). Ambas as espécies forrageiras podem ser cultivadas em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado em diversas regiões do mundo.

A consorciação de duas culturas, como a palma e a pornunça é capaz de contribuir no controle biológico de pragas e doenças, em função da maior diversidade de espécies na área, proporcionar redução da incidência de erosão nas áreas, maior cobertura do solo e menor perda de água por meio da evaporação. Além disso, auxilia na minimização da infestação de plantas daninhas, diversificação de microrganismos no solo, otimização da mão de obra, maior eficiência na utilização dos recursos naturais disponíveis (i.e., água, luz e nutrientes), estabilidade alimentar para os rebanhos e fonte de renda para as famílias (JAVANMARD et al., 2020). Embora o consórcio seja uma estratégia promissora, há ocorrência de competição interespecífica entres elas, o que causa alterações no seu crescimento e desenvolvimento, devido ao efeito de fatores bióticos e abióticos no ambiente de cultivo, na fotossíntese líquida e na produção de matéria seca (CHIMONYO et al., 2018; JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022). No entanto, entender o desempenho de crescimento das plantas contribui na identificação dos fatores que limitam a produção de forragem e auxilia na adaptação das práticas de manejo (BEZERRA et al., 2022).

A utilização dos índices de eficiência biológica e habilidade competitiva auxiliam no entendimento da viabilidade do sistema de cultivo consorciado, bem como na identificação da cultura dominante (SOUZA et al., 2022). Na literatura, inúmeros trabalhos são encontrados

em sistema de cultivo solteiro e consorciado com palma forrageira. Por exemplo, Diniz et al. (2017) verificaram incremento na produtividade de aproximadamente 1,65 t ha⁻¹ no consórcio palma-sorgo irrigado, em relação a palma solteira irrigada, sendo ambas cultivadas em ambiente semiárido. Jardim et al. (2021) avaliaram o consórcio da palma com cultivares de sorgo em ambiente semiárido, e constataram incrementos produtivos de 47% em relação aos cultivos solteiros. Souza et al. (2022) em cultivo de palma com milho, obtiveram vantagens produtivas no sistema consorciado quando comparado ao solteiro. Entretanto, não há estudos que relatem os índices de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas de cultivo de palma forrageira com pornunça em ambiente semiárido.

Neste contexto, hipotetizamos que o consórcio palma-pornunça apresenta vantagens competitivas, biológicas, e produtivas em relação ao cultivo solteiro dessas espécies, contribuindo para estabilidade de forragem ao longo do ano nas regiões semiáridas, melhorando o retorno econômico para os produtores rurais. Logo, objetivou-se quantificar a produtividade da palma forrageira e da pornunça em diferentes sistemas de cultivo, quantificar os índices de eficiência biológica e habilidade competitiva do consórcio palma-pornunça, a fim de recomendar o sistema de cultivo mais adequado para produção de forragem em ambiente semiárido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida entre março de 2022 e agosto de 2023 na área experimental do Grupo de Estudos em Forragicultura (GEFOR) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), em Serra Talhada – PE, Sertão do Pajeú (7°57'24" Sul; 38°17'44" Oeste e Altitude 490 m). Conforme a classificação de Köppen, o clima enquadra-se no tipo BSw^h, semiárido quente e seco, chuvas concentradas de janeiro a abril, com pluviosidade média anual de 632 mm ano⁻¹, temperatura média do ar, em torno de 25 °C, umidade relativa do ar de aproximadamente 63%, e demanda atmosférica anual de 1.800 mm (LEITE et al., 2021).

Na cultura da palma forrageira [*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck clone Doce Miúda; *Opuntia stricta* (L.) clone Orelha de Elefante Mexicana], o período experimental foi de ciclo único (16/03/2022 a 28/04/2023, 408 dias). Para a avaliação da pornunça (*Manihot glaziovii* x *Manihot esculenta*), considerou-se três períodos de avaliação: i) Primeiro ciclo, início do ensaio até o primeiro corte (16/03/2022 a 26/07/2022, 132 dias); ii) Segundo ciclo, do primeiro ao segundo corte (27/07/22 a 11/04//23, 258 dias); iii) Terceiro ciclo, segundo

corte até o final do experimento (12/04//23 a 28/07/23, 107 dias), perfazendo um total de 497 dias nos três ciclos de crescimento da pornunça.

As variáveis meteorológicas foram monitoradas ao longo do período experimental, por meio de uma Estação Meteorológica Automática, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada aproximadamente a 300 m da área experimental (Figura 1).

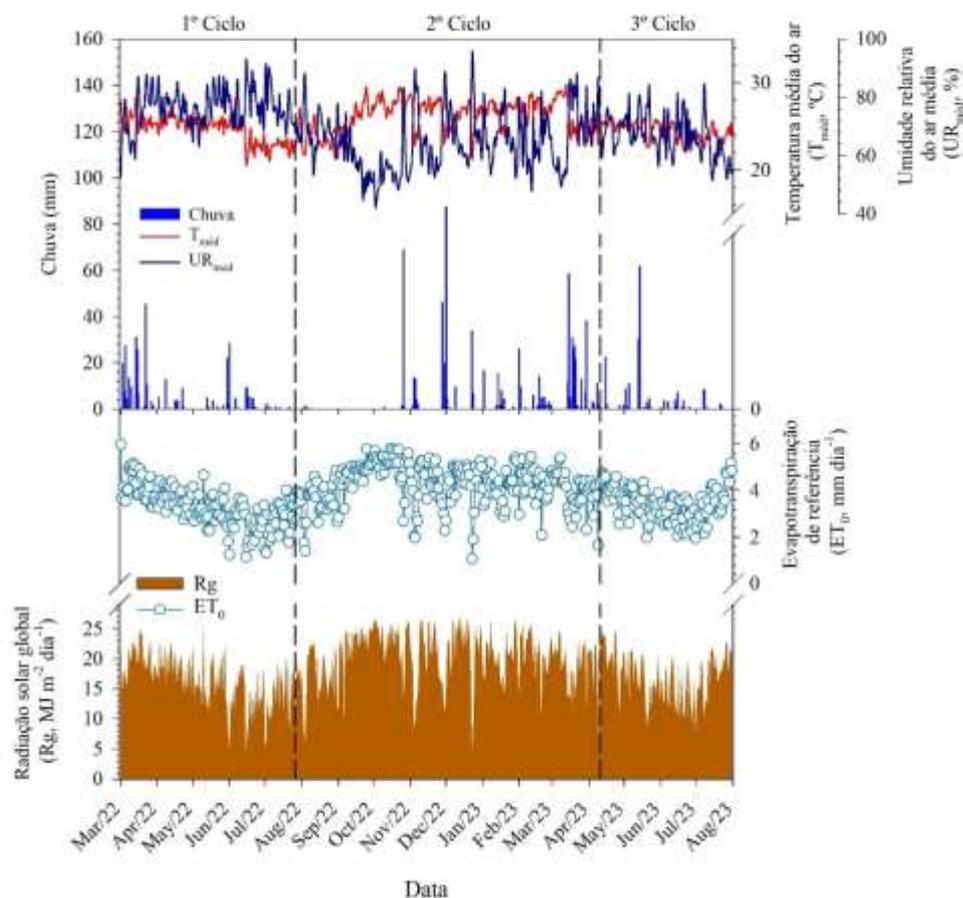


Figura 1. Variação da temperatura média do ar, umidade média do ar, chuva, radiação solar global e evapotranspiração de referência, na área experimental entre março de 2022 a agosto de 2023, em Serra Talhada – PE. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A palma forrageira e a pornunça foram cultivadas sob condições naturais de chuva (sem irrigação) e sem nenhum tipo de adubação. Durante o período experimental, quando necessário, foi realizado o controle manual de plantas daninhas, a fim de evitar que as mesmas provocassem interferência nos cultivos.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, composto por cinco sistemas de cultivo: dois clones de palma forrageira em sistema de cultivo solteiro e consorciado com a pornunça,

e a pornunça em sistema de cultivo solteiro, com seis repetições, resultando em 30 unidades experimentais.

A unidade experimental com área de 24,0 m² (5,0 x 4,8 m), foi composta por três fileiras de palma forrageira, independentemente do clone avaliado, com 25 plantas por fileira, perfazendo um total de 75 plantas. O espaçamento adotado na cultura da palma foi 1,60 m entre linhas e 0,20 m entre plantas (densidade populacional de 31.250 plantas ha⁻¹). No tratamento da pornunça, em cultivo solteiro, foram implantadas quatro fileiras com cinco plantas por fileira, totalizando 20 plantas por unidade experimental. Foi adotado para a pornunça o espaçamento de 1,6 x 1,0 m (6.250 plantas ha⁻¹). No consórcio palma-pornunça, três fileiras de palma e duas fileiras de pornunça na entrelinha da palma, obedecendo os mesmos espaçamentos adotados no cultivo solteiro da palma, já para pornunça foi adotado o espaçamento de 1,60 m entre linhas e 1,00 m entre plantas (6.250 plantas ha⁻¹), totalizando uma densidade populacional no sistema consorciado de 37.500 plantas ha⁻¹ (31.250 plantas de palma ha⁻¹ + 6.250 plantas de pornunça ha⁻¹).

O preparo do solo foi realizado com 30 dias de antecedência ao plantio, efetuando-se uma aração, seguida de duas gradagens. O solo da área experimental, classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico Típico (SANTOS et al., 2018), foi coletado em duas camadas (0 a 20 cm e 20 – 40 cm), posteriormente destorroado e homogeneizado, em seguida peneirado com malha de 2 mm, e caracterizado seus atributos físicos e químicos (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físicos e químicos do solo da área experimental, Serra Talhada – PE

Atributos físicos													
Camada	DS	DP	PT	GF	AT	AG	AF	Silte	Argila				
cm	g cm ⁻³		Composição granulométrica %										
0 - 20	1,61	2,53	36,26	59,00	73,60	44,50	29,10	15,90	10,50				
20 - 40	1,66	2,47	32,40	58,31	72,20	48,88	23,34	17,20	10,50				
Atributos químicos													
Camada	P	K ⁺	Na ⁺	RAS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB	CTC	V	PST	MO	
cm	mg dm ⁻³	pH	cmol _c dm ⁻³								%		
0 - 20	380	7,1	0,88	0,11	0,14	1,20	0,10	1,0	2,29	3,29	69,60	3,34	1,24
20 - 40	380	7,1	0,68	0,27	0,30	1,30	0,30	1,0	2,55	2,55	71,80	7,60	0,88

SB = Soma de base = Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺; CTC = Capacidade de troca catiônica - CTC = SB + (H⁺ + Al³⁺); V = Saturação por base = (SB/CTC) × 100; H+Al = Alumínio trocável; MO = matéria orgânica; RAS - razão de adsorção ele sódio = Na⁺/[(Ca²⁺+Mg²⁺)/2]^{1/2}; PST = percentagem de sódio trocável - PST = (Na⁺ /CTC) × 100; DS = Densidade do solo; DP = Densidade de partícula; PT = Porosidade total; GF = Grau de floculação; AT = Areia total; AG = Areia Grossa; AF = Areia fina.

Para a produção das mudas de pornunça foram utilizadas manivas com 20,0 cm de comprimento e 2,0 cm de diâmetro; plantadas em sacos plásticos de 30 cm de altura, sendo as manivas enterradas a 10 cm de profundidade. Posteriormente, foram transplantadas para a área experimental. Os cladódios-semente de palma utilizados no ensaio foram provenientes de plantas com idade de aproximadamente três anos, oriundos da área experimental do GEFOR. O plantio foi realizado após a cura dos cladódios (08 dias), inserindo um cladódio por cova, na posição vertical, em profundidade suficiente para que a metade do mesmo fosse enterrada. Na escolha dos cladódios para o plantio, foram considerados critérios básicos, como, aparência do cladódio, ausência de infestação/ataque de pragas ou doenças e um bom acúmulo de reservas (cladódio não muito jovem).

Por ocasião de colheita, na cultura da palma forrageira, foram preservados todos os cladódios primários em cada planta, com o objetivo de manutenção do estande, e posterior avaliação da rebrota. Todas as plantas de palma foram colhidas para determinação da massa verde e seca. Os cladódios selecionados foram pesados individualmente, com auxílio de balança eletrônica, obtendo-se o peso total por ordem de cladódio, por planta e por tratamento. Em seguida, uma amostra de, aproximadamente, 600 g de cada cladódio, por ordem e por tratamento, foi cortada no sentido transversal, permitindo assim, uma perda rápida de umidade. Foi determinado o teor de massa seca por meio de secagem do material em sacos de papel kraft identificados, conduzidos a uma estufa de circulação forçada de ar a 55°C, até atingir peso constante (CIRINO JUNIOR et al., 2022). O teor de umidade foi obtido por diferença de massa fresca e seca.

A definição do momento dos cortes da pornunça foi em função do estágio fenológico, considerando adequado quando as mesmas estavam em pleno desenvolvimento, logo após o início da floração (20% das plantas em floração) e antes da frutificação (ALENCAR et al., 2015). Por meio da realização dos cortes a 30 cm do solo, foi estimada a produção de fitomassa da parte aérea, verificando-se as quantidades produzidas, com o uso de balança eletrônica. Após pesagem dos componentes morfológicos da pornunça, em balança eletrônica, eles foram fragmentados e acondicionados em sacos de papel kraft com amostras em torno de 100 g, identificados e conduzidos a uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C, até obter de peso constante (CIRINO JUNIOR et al., 2022).

A produção de massa fresca (MF) por hectare de palma forrageira e da pornunça foi determinada pelo produto entre a produção por metro linear e a quantidade de metros lineares em um hectare. A produção de massa seca (MS) foi calculada multiplicando-se a MF pelo

teor de massa seca. Para os sistemas de cultivo solteiro, considerou-se na palma, o rendimento de fitomassa de um ciclo, e na pornunça, o somatório de três ciclos de cultivo. Nos sistemas de cultivo consorciado, os rendimentos totais de fitomassa foram obtidos a partir da soma do ciclo da palma forrageira e dos três ciclos da pornunça.

No presente estudo, foram determinados os índices de eficiência biológica para estimar a performance do consórcio palma-pornunça. Os índices quantificados foram razão equivalente de terra (LER), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS), conforme a metodologia de Yilmaz et al. (2015). Os mesmos foram calculados de acordo com os procedimentos presentes nas Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$\text{LER} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (1)$$

onde, Y_{ab} e Y_{aa} referem-se ao rendimento da palma forrageira em cultivo consorciado e solteiro, respectivamente. Já o Y_{ba} e Y_{bb} é referente a produtividade da pornunça em consórcio e solteira, respectivamente. Se $\text{LER} > 1$, observa-se que existe vantagem dos cultivos consorciados em relação ao solteiro. No entanto, se $\text{LER} = 1$, não há vantagem produtiva, e quando a $\text{LER} < 1$, existe desvantagem em consorciar (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021; YILMAZ et al., 2015).

$$\text{RAET} = \frac{(\text{LER}_a \times t_a) + (\text{LER}_b \times t_b)}{T_{ab}} \quad (2)$$

em que, os subscritos a e b são reportados, nessa ordem, para palma forrageira e a pornunça. LER_a e t_a correspondem respectivamente ao uso eficiente da terra e duração do ciclo da palma forrageira. Já a LER_b e t_b , se refere a utilização eficiente da terra e tempo em dias da duração do ciclo da pornunça. Enquanto o T_{ab} é o tempo total do sistema consorciado em dias. Quando a $\text{RAET} > 1$, compreende vantagem ao implantar um cultivo consorciado, caso contrário, se $\text{RAET} = 1$, não há vantagem produtiva entre os sistemas de cultivo, indicando que tanto o sistema de cultivo solteiro como o consorciado pode ser aplicado. Com o referido no índice citado acima, se a $\text{RAET} < 1$, ocorre desvantagem do sistema de cultivo consorciado em relação ao solteiro (DINIZ et al., 2017).

$$CET = LER_a \times LER_b \quad (3)$$

onde, o $CET > 0,25$ configura vantagem produtiva em sistemas consorciados, uma vez que o coeficiente produtivo mínimo é de 25% (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021).

$$IPS = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) Y_{ba} + Y_{ab} \quad (4)$$

em que, o IPS será utilizado para padronizar a cultura da pornunça com a palma forrageira (SADEGHPOUR et al., 2013; DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022).

Para avaliar os índices de habilidade competitiva do sistema consorciados foram utilizados o coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC). Os mesmos serão calculados conforme as Equações 5, 6, 7 e 8, respectivamente (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021). Esses fatores de habilidade competitiva são fundamentais no aumento da taxa de sucesso das culturas.

$$CAR_{ab} = \frac{Y_{ab} \times Z_{ba}}{(Y_{aa} - Z_{ab}) \times Z_{ab}} \quad (5)$$

$$CAR_{ba} = \frac{Y_{ba} \times Z_{ab}}{(Y_{bb} - Y_{ba}) \times Z_{ba}}$$

em que, Z_{ab} é a proporção de plantio da palma forrageira em consórcio com a pornunça (83,33%: 31.250 plantas ha^{-1}); Z_{ba} é a proporção de plantio da pornunça em consorciação com a palma forrageira (16,67%: 6.250 plantas ha^{-1}). Se o produto dos dois coeficientes, isto é, $CAR = (CAR_{ab} \times CAR_{ba}) > 1$, há vantagem no rendimento do sistema consorciado quando comparado ao solteiro, se $CAR = 1$, não existe vantagem produtiva, e se $CAR < 1$, há desvantagem no consórcio. Quando $CAR_{ab} > CAR_{ba}$, indica que a palma forrageira é mais competitiva em relação a pornunça (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021).

$$A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} \quad (6)$$

$$A_{ba} = \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times Z_{ba}} - \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times Z_{ab}}$$

onde, se $A_{ab} = 0$ indica que ambas as culturas são igualmente competitivas, enquanto que, $A_{ab} > 0$, a palma forrageira é dominante em relação à pornunça, e se $A_{ab} < 0$, a pornunça se sobressai em relação a palma forrageira (SADEGHPOUR et al., 2013; SOUZA et al., 2022).

$$PGAR = \left(LER_a \times \left[\frac{100}{Z_{ab}} \right] - 1 \right) + \left(LER_b \times \left[\frac{100}{Z_{ba}} \right] - 1 \right) \quad (7)$$

em que, se o $PGAR > 0$, sugere que existe vantagem do sistema consorciado sobre o solteiro, enquanto que, se $PGAR < 0$, ocorre desvantagem em consorciar (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021).

$$RC_a = \frac{LER_a}{LER_b} \times \frac{Z_{ba}}{Z_{ab}} \quad (8)$$

$$RC_b = \frac{LER_b}{LER_a} \times \frac{Z_{ab}}{Z_{ba}}$$

se $RC_a < 1$, há um benefício positivo para a consorciação e as espécies podem ser cultivadas juntas, enquanto que, se $RC_a > 1$, há uma maior competitividade entre as culturas quando comparado ao cultivo solteiro, não indicando a consorciação (SADEGHPOUR et al., 2013; JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022).

Inicialmente, todos os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de Cochran, seguidos de uma análise de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de significância. O programa utilizado para realizar as análises estatísticas foi o software R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No rendimento individual dos clones de palma (Tabela 2), verifica-se que os sistemas de cultivo solteiro, independentemente do clone avaliado, sobressaíram sobre o rendimento do

clone Doce Miúda (DM) quando consorciado com a Pornunça (5,52 t ha⁻¹). Esses resultados não diferiram do clone Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em sistema consorciado.

Tabela 2. Rendimento de massa seca (t ha⁻¹) de clones de palma forrageira e pornunça em sistemas de cultivo sob condições de sequeiro, em Serra Talhada - PE

Sistemas de cultivo	Palma		Pornunça		Rendimento
	Ciclo 1	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	(t ha ⁻¹) Total
OEM	11,59a	-	-	-	11,59b
DM	10,85a	-	-	-	10,85b
P	-	2,20a	2,26b	4,97a	9,43b
OEM-P	9,05ab	2,16a	3,88b	3,94a	19,03a
DM-P	5,52b	2,87a	11,31a	5,64a	25,34a
p-valor	0,006	0,205	0,049	0,662	0,0002

OEM: Orelha de Elefante Mexicana solteira; DM: Doce Miúda solteira; P: pornunça solteira; OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com pornunça. Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para pornunça, independente do sistema de cultivo investigado, observa-se que não houve diferença nos rendimentos dos ciclos 1 e 3, com valor médio de massa seca de 2,41 e 4,85 t ha⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Já no ciclo 2, constata-se um maior rendimento na pornunça em sistema consorciado com o clone DM (11,31 t ha⁻¹), quando comparado aos demais sistemas. Entretanto, não houve diferença entre o cultivo solteiro da pornunça e consórcio com clone OEM. Esse maior valor produtivo mostrado pela pornunça é em função da sua grande variabilidade genética, devido ser um híbrido (LEITE et al., 2021). Diniz et al. (2017) não observaram diferenças significativas no consórcio palma-sorgo sobre o cultivo solteiro da palma, porém, verificaram uma diminuição no rendimento de massa seca na cultura do sorgo.

O menor resultado obtido pelo clone DM, provavelmente se deve a maior exigência hídrica e nutricional, mostrando que a pornunça é mais competitiva. Já o rendimento satisfatório pelo clone OEM, independentemente do sistema de cultivo submetido, está atrelado ao elevado potencial de adaptação sob condições de estresse hídrico e baixa exigência nutricional quando comparado ao clone DM (LOPES et al., 2019).

Em termos de rendimento total de massa seca, os sistemas de cultivo consorciado, independentemente do clone de palma estudado (OEM-P: 25,34 t ha⁻¹; DM-P: 19,03 t ha⁻¹),

mostraram-se superiores aos sistemas de cultivo solteiro (OEM: 11,59 t ha⁻¹; DM: 10,85 t ha⁻¹; P: 9,43 t ha⁻¹) (Tabela 2). Para os clones OEM e DM, comparando o sistema de cultivo consorciado com o solteiro, observa-se um incremento nos consórcios de 64,20 e 133,55%, respectivamente. Silva et al. (2015) obtiveram rendimentos de massa seca de 15,6 t ha⁻¹ para o clone OEM, e de 11,5 t ha⁻¹ no clone DM em sistema de cultivo solteiro. Ferreira et al. (2009), em cultivo solteiro de pornunça, constataram produção de massa seca de 0,468 t ha⁻¹. No consórcio ocorre maiores rendimentos por meio da cooperação mútua das culturas e otimização dos recursos naturais disponíveis no local, o que reflete tal resultado pelos sistemas de cultivo consorciado avaliados (BEZERRA et al., 2022).

O clone OEM apresentou uma razão equivalente de terra (LER) de 1,73, quando comparado ao clone DM (0,98) (Tabela 3). Já a pornunça, um maior LER no consórcio com o clone DM, com valor de 4,07, refletindo em uma elevada LER total (5,05) na DM-P. No entanto, cada configuração palma-pornunça apresentou um valor para LER total maior que 1 (3,97–5,05), com valor médio de 4,51. Esses resultados mostram que o sistema consorciado palma-pornunça é altamente vantajoso. Além disso, independentemente do clone de palma utilizado, houve um aumento de 351% na produção do sistema, ou seja, para igualar a produtividade do sistema consorciado, seria necessário plantar mais 3,51 ha, utilizando uma das culturas em sistema de cultivo solteiro (Tabela 3). Em consórcio de palma forrageira com sorgo, Diniz et al. (2017) encontraram valor de LER total de 1,51, mostrando que houve vantagem do consórcio. Resultados similares foram encontrados por Souza et al. (2022), que constataram um LER total de 1,48 em consórcio de palma forrageira-milheto.

Tabela 3. Índices de eficiência biológica de clones de palma forrageira consorciada com pornunça

Sistemas	LER_{cp}	LER_p	LER_t	RAET	CET	IPS
OEM-P	1,73	2,24	3,97	4,58	4,05	20,00
DM-P	0,98	4,07	5,05	5,94	3,99	10,68

OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com pornunça; LER_{cp}: razão equivalente de terra de clones de palma forrageira; LER_p: razão equivalente de terra da pornunça; LER_t: razão equivalente de terra total; RAET: razão de área equivalente no tempo; CET: coeficiente equivalente de terra; IPS: índice de produtividade do sistema.

Na razão de área equivalente no tempo (RAET), verifica-se que ambos os sistemas de cultivos OEM-P e DM-P mostraram valores de 4,58 e 5,94, respectivamente, exibindo vantagem ao implantar o cultivo consorciado (Tabela 3). Em cultivo de clones de palma

forageiras com cultivares de sorgo, Jardim et al. (2021) observaram valores da RAET superiores a 1, relatando assim vantagem no consórcio. O tempo em que as culturas ficam expostas em campo é de suma importância na economia do sistema de cultivo, pois quanto mais se prorroga o tempo de colheita, maior é a suscetibilidade às condições climáticas, pragas e doenças (DINIZ et al., 2017; JARDIM et al., 2021; BEZERRA et al., 2022).

Para o coeficiente equivalente de terra (CET), constatou-se valores de 4,05 e 3,99 nos sistemas de cultivos de OEM-P e DM-P, respectivamente (Tabela 3). O resultado positivo deste índice ressalta maiores vantagens produtivas do sistema de cultivo consorciado quando comparado ao solteiro (DINIZ et al., 2017; BEZERRA et al., 2022). Souza et al. (2022) verificaram valor de 0,53 para CET, em cultivo consorciado de palma com milho, mostrando vantagem no consórcio.

No índice de produtividade do sistema (IPS) o consórcio OEM-P obteve valor de 20,00, e a DM-P de 10,68 (Tabela 3). O IPS é usado para padronizar a produtividade das culturas consorciadas, isto é, da palma forrageira com a pornunça (SADEGHPOUR et al., 2013; JARDIM et al., 2021; BEZERRA et al., 2022). Souza et al. (2022) utilizaram o IPS para igualar a produtividade do milho ($34,3 \text{ t MS ha}^{-1}$) à da palma forrageira ($23,8 \text{ t MS ha}^{-1}$), obtiveram estabilidade no rendimento do sistema consorciado, ou seja, o IPS foi superior à produtividade da palma em cultivo solteiro, afirmando a utilização do sistema consorciado para produção de forragem. Esses índices são de crucial importância para auxiliar os produtores em tomadas de decisão, podendo ser aplicados em qualquer parte do mundo, independentemente das sazonalidades climáticas e de solo, elevando a eficiência dos recursos naturais disponíveis e maximização da produtividade por área (GITARI et al., 2020; JARDIM et al., 2021; SOUZA et al., 2022; BEZERRA et al., 2022).

No coeficiente de adensamento relativo (CAR), os valores de CAR negativos para ambos os sistemas de cultivo, resultaram em desvantagem ao consorciar. Entretanto, valores de CAR positivos foram encontrados pelos clones de palma forrageira, e negativos para pornunça, demonstrando que a palma é mais competitiva em relação a pornunça ($CAR_{ab} > CAR_{ba}$) (Tabela 4). Diniz et al. (2017) relataram valor de 12,33 para CAR, em cultivo consorciado palma forrageira-sorgo.

Em relação a agressividade (A), em ambos sistemas de cultivo, a pornunça mostrou valores positivos, e os clones de palma forrageira valores negativos, expressando dominância da pornunça sobre os clones de palma avaliado (Tabela 4). Jardim et al. (2021), em cultivo

consorciado palma-sorgo, verificaram uma maior agressividade da palma forrageira sobre o sorgo.

Tabela 4. Índices de habilidade competitiva de clones de palma forrageira consorciada com pornunça

Sistemas	CAR _{cp}	CAR _p	CAR	A _{cp}	A _p	PGAR _{cp}	PGAR _p	PGAR	RC _{cp}	RC _p
OEM-P	0,71	-90,54	-64,28	-0,0001	0,0001	-0,99	-0,96	-1,95	0,15	6,47
DM-P	0,21	-9,54	-2,00	-0,0003	0,0003	-0,99	-0,93	-1,92	0,05	20,75

OEM-P: Orelha de Elefante Mexicana consorciada com pornunça; DM-P: Doce Miúda consorciada com pornunça. CAR_{cp}: Coeficiente de adensamento relativo da palma sobre a pornunça; CAR_p: Coeficiente de adensamento relativo da pornunça sobre a palma; CAR: Coeficiente de adensamento; A_{cp}: Agressividade da palma sobre a pornunça; A_p: Agressividade da pornunça sobre a palma; PGAR_{cp}: perda ou ganho atual de rendimento da palma; PGAR_p: perda ou ganho atual de rendimento da pornunça; PGAR: perda ou ganho atual de rendimento; RC_{cp}: razão de competitividade da palma; RC_p: razão de competitividade da pornunça.

Em relação a perda ou ganho atual de rendimento (PGAR), os sistemas de cultivos mostraram valores de -1,95 (OEM-P) e -1,92 (DM-P). Tais resultados mostraram uma desvantagem produtiva dos sistemas de cultivo consorciado quando comparado ao solteiro (Tabela 4). Os valores negativos para PGAR indicam que, em consórcio, a pornunça é mais suscetível à perda de produtividade do que os clones de palma. Souza et al. (2022) constataram valores positivos para PGAR (520,02), no consórcio de palma-milheto.

Na razão de competitividade (RC), percebe-se valores superiores a 1 pela pornunça em ambos sistemas de cultivo consorciado, e valores inferiores a 1 pelos clones de palma forrageira (OEM: 0,17; DM: 0,05), confirmando maior competitividade da pornunça em relação aos clones de palma (Tabela 4). A RC mensura o grau que uma cultura disputa com a outra, considerando a produtividade das culturas em sistema consorciado e solteiro, bem como a área de cultivo usada por ambas. Souza et al. (2022) obtiveram em consórcio palma-milheto, valores da RC > 1 para palma forrageira, e valores mais baixos para o milho, demonstrando a dominância da palma sobre o milho no consórcio. Esses fatores de habilidade competitiva são cruciais para maximização da produtividade das culturas, auxiliando no entendimento da viabilidade do sistema consorciado e identificação da cultura dominante (DINIZ et al., 2017; SOUZA et al., 2022; BEZERRA et al., 2022).

4. CONCLUSÕES

O consórcio palma-pornunça independentemente do clone, em ambientes semiáridos pode melhorar o uso dos recursos naturais disponíveis devido à complementaridade

interespecífica de culturas de importância local e contribuir para estabilidade de forragem para os animais ao longo do ano. Entretanto, a configuração do clone Doce Miúda mostrou uma melhor eficiência biológica, habilidade competitiva e vantagem produtiva.

No consórcio palma-pornunça, a cultura da pornunça apresenta dominância sobre os clones Orelha de Elefante Mexicana e Doce Miúda.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, F. H. H. D.; SILVA, D. S. D.; ANDRADE, A. P. D.; CARNEIRO, M. S. D. S.; FEITOSA, J. V. Composição química e digestibilidade da pornunça sob duas fontes de adubação orgânica e cortes. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 215-222, 2015.

BEZERRA, R. C. A.; SANTOS, A. R. M.; CORDEIRO, L. R. B. A.; SOUZA, J. C. G.; NASCIMENTO, D. B.; NOGUEIRA, J. C.; LEITE, M. L. M. V. Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 15, p. e258111537107, 2022.

CARDOSO, D. B.; CARVALHO, F. F. R.; MEDEIROS, G. R.; GUIM, A.; CABRAL, A. M. D.; VÉRAS, R. M. L.; SANTOS, K. C.; DANTAS, L. C. N.; NASCIMENTO, A. G. O. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23–31, 2019.

CHIMONYO, V. G. P.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. **South African Journal of Botany**, v. 118, p. 76-84, 2018.

CIRINO JUNIOR, B.; LEITE, M. L. M. V.; SILVA, F. E.; ALVES, C. P.; OLIVEIRA, A. C.; EUGÊNIO, D. S. Crescimento inicial de clones de palma forrageira submetidos a níveis de adubação potássica. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, n. 1, 2022.

DINIZ, W. J. S.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; SANTOS, D. C.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 724-733, 2017.

DOWLING, A.; O SADRAS, V.; ROBERTS, P.; DOOLETTE, A.; ZHOU, Y.; DENTON, M.D. Legume-oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture – a review. **Field Crops Research**, v. 260, p. 107980, 2021.

FERREIRA, A. L.; SILVA, A. F.; PEREIRA, L. G. R.; BRAGA, L. G. T.; MORAES, S. A.; ARAÚJO, G. G. L. Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 10, n. 1, p. 129-136, 2009.

GITARI, H. I.; NYAWADE, S. O.; KAMAU, S.; KARANJA, N.N.; GACHENE, C. K. K.; RAZA, M. A.; MAITRA, S.; SCHULTE-GELDERMANN, E. Revisiting intercropping indices with respect to potato-legume intercropping systems. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107957, 2020.

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.; MOURA, M. S. B. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021.

JARDIM, A. M. R. F.; MORAIS, J. E. F.; SOUZA, L. S. B.; MARIN, F. R.; MOURA, M. S. B.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, T. G. F. Sink or carbon source? how the *Opuntia* cactus agroecosystem interacts in the use of carbon, nutrients and radiation in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Hydrology**, v. 625, p. 130121, 2023.

JAVANMARD, A.; MACHIANI, M. A.; LITHOURGIDIS, A.; MORSHEDLOO, M. R.; OSTADI, A. Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 1, p. 100003, 2020.

LEITE, M. L. M. V.; MOURA, G. A.; MOURA, E. A.; LUCENA, L. R. R.; SALES, A. T.; SAMPAIO, E. V. S. B. Comparison of methods for estimating leaf area in pornunça (*Manihot* sp.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, n. 11, p. 733-740, 2021.

LOPES, L.; CARDOSO, D.; CAMARGO, K.; SILVA, T.; SOUZA, J.; SILVA, J. R.; ARAÚJO, T. P. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Pubvet**, v. 13, n. 2, p. 170, 2019.

MORAES G. S. O; GUIM A.; TABOSA J. N.; CHAGAS J. C. C.; ALMEIDA M. P.; FERREIRA M. A. 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**, v. 221, p. 133–138, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022.

SADEGHPOUR, A.; JAHANZAD, E.; ESMAEILI, A.; HOSSEINI, M. B.; HASHEMI, M. Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semiarid conditions: Additive series. **Field Crops Research**, v. 148, n. 7, p. 43-48, 2013.

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2322-2343, 2021.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; CUNHA, T. J. F. **Brazilian Soil Classification System**. Embrapa solos, 2018.

SOUZA, M. S.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SOUZA, L. S. B.; JARDIM, A. M. R. F.; CAMPOS, F. S.; LEITE, M. L. M. V.; TABOSA, J. N.; SILVA, T. G. F. Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. **African Journal of Range & Forage Science**, p. 1-12, 2022.

YILMAZ, S.; ÖZEL, A.; ATAK, M.; ERAYMAN, M. Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, n. 1, p. 135–143, 2015.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

O setor pecuário compõe o eixo econômico dos sistemas de produção do Semiárido brasileiro, porém, as propriedades necessitam de ajustes, principalmente na dieta dos animais. A necessidade de suplementação alimentar durante o período de estiagem, devido à baixa disponibilidade de forragem, tem prejudicado a viabilidade econômica e sustentabilidade das propriedades rurais, especialmente por conta da baixa oferta de volumosos e dos elevados preços pagos pelos concentrados, logo, o uso de práticas de conservação de forragens como ensilagem e fenação são cruciais.

A palma é plenamente adaptada às condições edafoclimáticas do Sertão pernambucano, sendo a principal forrageira utilizada na alimentação dos ruminantes.

Os principais pontos identificados na cultura da palma forrageira são a reduzida base genética e a adubação deficiente, precisando para aperfeiçoar a produção e maximizar o cultivo, de configurações nos sistemas de produção praticados, considerando os aspectos sócio-econômicos dos produtores e as condições agro-ecológicas da região, em curto, médio e longo prazo. Além disso, o fornecimento exclusivo da palma pode acarretar problemas ruminais nos animais, diminuindo seus desempenhos, portanto, corroborando para aumento do aporte forrageiro, a utilização de euforbiáceas, como a pornunça, adaptada as condições semiáridas, tornando-se uma excelente alternativa alimentar como fonte de fibra e proteína, que complementam a cultura da palma. Nesse sentido, o consórcio palma-pornunça é uma estratégia sustentável, promovendo um melhor aproveitamento dos recursos naturais locais disponíveis e um incremento quali-quantitativo na dieta animal.

Pesquisas futuras são necessárias para elucidar os efeitos fisiológicos da palma forrageira e da pornunça quando consorciadas em ambiente semiárido.