

KAIQUE RENAN DA SILVA SALVADOR

ESTRATÉGIAS AGROMETEOROLÓGICAS COMO FERRAMENTAS DE
POTENCIALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMAS PECUÁRIOS
DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Serra Talhada-PE

2023

S
A
L
V
A
D
O
R

K
R
S

E
S
T
R
A
T
É
G
I
A
S

A
G
R
O
M
E
T
E
O
R
O

·
·
2
0
2
3

KAIQUE RENAN DA SILVA SALVADOR

ESTRATÉGIAS AGROMETEOROLÓGICAS COMO FERRAMENTAS DE
POTENCIALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMAS PECUÁRIOS
DO ESTADO DE PERNAMBUCO

Dissertação 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. DSc. Thieres George Freire da Silva

Co-orientador: DSc. Gherman Garcia Leal de Araújo; DSc. Mário Adriano Ávila Queiroz.

Serra Talhada-PE

2023

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

S182e

Salvador, Kaique Renan da Silva

Estratégias agrometeorológicas como ferramentas de potencialização da produção de forragem em sistemas pecuários do estado de Pernambuco / Kaique Renan da Silva Salvador. - 2023.

176 f. : il.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.

Coorientador: Mario Adriano Avila Queiroz.

Inclui referências.

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

1. Balanço de água. 2. Consorciação. 3. Fenofases. 4. Índices morfofisiológicos. 5. Opuntia. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Queiroz, Mario Adriano Avila, coorient. III. Título

CDD 581.15

KAIQUE RENAN DA SILVA SALVADOR

ESTRATÉGIAS AGROMETEOROLÓGICAS COMO FERRAMENTAS DE
POTENCIALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FORRAGEM EM SISTEMAS PECUÁRIOS
DO ESTADO DE PERNAMBUCO

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 23/02/2023.

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente
THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA
Data: 06/04/2023 15:21:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva – UAST/UFRPE
Orientador



Documento assinado digitalmente
JEAN PIERRE HENRY BALBAUD OMETTO
Data: 11/04/2023 12:57:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. DSc. Jean Pierre Henry Balbaud Ometto – PESQUISADOR/INPE
Examinador Externo



Documento assinado digitalmente
MARCIO VIEIRA DA CUNHA
Data: 11/04/2023 10:01:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. DSc. Márcio Vieira da Cunha – UFRPE/SEDE
Examinador Externo



Documento assinado digitalmente
FLEMING SENA CAMPOS
Data: 06/04/2023 15:35:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DSc. Fleming Sena Campos – PESQUISADOR/UFMA
Examinador Externo

Aos meus pais,
Betania Severina da Silva Salvador e Paulo João Salvador,
pela educação, amor, carinho, conselhos, cuidados e todo incentivo,
mesmo distantes, vocês sempre estiveram presentes em minha trajetória.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus pelo dom da vida, pela saúde e proteção em minha trajetória.

Aos meus pais, Betania e Paulo por todas as suas batalhas diárias, para me possibilitar chegar até aqui, obrigado por todo companheirismo e cuidado, vocês sempre foram minha fonte de inspiração e chegar até aqui é a união conjunta de nossas batalhas. Agradeço por sempre me apoiar e nunca deixar que eu desistisse dos meus sonhos, e principalmente, durante situações adversas que tive que conviver. Também agradeço aos meus irmãos Kaio e Kalyele, por todas momento compartilhados é ótimo ter vocês por perto.

Agradeço a minha namorada Agda Raiany, por ensinamentos, apoio, companheirismo e amor, você é minha fortaleza. Desde que você se fez presente em minha vida, aprendi a ser uma pessoa melhor e mais forte a cada dia, sou grato por cada conselho seu, eu te amo. Aos meus primos Weligton, Wiliane, Welisson e Camila por toda ajuda e companheirismo, a minha Tia Adriana e Tia Roselita, por toda ajuda durante esses anos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE-UAST), por todo comprometimento e empenho dos representantes do corpo docente, por nos incentivar e contribuir para a nossa realização profissional. Ao meu orientador Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva, por todas oportunidades e conhecimentos compartilhados ao longo destes mais de cinco anos, obrigado por sempre estar presente e nos incentivar a querer sempre mais. E em especial a todos os membros do grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), por todo suporte, amizade e momentos de descontração, sem vocês tudo isso não teria se concretizado.

Também agradeço à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco - FACEPE (APQ-1159-1.07/14, APQ-0300-5.03/17, APQ-0639-5.01/21), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (421003/2018-9, 309421/2018-7, 402622/2021-9, 309558/2021-2), à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Semiárido (10.18.03.039.00.02.00) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP (2017/22269-2) pelos auxílios financeiros e à própria FACEPE pela concessão da bolsa de estudo (IBPG-1027-5.01/21).

Muito obrigado!

RESUMO GERAL

As condições climáticas e perturbações abióticas afetam o desenvolvimento da pecuária e economia de regiões semiáridas. Buscando contornar a situação, é de suma importância à utilização de espécies forrageiras como gramíneas, leguminosas, oleaginosas e cactos adaptadas às condições climáticas e que são capazes de disponibilizar alimento de qualidade. Todavia, para o maior rendimento das culturas, a implantação de práticas resilientes como a irrigação, cobertura morta e consorciação, podem promover sistemas de cultivos mais sustentáveis e com alto potencial forrageiro. Diante disto, objetiva-se avaliar o desempenho produtivo da palma forrageira, irrigada, com e sem cobertura morta sobre o solo, sob cultivo exclusivo e consorciado, assim como, o desempenho de espécies de gramíneas, leguminosas, e oleaginosas, sob diferentes arranjos de cultivos com perspectiva de aumento na produção de forragem para os rebanhos das regiões semiáridas. Os experimentos foram conduzidos no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras”, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), no município de Serra Talhada, PE, Brasil. O campo referente a experimentação foi dividido em três experimentos, o primeiro composto pela palma exclusiva e consorciada com sorgo, girassol e feijão-guandu. O segundo, palma exclusiva e consorciada com sorgo, milho e feijão-guandu, assim como, as condições exclusivas das culturas consortes. O terceiro, compõe a palma consorciada e exclusiva assim como o milho, com e sem cobertura morta no solo. O delineamento adotado em todas as experimentações foi em blocos casualizados. A partir da coleta dos dados, foram determinados o rendimento produtivo do sistema, balanço de água no solo, índices hídricos, índices de eficiência biológica, habilidade competitiva, benefício econômico, índices morfofisiológicos, fenofase vegetativa e momento de corte. Os sistemas consorciados promoveram maior rendimento de forragem, eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico, assim como a melhor utilização da água. As taxas de crescimento e fenologia da palma não foram afetadas pela consorciação em maior parte dos casos. Assim, a associação destas espécies é uma excelente opção para condições semiáridas, ressaltando que consorciação entre palma-sorgo foi superior em produtividade e retorno econômico.

Palavras-chave: balanço de água no solo, consórcio, fenologia, taxas de crescimento

GENERAL ABSTRACT

The climatic conditions and abiotic disturbances affect the development of livestock and the economy of semi-arid regions. Seeking to circumvent the situation, it is of paramount importance to use forage species such as grasses, legumes, oilseeds and cacti adapted to climatic conditions and capable of providing quality food. However, for higher crop yields, the implementation of resilient practices such as irrigation, mulching, and intercropping, can promote more sustainable cropping systems with high forage potential. In view of this, the objective was to evaluate the productive performance of forage cactus, irrigated, with and without mulching on the soil, under exclusive and intercropping cultivation, as well as the performance of grass, legume, and oilseed species, under different cropping arrangements with the prospect of increasing forage production for the livestock of semi-arid regions. The experiments were conducted at the "International Reference Center for Agrometeorological Studies of the Cactus and other Forage Plants", located at the Federal Rural University of Pernambuco - Academic Unit of Serra Talhada (UFRPE/UAST), in the municipality of Serra Talhada, PE, Brazil. The experimental field was divided into three experiments, the first composed of the exclusive forage cactus and intercropping with sorghum, sunflower and cowpea. The second, exclusive forage cactus intercropping with sorghum, millet and cowpea, as well as the exclusive conditions of the intercrops. The third, composes the intercropped and exclusive forage cactus as well as maize, with and without mulch. The design adopted in all experiments was in randomized blocks. From the data collection, the productive yield of the system, soil water balance, hydric indexes, biological efficiency indexes, competitive ability, economic benefit, morpho-physiological indexes, vegetative phenophase and cutting moment were determined. The intercropping systems promoted higher forage yield, biological efficiency, competitive ability and economic benefit, as well as better water use. The growth rates and phenology of forage cactus were not affected by the intercropping in most cases. Thus, the association of these species is an excellent option for semi-arid conditions, emphasizing that forage cactus-sorghum intercropping was superior in productivity and economic return.

Keywords: soil water balance, intercropping, phenology, growth rates

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – PRÁTICAS DE RESILIÊNCIA AGRÍCOLA COMO FERRAMENTAS ATENUADORAS, DOS EFEITOS CLIMÁTICOS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA REVISÃO.....16

Fig. 1. Delimitação semiárido brasileiro. Fonte: autor.....19

CAPÍTULO 2 – O CONSÓRCIO DA PALMA FORRAGEIRA COM GRAMÍNEAS, OLEAGINOSA E LEGUMINOSA ANTECIPA A COLHEITA E PROMOVE MAIOR EFICIÊNCIA E RETORNO ECONÔMICO AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....51

Fig. 1. Localização da área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil. A seta mostra a área de cultivo experimental.....55

Fig. 2. Condições ambientais e disponibilidade hídrica via irrigação durante o período experimental de setembro 2017 a junho de 2020, no município de Serra Talhada -PE, Brasil...56

Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.....57

Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$) e (D) área do cladódio específico (ACE, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$).....67

Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$) e (D) área do cladódio específico (ACE, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$).....68

Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-G), (C) Palma-Girassol (P-GI) e (D) Palma-Sorgo (P-S).....69

Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Sorgo SF15(P-SF15), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo1011 (P-S1011).....71

CAPÍTULO 3 – A CONSORCIAÇÃO IMPACTA O CRESCIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA, MAS A COMPLEMENTARIDADE PROPORCIONA MAIOR PRODUTIVIDADE, HABILIDADE COMPETITIVA, EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E RETORNO ECONÔMICO.....85

Fig. 1. Área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil.....89

Fig. 2. Evapotranspiração de referência (ET_0), precipitação pluviométrica (P) e irrigação (I) durante o período experimental de 2020 a 2022, no município de Serra Talhada - PE, Brasil.....90

Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.....91

Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$) e (D) área do cladódio específico (ACE, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdias}$).....103

Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha ⁻¹ °Cdias); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha ⁻¹ °Cdias), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha ⁻¹ °Cdias) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha ⁻¹ °Cdias).....	104
Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-FG), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo (P-S).....	105
Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-FG), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo (P-S).....	106

CAPÍTULO 4 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM, COMPETIÇÃO E UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO CONSÓRCIO PALMA-MILHO COM COBERTURA MORTA.....138

Fig. 1. Localização da área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil.....	142
Fig. 2. Condições ambientais e disponibilidade hídrica via irrigação de outubro de 2020 a junho de 2022, no município de Serra Talhada - PE, Brasil.....	143
Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.....	144
Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha ⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha ⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha ⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha ⁻¹ °Cdia).....	155
Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha ⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha ⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha ⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha ⁻¹ °Cdia).....	156
Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva sem cobertura (PESC); (B) palma exclusiva com cobertura (PECC), (C) Palma-Milho sem cobertura (PMSC) e (D) Palma-milho com cobertura (PMCC).....	157
Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva sem cobertura (PESC); (B) palma exclusiva com cobertura (PECC), (C) Palma-Milho sem cobertura (PMSC) e (D) Palma-milho com cobertura (PMCC).....	158

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – O CONSÓRCIO DA PALMA FORRAGEIRA COM GRAMÍNEAS, OLEAGINOSA E LEGUMINOSA ANTECIPA A COLHEITA E PROMOVE MAIOR EFICIÊNCIA E RETORNO ECONÔMICO AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....51

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico em Serra Talhada, PE, Brasil.....	55
Tabela 2. Balanço de água no solo em cultivo da palma forrageira exclusiva e consorciada no semiárido brasileiro.....	62
Tabela 3. Produtividade de forragem da palma forrageira durante dois ciclos produtivos, consorciada, irrigada com e sem cobertura morta em ambiente semiárido.....	74
Tabela 4. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1º ciclo.....	75
Tabela 5. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.....	77

CAPÍTULO 3 – A CONSORCIAÇÃO IMPACTA O CRESCIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA, MAS A COMPLEMENTARIDADE PROPORCIONA MAIOR PRODUTIVIDADE, HABILIDADE COMPETITIVA, EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E RETORNO ECONÔMICO.....85

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háplico em Serra Talhada, PE, Brasil.....	89
Tabela 2. Balanço de água no solo em diferentes sistemas de cultivos da palma forrageira época 2020-2021.....	107
Tabela 3. Balanço de água no solo em cultivo da palma forrageira, gramíneas e leguminosa em condições exclusivas e consorciadas, época 2021-2022.....	109
Tabela 4. Produtividade de forragem da palma forrageira durante dois ciclos produtivos, consorciada, irrigada com e sem cobertura morta em ambiente semiárido.....	112
Tabela 5. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1º ciclo.....	113
Tabela 6. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.....	115
Tabela 7. Índices de eficiência biológica em diferentes cultivos da palma forrageira durante dois ciclos produtivos.....	116
Tabela 8. Índices de habilidade competitiva da palma forrageira consorciada com uma leguminosa e gramíneas, por dois ciclos produtivos.....	117

CAPÍTULO 4 – CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM, COMPETIÇÃO E UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO CONSÓRCIO PALMA-MILHO COM COBERTURA MORTA.....138

Tabela 1. Balanço de água no solo em cultivo exclusivo e consorciado da palma e milho, com ou sem cobertura morta no semiárido brasileiro.....	159
Tabela 2. Balanço de água no solo em cultivo exclusivo e consorciado da palma e milho, com ou sem cobertura morta no semiárido brasileiro.....	161
Tabela 3. Produtividade da palma forrageira exclusiva e consorciada com milho.....	162

Tabela 4. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1º ciclo.....	163
Tabela 5. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.....	164
Tabela 6. Índices de eficiência biológica da palma forrageira consorciada com milho.....	165
Tabela 7. Índices de habilidade competitiva da palma forrageira consorciada com milho.....	166

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – PRÁTICAS DE RESILIÊNCIA AGRÍCOLA COMO FERRAMENTAS ATENUADORAS, DOS EFEITOS CLIMÁTICOS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO: UMA REVISÃO	21
1. Introdução	23
2. Características do semiárido brasileiro	24
3. Intensificação sustentável da agricultura	25
4. Práticas resilientes para potencializar a produção de vegetal	26
4.1 <i>Espécies adaptadas</i>	26
4.1.1 <i>Palma forrageira</i>	26
4.1.2 <i>Sorgo forrageiro</i>	28
4.1.3 <i>Milheto</i>	29
4.1.4 <i>Capim elefante/BRS-capiaçu</i>	30
4.1.5 <i>Milho</i>	31
4.1.6 <i>Capins para pastagens (braquiária e buffel)</i>	31
4.1.7 <i>Feijão-guandu</i>	32
4.1.8 <i>Alfafa</i>	33
4.1.9 <i>Moringa</i>	33
4.1.10 <i>Leucena</i>	34
4.1.11 <i>Gliricídia</i>	35
4.1.12 <i>Girassol</i>	36
4.2 <i>Práticas de manejo agrícola</i>	37
4.2.1 <i>Consórcio entre culturas</i>	37
4.2.2 <i>Irrigação com água salobra</i>	38
4.2.3 <i>Cobertura morta</i>	39
4.2.4 <i>Integração lavoura-pecuária</i>	40
5. Considerações finais	41
6. Referências	41
CAPÍTULO 2 – O CONSÓRCIO DA PALMA FORRAGEIRA COM GRAMÍNEAS, OLEAGINOSA E LEGUMINOSA ANTECIPA A COLHEITA E PROMOVE MAIOR EFICIÊNCIA E RETORNO ECONÔMICO AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	59
1. Introdução	61
2. Material e métodos	63
2.1 <i>Localização e caracterização da área experimental</i>	63

2.2	<i>Design experimental e manejo das forrageiras</i>	65
2.3	<i>Análise de crescimento e produtividade das forrageiras</i>	67
2.3.1	<i>Palma forrageira</i>	67
2.3.2	<i>Sorgo forrageiro, milheto, feijão-guandu e girassol</i>	68
2.4	<i>Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte da palma forrageira</i>	68
2.5	<i>Balanço de água no solo</i>	69
2.6	<i>Índices hídricos</i>	71
2.7	<i>Análise estatística</i>	74
3.	Resultados	74
3.1	<i>Índices morfofisiológicos da palma forrageira</i>	74
3.1.1	<i>Taxas do primeiro ciclo palma forrageira</i>	74
3.1.2	<i>Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo</i>	76
3.2	<i>Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma</i>	77
3.2.1	<i>Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira</i>	77
3.2.2	<i>Crescimento segundo ciclo da palma forrageira</i>	78
3.3	<i>Balanço de água no solo em cultivos consorciados com a palma forrageira</i>	79
3.4	<i>Rendimento forrageiro da palma em diferentes condições de cultivo</i>	81
3.5	<i>Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira</i>	82
3.5.1	<i>Primeiro ciclo da palma forrageira</i>	82
3.5.2	<i>Segundo ciclo produtivo</i>	84
4.	Discussão	85
4.1	<i>Índices morfofisiológicos da palma forrageira</i>	85
4.2	<i>Fenofases e momento de corte</i>	86
4.3	<i>Balanço de água no solo</i>	87
4.4	<i>Rendimento forrageiro</i>	87
4.5	<i>Índices hídricos e receita</i>	88
5.	Conclusões	89
6.	Referências	89
CAPÍTULO 3 – A CONSORCIAÇÃO IMPACTA O CRESCIMENTO DA PALMA FORRAGEIRA, MAS A COMPLEMENTARIDADE PROPORCIONA MAIOR PRODUTIVIDADE, HABILIDADE COMPETITIVA, EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E RETORNO ECONÔMICO.		95
1.	Introdução	97
2.	Material e métodos	98
2.1	<i>Localização e especificação do experimento</i>	98

2.2	<i>Configurações de cultivo e manejos</i>	100
2.3	<i>Análise de crescimento e produtividade das forrageiras</i>	102
2.3.1	<i>Palma forrageira</i>	102
2.3.2	<i>Sorgo forrageiro, milheto e feijão-guandu</i>	103
2.4	<i>Índices morfofisiológicos, fenofases e determinação do momento de corte da palma forrageira</i>	103
2.5	<i>Balanço de água no solo</i>	104
2.6	<i>Índices hídricos</i>	106
2.7	<i>Eficiência biológica</i>	109
2.8	<i>Habilidade competitiva</i>	110
2.9	<i>Análise estatística</i>	112
3.	Resultados	112
3.1	<i>Índices morfofisiológicos da palma forrageira</i>	112
3.1.1	<i>Taxas do primeiro ciclo palma forrageira</i>	112
3.1.2	<i>Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo</i>	113
3.2	<i>Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma</i>	115
3.2.1	<i>Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira</i>	115
3.2.2	<i>Crescimento segundo ciclo da palma forrageira</i>	116
3.3	<i>Balanço de água no solo</i>	116
3.3.1	<i>Primeiro ciclo</i>	116
3.3.2	<i>Segundo ciclo</i>	118
3.4	<i>Rendimento da palma forrageira 1° e 2° ciclo</i>	120
3.5	<i>Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira</i>	122
3.5.1	<i>Primeiro ciclo da palma forrageira</i>	122
3.5.2	<i>Segundo ciclo produtivo</i>	123
3.6	<i>Eficiência biológica</i>	124
3.7	<i>Habilidade competitiva</i>	125
4.	Discussão	126
4.1	<i>Índices morfofisiológicos da palma forrageira</i>	126
4.2	<i>Fenofases e momento de corte</i>	128
4.3	<i>Balanço de água no solo</i>	128
4.4	<i>Rendimento forrageiro</i>	129
4.5	<i>Índices hídricos e receita</i>	130
4.6	<i>Eficiência biológica</i>	130
4.7	<i>Habilidade competitiva</i>	131

5. Conclusões	131
6. Referências	132
CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM, COMPETIÇÃO E UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO CONSÓRCIO PALMA-MILHO COM COBERTURA MORTA	138
1. Introdução	140
2. Material e métodos	141
2.1 <i>Localização e especificação do experimento</i>	141
2.2 <i>Tratamentos e manejos adotados</i>	143
2.3 <i>Crescimento e produtividade da palma forrageira e milho</i>	145
2.3.1 <i>Palma forrageira</i>	145
2.3.2 <i>Milho</i>	146
2.4 <i>Índices morfofisiológicos, fenofases e ponto ideal de corte da palma forrageira</i>	146
2.5 <i>Balanco de água no solo</i>	147
2.6 <i>Índices hídricos</i>	149
2.7 <i>Eficiência biológica</i>	152
2.8 <i>Habilidade competitiva</i>	153
2.9 <i>Análise estatística</i>	154
3. Resultados	154
3.1 <i>Índices morfofisiológicos da palma forrageira</i>	154
3.1.1 <i>Taxas do primeiro ciclo palma forrageira</i>	154
3.1.2 <i>Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo</i>	156
3.2 <i>Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma</i>	157
3.2.1 <i>Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira</i>	157
3.2.2 <i>Crescimento segundo ciclo da palma forrageira</i>	158
3.3 <i>Balanco de água no solo 1º ciclo</i>	158
3.3.1 <i>Primeiro ciclo</i>	158
3.3.2 <i>Segundo ciclo</i>	160
3.4 <i>Rendimento forrageiro da palma em diferentes condições de cultivo</i>	162
3.5 <i>Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira</i>	163
3.5.1 <i>Primeiro ciclo da palma forrageira</i>	163
3.5.2 <i>Segundo ciclo produtivo</i>	164
3.6 <i>Eficiência biológica</i>	165
3.7 <i>Habilidade competitiva</i>	166
4. Discussão	167

4.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira	167
4.2 Fenofases e momento de corte.....	168
4.3 Balanço de água no solo	168
4.4 Rendimento forrageiro	169
4.5 Índices hídricos e receita.....	169
4.6 Eficiência biológica	170
4.7 Habilidade competitiva	170
5. Conclusões.....	171
6. Referências.....	171

APRESENTAÇÃO

A agricultura e pecuária são cadeias extremamente vulneráveis as mudanças nos padrões climáticos, principalmente em condições áridas e semiáridas. Devido a longa escassez hídrica e má distribuição das chuvas, ocasionado baixo desempenho forrageiro em termos quantitativos e qualitativos, seja da vegetação nativa (Caatinga) ou até mesmo das pastagens cultivadas, com o cessamento das chuvas o aporte forrageiro tende a apresentar baixo rendimento, teores de lignina elevados, em contrapartida baixa teor proteico, aceitabilidade e digestibilidade reduzida, o que reflete diretamente no baixo desenvolvimento das cadeias de pequenos e grandes ruminantes.

Diante destes fatos, são necessários meios que auxiliem na convivência com o semiárido, com isso, incluir espécies forrageiras mais adaptadas ou geneticamente melhoradas, são relevantes na busca por maior sustentabilidade e garantia de alimentos para os rebanhos, e promover maior lucratividade para os produtores. Com isso, a palma forrageira, é uma cactácea com grande adaptabilidade a ambientes com restrições hídricas, isto é advindo do metabolismo fotossintético que possui, o qual possibilita o acesso do CO₂ durante o período noturno, cujas temperaturas são mais amenas, acarretando menor perda de água e aumentando sua capacidade na utilização deste recurso para converter em massa de forragem. Além disso, a cactácea é repleta de água, minerais, vitaminas e carboidratos não fibrosos, todavia, é pobre em fibra efetiva e proteína bruta, que são elementos fundamentais para os ruminantes.

Buscando complementar a dieta com a palma e proporcionar maior segurabilidade alimentar, a implementação de outras plantas forrageiras como o sorgo, milheto, milho, feijão-guandu, girassol forrageiro, moringa, leucena, gliricídia e sistemas integrados, podem contribuir para melhor convivência com regiões semiáridas. No entanto, estratégia como a irrigação em períodos sem precipitação pluviométrica, pode aumentar a produtividade das culturas e reduzir a sazonalidade na produção alimento para os rebanhos, o que pode garantir maior segurança e rendimento para os produtores.

Devido a alta demanda atmosférica em regiões áridas e semiáridas, é de grande importância utilizar ferramentas que minimizem a perda de água aplicada via irrigação e que a cultura possa utilizar este recurso com maior eficiência, com isso, a inserção de cobertura morta no solo dos cultivos agrícolas, proporciona uma menor perda de água pela evaporação, além de incrementar nutrientes e matéria orgânica no solo com sua subsequente decomposição. Em consonância com a maximização da produção de forragem a partir dos recursos citados. A consorciação de culturas é uma excelente alternativa para os cultivos em regiões semiáridas, uma vez que a produção pode ser aumentada e diversificada.

Com isso, estudos de diferentes culturas agrícolas associados a manejos como a consorciação, irrigação complementar, cobertura morta e sistemas integrados podem reduzir a sazonalidade na produção alimentar, logo, é tão necessário conhecer o comportamento das espécies diante destes manejos e diferentes associações em cultivos adensados, para determinar a melhor complementariedade entre as combinações e indicar ao produtor, contribuindo para melhores tomadas de decisões dentre das propriedades e aumentar o retorno econômico.

1 **CAPÍTULO 1 – PRÁTICAS DE RESILIÊNCIA AGRÍCOLA COMO FERRAMENTAS**
2 **ATENUADORAS, DOS EFEITOS CLIMÁTICOS EM AMBIENTE SEMIÁRIDO:**
3 **UMA REVISÃO**
4

5 **RESUMO:** A baixa produtividade de forragem no semiárido brasileiro atrela-se,
6 principalmente, a escassez hídrica e as condições climáticas. Estas perturbações abióticas
7 afetam o desenvolvimento da pecuária e da economia local. Buscando contornar a situação é
8 de suma importância à utilização de espécies de gramíneas, leguminosas, oleaginosa e cactácea,
9 forrageiras adaptadas às condições climáticas locais e que consigam disponibilizar um alimento
10 de qualidade (fibra, proteína, água, carboidratos etc.), possibilitando a produção de dietas mais
11 balanceadas para os rebanhos. Todavia, o maior rendimento das culturas é observado com a
12 implantação de práticas resilientes como a irrigação, adoção de cobertura morta e consorciação,
13 que promovem a sustentabilidade dos sistemas e aumentando o potencial forrageiro. Logo,
14 objetiva-se com esta revisão relatar as principais práticas de cultivo e suas aplicabilidades nos
15 sistemas de cultivo, buscando garantir maior eficiência e desempenho produtivo. A revisão
16 relata os principais manejos resilientes com o intuito de aumentar a produtividade da palma e
17 outras plantas forrageiras, em ambiente semiárido. A consorciação de culturas adaptadas,
18 inclusão de cobertura morta, irrigação e demais práticas, podem promover modificações nos
19 padrões morfofisiológicos das espécies, mas possibilitam maior eficiência na utilização dos
20 recursos naturais das áreas cultivadas, e aumentando a capacidade produtiva dos sistemas.
21 Porém, vale ressaltar que ainda são necessários mais estudos com diferentes combinações e
22 densidades de cultivo, e observar a inter-relação nos sistemas.

23
24 **Palavras-chave:** consórcio, gramíneas, leguminosa, palma forrageira, sistemas integrados
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

35 **ABSTRACT:** The low productivity of forage in the Brazilian semi-arid region is linked mainly
36 to water shortage and climatic conditions, these abiotic disturbances affect the development of
37 livestock and the local economy. Seeking to circumvent the situation is of paramount
38 importance to the use of grass, legume, oleaginous and cactus species, forage crops adapted to
39 local climatic conditions and that can provide quality food (fiber, protein, water, carbohydrates,
40 etc.), enabling the production of more balanced diets for livestock. However, the highest yield
41 of crops is observed with the implementation of resilient practices such as irrigation, adoption
42 of mulching, intercropping and integrated systems, which promote the sustainability of the
43 systems and increasing the forage potential. Therefore, this review aims to report the main
44 cultivation practices and their applicability in cropping systems, seeking to ensure greater
45 efficiency and productive performance. The review reports on the main resilient management
46 practices to increase the productivity of forage cactus and other forage plants in semi-arid
47 environments. The intercropping of adapted crops, inclusion of mulching, irrigation and other
48 practices can promote modifications in the morphophysiological patterns of the species but
49 enable greater efficiency in the use of natural resources in cultivated areas, and increasing the
50 productive capacity of the systems. However, it is worth noting that further studies are still
51 needed with different combinations and densities of cultivation, and to observe the inter-
52 relationship in the systems.

53

54 **Keywords:** intercropping, grass, legume, forage cactus, integrated systems

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69 1. Introdução

70 O Semiárido do Nordeste brasileiro é marcado por temperaturas do ar elevadas e grande
71 variação espaço-temporal da precipitação pluvial, associado a uma alta demanda atmosférica
72 potencial (1.800 a 2.000 mm ano⁻¹), acarretando balanço hídrico negativo na maior parte do ano
73 (COSTA et al., 2021; PEREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2021). Estas condições afetam
74 diretamente a agricultura e pecuária da região, tornando-as vulneráveis e com baixo rendimento
75 (ALVES et al., 2022). Diante disto, a implantação de espécies forrageiras adaptadas a este
76 ecossistema, podem garantir maior aproveitamento das áreas cultivadas e sustentabilidade
77 alimentar para os rebanhos (BEZERRA et al., 2015; LIMA et al., 2018; ZEGADA-
78 LIZARAZU; PARENTI; MONTI, 2021).

79 Pode-se destacar a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), a qual, possui
80 adaptação proveniente do metabolismo ácido das crassuláceas, possibilitando a captação do
81 CO₂ durante a noite e reduzindo as perdas de água (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2021a; DUBEUX
82 JÚNIOR et al., 2015). A cactácea além de persistir, contém alto teor de água, carboidratos não
83 fibrosos, alta aceitabilidade e digestibilidade (CARDOSO et al., 2019), todavia, deve-se atentar
84 ao baixo percentual de matéria seca e proteína bruta, uma vez, que sua ausência pode ocasionar
85 distúrbios metabólicos como a diarreia e timpanismo (AGUIAR et al., 2015; SALVADOR et
86 al., 2021).

87 Visando o balanceamento das dietas e aumento da sustentabilidade alimentar, a
88 associação de culturas forrageiras adaptadas: como sorgo, milheto, feijão-guandu, girassol
89 forrageiro, alfafa, moringa, leucena, gliricídia, sistemas integrados e variedades de milho
90 selecionadas para estas condições, podem reduzir os custos com aquisição de concentrados e
91 aumentar a eficiência da propriedade (BUCH et al., 2020; LI et al., 2019; LIU et al., 2021;
92 MACHADO et al., 2015; NETO; OLIVEIRA; VALEN, 2015; SÁ et al., 2021). Porém, para
93 garantir o sucesso destes sistemas, deve-se utilizar a irrigação e diminuir as flutuações no aporte
94 forrageiro (JARDIM et al., 2020a; QUEIROZ et al., 2016).

95 Buscado o melhor aproveitamento da água de irrigação dentro dos sistemas de cultivo,
96 a inserção da cobertura minimiza a perda de água por evaporação, perdurando o acesso da
97 planta, reduzindo também o surgimento de ervas daninhas que podem competir por recurso
98 naturais (SILVA et al., 2020a). Além disso, com o passar do tempo o material vegetal passa
99 pelo um processo de decomposição e incrementando nutrientes e matéria orgânica no solo
100 (ALVES et al., 2018; SALVADOR et al., 2021; WANG et al., 2018; ZHANG et al., 2021).

101 Diante disto, tem-se como hipótese que os cultivos de culturas agrícolas adaptadas a
102 ambientes semiáridos, aliada ao uso de práticas de manejos são capazes de diminuir os efeitos

103 do clima, propiciando cultivos sustentáveis e economicamente viáveis. Logo, objetiva-se com
 104 esta revisão relatar as principais práticas de cultivo e suas aplicabilidades nos sistemas de
 105 cultivo, buscando garantir maior eficiência e desempenho produtivo.

106

107 2. Características do semiárido brasileiro

108 As terras com climas áridos e semiáridos ao longo do mundo recobrem cerca de 55%,
 109 em que, os países da América Latina e Caribe, como Brasil, Chile, Argentina e México,
 110 comportando cerca de 313 milhões de hectares (Hussain et al., 2018). Especificamente no
 111 Brasil, a amplitude territorial em condição de semiaridez é de ~1.007.000 milhões de km²,
 112 agregando-se 1.189 municípios pertencentes a estados como a Bahia, Ceará, Alagoas, Minas
 113 Gerais, Pernambuco, Paraíba, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, o que institui o semiárido
 114 mais povoado do globo (~27 milhões de habitantes) (Fig. 1) (Medeiros et al., 2020; Pinheiro et
 115 al., 2021; Santos and Farias, 2017; Silva et al., 2020).

116

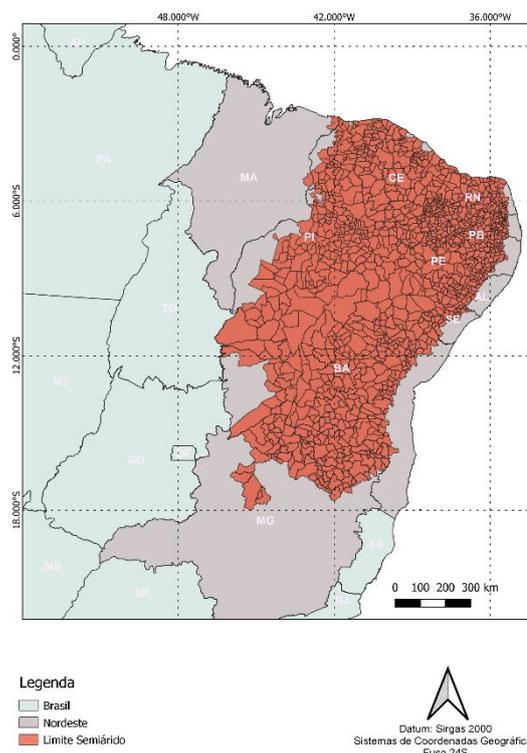


Fig. 1. Delimitação semiárido brasileiro. Fonte: autor

117

118 Neste ambiente há presença de uma vegetação nativa, constituída na grande maioria de
 119 plantas xerófilas predominantes na caatinga, que ao longo do processo evolutivo
 120 desenvolveram modificações em sua morfologia e fisiologia, com o intuito de persistir e

121 facilitar sua adaptação a condições de estresses abióticos (Ferreira et al., 2020; Marques et al.,
122 2020; Queiroz et al., 2020).

123 Apesar das espécies conterem adaptação devido suas modificações, ainda assim, estão
124 designadas a cenários de adversidades, como a temperatura do ar elevada e baixa umidade
125 relativa; chuvas com distribuição inconstante no espaço e (~ 300 a 800 mm ano^{-1}),
126 evapotranspiração potencial alta (1.800 a $2.000 \text{ mm ano}^{-1}$) o que gera um balanço hídrico
127 negativo; solos com concentração de sais elevados e baixa fertilidade (Alvares et al., 2013;
128 Marengo et al., 2016; Paredes-Trejo et al., 2017; Santos et al., 2020).

129 No entanto, além da fragilidade climática a realização de práticas agrícolas errôneas por
130 parte dos produtores pode desencadear sérios riscos ao ecossistema (Caatinga). Manejos como
131 queima do material morto para inserção de um novo plantio, promove redução significativa na
132 serrapilheira, com isso, diminuindo o fornecimento de material (alimento) para proliferação de
133 microrganismos benéficos, assim como contribui para redução da fertilidade do solo e,
134 pensando-se em futuro distante a ocorrência de erosão e processos de desertificação nas áreas,
135 logo, deve-se implementar alternativas sustentáveis nos cultivos para mitigar estes danos sobre
136 o meio ambiente e aumentar a produtividade (Costa et al., 2021; Medeiros et al., 2020; Queiroz
137 et al., 2020).

138

139 **3. Intensificação sustentável da agricultura**

140 O efetivo populacional tem aumentado ao longo dos anos, com isso, estima-se que até
141 2050 atinja 10 bilhões de pessoas, elevando a demanda mundial por alimentos em até 70%,
142 tornando-se importante a utilização de estratégias que aumentem a eficiência produtiva das
143 áreas agricultáveis (Hunt et al., 2019; Schut et al., 2016).

144 Partindo-se desse pressuposto, a intensificação sustentável dos sistemas agrícolas,
145 principalmente nos países em desenvolvimento é considerada essencial para atender a essa
146 crescente demanda global por alimentos (Mouratiadou et al., 2021). Especialmente em regiões
147 onde a pressão sobre terras agrícolas é alta e, a fertilidade e a produtividade do solo são baixas,
148 com esta prática pode-se obter uma maior segurabilidade alimentar e, assim, garantir o
149 desenvolvimento socioeconômico (Scherer et al., 2018; Schut et al., 2016).

150 A intensificação da agricultura sustentável busca aumentar o rendimento de áreas já
151 existentes, no entanto, para obtenção desta melhoria deve-se realizar: (a) inovação de
152 produtividade, como a utilização de variedades mais resistentes e produtivas, utilização de
153 adubação e/ou emprego de novos métodos de cultivos; (b) inovação em gestão de recursos
154 naturais como o reflorestamento de áreas degradadas e controle dos processos erosivos; e, (c)

155 inovação institucional com a utilização de políticas que auxiliem os produtores
156 (financiamentos), bem como parcerias com empresas para aquisição de insumos e distribuição
157 de mercadoria (Jayne et al., 2019; Schut et al., 2016).

158 Todavia, para uma maior eficiência destes eventos, necessita-se de uma integralização
159 em conjunto para melhor aproveitamento dos recursos agroecológicos, humanos e financeiros
160 disponíveis em diferentes níveis de sistemas em um contexto específico (Clay and Zimmerer,
161 2020).

162

163 **4. Práticas resilientes para potencializar a produção de vegetal**

164 *4.1 Espécies adaptadas*

165 *4.1.1 Palma forrageira*

166 O cultivo de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) para fins de alimentação
167 animal tem como origem no México e, mais tarde expandiu-se pelos demais países do
168 continente americano (Dubeux Júnior et al., 2021). Posteriormente, esta cactácea foi inserida
169 na Ásia, África, Europa e Oceania, onde adequou-se a diferentes condições climáticas, no
170 entanto, dois principais gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*) foram os mais utilizados como fonte de
171 alimento para os rebanho do Brasil, principalmente em áreas com predominância de clima
172 semiárido (Araújo Júnior et al., 2021c; Souza et al., 2019).

173 A capacidade destes gêneros de palma forrageira em se adaptar a ambientes deficitários
174 e estressantes, atrela-se as modificações morfofisiológicas, especialmente, ao seu metabolismo
175 ácido das crassuláceas (MAC) (Jardim et al., 2021). Esta peculiaridade possibilita a abertura
176 estomática para captação do CO₂ durante a noite, com o auxílio da fosfoenolpiruvato
177 carboxilase (PEPC), com isso, reduzindo as perdas de água em excesso por transpiração e
178 manutenção da turgidez celular (Garcia et al., 2014; Taiz et al., 2017).

179 Além dos processos bioquímicos utilizados para captação do CO₂, a palma apresenta
180 em seus cladódios organizações estruturais que são capazes de diminuir as percas de água para
181 atmosfera, como a cutícula espessa e cerosa, vacúolos volumosos, estômatos reduzidos e com
182 aberturas limitadas. O seu sistema radicular apresenta quatro tipos de raízes (i.e., raízes
183 absorventes, estruturais, esporão e aréolas) que são de grande relevância para a extração dos
184 recursos hídricos disponíveis, mesmo em baixa disponibilidade (Dubeux Júnior et al., 2015).

185 Essas características morfofisiológicas e bioquímicas viabilizam uma maior captação e
186 aproveitamento da água e nutrientes, sendo capaz de persistir em regiões cuja precipitação
187 pluvial fique em torno de 150 mm ano⁻¹ (Dubeux Júnior et al., 2021; Queiroz et al., 2015).
188 Plantas com metabolismo do tipo MAC apresentam uma eficiência de 3 a 10 vezes maior na

189 utilização da água para produzir um quilo de matéria seca, quando comparada a plantas do
190 grupo C4 e C3, respectivamente (Dubeux Júnior et al., 2015).

191 No entanto, embora a palma persista a estas defasagens ambientais e seja conduzida na
192 maioria das propriedades em condições de sequeiro, a mesma é capaz de demonstrar
193 rendimentos satisfatórios em regiões onde as precipitações pluviais médias anuais fiquem na
194 faixa de 368 a 812 mm ano⁻¹ (Bezerra et al., 2015; Pereira et al., 2015). Em regiões onde o
195 regime hídrico for inferior, recomenda-se a utilização da irrigação complementar, com intuito
196 de realizar uma melhor distribuição da água ao longo do ciclo da cultura e intensificar a
197 produção de forragem (Araújo Júnior et al., 2021b; Yan et al., 2020).

198 Diante da importância dessa cactácea, estima-se que as áreas cultivadas com palma
199 forrageira no Brasil fiquem em torno de 600 mil hectares, com maior parte destes cultivos
200 concentrados na região Nordeste do país (Cavalcante et al., 2014). O aumento de áreas
201 cultivadas e produtividade desta cultura é advindo de pesquisas com novos cultivares de palma,
202 tendo em vista a grande perda de palmais durante a infestação da cochonilha-do-carmim
203 (*Dactylopius opuntiae*), que resultou em três principais clones de palma hoje utilizados: a
204 cultivar Orelha de Elefante Mexicana [*O. stricta* (Haw.) Haw.]; Miúda e IPA-Sertânia, ambas
205 da espécie *N. cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Araújo Júnior et al., 2021a; Bezerra et al., 2015;
206 Souza et al., 2019).

207 Perante a expansão desta cactácea e importância dos cultivares resistentes à cochonilha
208 para o setor agropecuário local, a palma forrageira é uma fonte alimentar de grande relevância
209 para a nutrição de ruminantes do semiárido, uma vez que os cladódios podem conter até 90%
210 de umidade (água coloidal) de peso *in natura*. Além do aporte hídrico, os cladódios contêm
211 vitaminas, carboidratos e minerais, como também, apresentam alta aceitação, taxa de passagem
212 e digestibilidade (Abreu et al., 2019). Como resultado dos atributos bromatológicos citados
213 desta cactácea, observa-se um favorecimento no desenvolvimento dos microrganismos
214 presentes no rúmen, possibilitando maior síntese de proteína microbiana e desempenho
215 fermentativo (Cardoso et al., 2019; Lopes et al., 2019; Pessoa et al., 2020).

216 Embora a palma apresente enormes benefícios, deve-se atentar ao seu fornecimento
217 quando exclusivamente para o animal, uma vez que, pode acarretar em distúrbios metabólicos
218 (i.e. timpanismo gasoso ou espumoso e acidose), além de diarreia e diminuição no percentual
219 de gordura do leite, decorrente do baixo teor de fibra efetiva da palma (Aguiar et al., 2015;
220 Pessoa et al., 2020).

221 Desse modo, deve-se buscar a inserção de culturas que acrescentem maiores teores de
222 fibra e proteína na dieta, assim, a utilização de sistemas de cultivos consorciados tem potencial

223 para suprir essa demanda, além de propiciar um maior aproveitamento das áreas cultivadas,
224 maior ação microbiológica do solo, aumento no aporte e diversidade de forragem,
225 proporcionando dietas mais completas e reduzindo o acometimento de problemas metabólicos
226 (Araújo Júnior et al., 2021b; Cardoso et al., 2019; Diniz et al., 2017). Com o manejo citado
227 anteriormente, pode-se obter uma maior colonização dos microrganismos ruminais,
228 sucessivamente uma melhor absorção dos nutrientes compostos na dieta, maior ingestão de
229 fibras e, conversão alimentar mais eficiente, e por consequência, maiores produtividades na
230 atividade pecuária (Abreu et al., 2019; Aguiar et al., 2015).

231

232 4.1.2 Sorgo forrageiro

233 A cultura do sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é considerada uma
234 monocotiledônea cuja família é Poaceae e subfamília Panicoideae (Jardim et al., 2020a), o seu
235 metabolismo fotossintético é do tipo C4, o que viabiliza a concentração do CO₂ na bainha do
236 feixe vascular (Wang et al., 2021). O *S. bicolor* tem sua originalidade ligada a África,
237 conseguindo persistir a clima semiárido em decorrência as suas características xerófilas
238 (Kirchner et al., 2019; Lima et al., 2018).

239 Devido a sua adaptabilidade o sorgo é cultivado em diferentes países e condições
240 ambientais, com isso, foi se observando ao longo do tempo a sua inclusão e retirada progressiva
241 do milho, resultado da exigência hídrica menor, raiz profunda e bem desenvolvida, permite
242 rebrotas, tolera o déficit hídrico, salinidade e solos ácidos (Lima et al., 2018; Teetor et al.,
243 2017). Com isso, considerando-a o quinto cereal mais produzido no mundo, onde é menor do
244 que o trigo, milho, arroz e cevada (Abd El-Mageed et al., 2018).

245 Os grãos do sorgo são muito utilizados na alimentação humana na África, assim como
246 fonte de matéria prima para produção de combustíveis. Mas, a inserção desta gramínea na
247 alimentação animal tem crescido a cada dia, podendo-se ofertar para ruminantes e não
248 ruminantes (parte aérea e grãos), além de ser altamente produtivo a sua forragem é de alta
249 qualidade nutricional, tornado o cultivo mais sustentável e assegurando a fonte alimentar para
250 os rebanhos em ambientes deficitários (Elias et al., 2016; Jardim et al., 2020a; Zhao et al.,
251 2020).

252 Tratando-se do sorgo como planta forrageira, a mesma apresenta versatilidades quanto
253 as formas de oferta para os rebanhos, a alimentação dos animais pode ser no cocho com o
254 material *in natura*, feno, silagem, grãos ou pastejo, independentemente da forma de acesso é
255 observado alta aceitabilidade, qualidade e digestibilidade (Inácio et al., 2018; Singh et al.,
256 2017). Além destas peculiaridades, esta gramínea possui alta capacidade de produzir sucessivas

257 rebrotas e permitir mais ciclos durante o ano e, com isso, aumenta-se o aporte de forragem e
258 minimizam os efeitos da sazonalidade na produção de alimentos para os rebanhos e, por
259 consequência, aumenta a eficiência e desempenho animal, mesmo durante os períodos de
260 estiagem (Alves et al., 2020; Elias et al., 2016).

261 262 4.1.3 Milheto

263 O milheto [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] é uma planta forrageira de alta capacidade
264 produtiva, sendo atualmente o sexto cereal mais produzido no mundo, logo após o trigo, arroz,
265 milho, sorgo e cevada, distribuindo-se amplamente em regiões áridas e semiáridas da África
266 (centro de origem) e Índia, onde é utilizado na alimentação humana e animal, apresentando
267 altos teores de carboidratos, minerais, vitaminas e um excelente teor proteico (Dias-Martins et
268 al., 2018; Salvador et al., 2021).

269 A ampla adaptação desta cultura a ambientes com limitações hídricas se dá
270 principalmente pela presença do metabolismo fotossintético C4 e estruturas morfofisiológicas
271 presentes na planta, como área foliar reduzida, fechamento estomático, existência de cera na
272 superfície da folha e ajuste osmótico, sendo esta capaz de resistir em regiões com precipitações
273 pluviais médias de 150 mm ano⁻¹. Todavia, ambientes com precipitações pluviais de 400 e 600
274 mm ano⁻¹, possibilitam um desenvolvimento excelente da cultura, sendo esta vantajosa se
275 comparada ao milho, pois requer quantidades de água menores (Bhattarai et al., 2020; Silva et
276 al., 2020).

277 Além disso, o milheto é pouco exigente em fertilidade do solo, tolera altas temperaturas
278 e apresenta mecanismos de rusticidade, crescimento rápido, raízes bem desenvolvidas, alta
279 capacidade de extração de nutrientes e apresenta um ciclo de produção curto (~75 a 120 dias),
280 dependendo das condições edafoclimáticas e cultivares utilizadas e, ainda possui a capacidade
281 de rebrotar (Simão et al., 2015; Souza et al., 2019).

282 No Brasil relata-se que esta gramínea chegou em 1929 porém, seu cultivo só foi
283 intensificado nas décadas de 60 e 70 (Dias-Martins et al., 2018). Atualmente, sua finalidade
284 principal é na alimentação animal, sendo a parte aérea ofertada *in natura*, ou na forma de
285 silagem, feno e/ou pastejo direto (para animais ruminantes), já quanto aos grãos estes são
286 utilizados como matéria prima em formulação de dietas balanceadas para diferentes espécies
287 (i.e., suínos, aves, peixes, codornas, bovinos, ovinos e caprinos); além de apresentar alta
288 qualidade, o custo de produção dos grãos é considerado baixo quando comparado com outras
289 gramíneas tradicionais (Li et al., 2019; Souza et al., 2019).

290 O milheto se configura como uma gramínea forrageira de baixo custo de produção e
291 proporciona uma dieta de alta qualidade, contudo, também pode ser empregado em plantios
292 diretos, pois produz grandes quantidades de biomassa (i.e., 70 Mg ha⁻¹ de massa verde e até 20
293 Mg ha⁻¹ de massa seca – MS) (Melo et al., 2015; Rocha et al., 2017), permitindo manter a
294 cobertura vegetal sobre o solo, possibilitando uma melhoria nas propriedades físicas e químicas
295 do solo (Silva et al., 2020).

296 Quando a destinação do milheto for para silagem é necessário atenção ao momento ideal
297 de corte, pois esse fator irá influenciar no produto final (Li et al., 2019). Cortes realizados de
298 forma tardia, aumenta a relação colmo/folha, reduzindo os teores de carboidratos, vitaminas,
299 minerais e, elevando a fração fibrosa, acarretando em baixa digestibilidade da silagem e
300 consequente desempenho animal (Dias-Martins et al., 2018).

301

302 4.1.4 Capim elefante/BRS-capiaçú

303 O capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma gramínea (Poaceae) com
304 metabolismo fotossintético C₄, com crescimento rápido e do tipo cespitoso, com alta
305 capacidade produtiva e consegue adaptar-se aceitavelmente a climas e solos do Brasil (Amaral
306 et al., 2020; Dos-Santos et al., 2021).

307 O *P. purpureum* é muito utilizado pra alimentação dos rebanho em forma *in natura*,
308 todavia, foram realizados novos estudos e obteve-se uma nova cultivar, o BRS Capiaçú (Pereira
309 et al., 2016), que apresenta floração tardia, porte alto, lâminas foliares largas, bainha amarelada,
310 caule com diâmetro espesso e entrenós longos e, além disso, não contém pelos e alta densidade
311 de perfilhos (Pereira et al., 2017). A propagação via colmo (i.e., vegetativa) é a mais
312 recomendada. O plantio deve ser sempre no início do período chuvoso, e em solos de alta
313 fertilidade, profundos e bem drenados (Figueira et al., 2016).

314 Esta cultivar é capaz de alcançar uma produtividade média de 100 toneladas ha⁻¹ por
315 corte de biomassa verde, e quando possível três cortes os rendimentos chegam até 300 e 78 Mg
316 ha⁻¹ ano⁻¹, de MV e MS, respectivamente. Esta cultivar foi desenvolvida principalmente para a
317 produção de silagem, entretanto, o ponto certo para o processo de ensilagem é quando atinge-
318 se a altura de 3,5 a 4,0 metros, ou de 90 a 110 dias após o corte (rebrotar), associado a um teor
319 de matéria seca de 16,5 a 19,7%, com isso, proporcionado um produto de alto valor nutricional
320 (Paula et al., 2020; Pereira et al., 2016).

321

322 4.1.5 Milho

323 O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais fontes de alimentos para alimentação animal
324 e humana de todo globo, esta cultura alcançou uma produção mundial anual de cerca de 1148
325 milhões de toneladas na safra de 2018 (Jia et al., 2020; Wang et al., 2021). No entanto é uma
326 cultura que exige condições climáticas e de cultivo favoráveis para o seu crescimento,
327 desenvolvimento e produtividade (Li et al., 2021).

328 A inclusão dessas gramíneas em regiões semiáridas ainda é um grande desafio, uma vez
329 que as condições climáticas são extremas (Tiammee and Likasiri, 2020) e o estresse hídrico na
330 maior parte do ano é o principal limitante para a produção de forragem, assim, é importante a
331 busca de cultivares com ciclos mais curtos e que possam persistir as condições impostas (Shu
332 Wang et al., 2021). Uma vez que esta gramínea exige uma grande quantidade de água e
333 apresenta sensibilidade ao estresse hídrico especialmente durante o crescimento inicial entre a
334 1º e 2º semanas antes e após a floração (Jin et al., 2010). Todavia, o milho pode ser cultivado
335 e manejado com a suplementação hídrica por meio da irrigação, com isso permitindo o cultivo
336 durante os meses de restrição hídrica e contribuindo para o aumento do aporte de forragem
337 (Thapa et al., 2018)

338 339 4.1.6 Capins para pastagens (*braquiária e buffel*)

340 O *Brachiaria decumbens* Stapf, atualmente classificado como *Urochloa decumbens*
341 (Stapf) R. D. Webster teve origem da África Oriental, sendo introduzida posteriormente em
342 muitos países tropicais e subtropicais, incluindo Austrália, Vanuatu, América do Sul, Indonésia
343 e também na Malásia (Muniandy et al., 2020).

344 O Brasil contém em torno de 25 milhões de hectares cultivadas com *B. decumbens*,
345 considerada a forrageira mais importante no Centro-Oeste, Sudeste e Norte do Brasil (Moreira
346 et al., 2018; Riet-Correa et al., 2010; Silva et al., 2012). No país, a pecuária é explorada em
347 grande parte, sob forma extensiva com utilização de monocultivo de gramíneas, destacando-se
348 os gêneros *Brachiaria* e *Panicum* (Santos et al., 2011).

349 A *B. decumbens* é uma gramínea perene de baixo crescimento, com folhas eretas em
350 forma de espada, podendo ser dispersada vegetativamente, por rizomas e estolões, bem como
351 por meio da produção de sementes. Além disso, exibe tolerância à baixa fertilidade do
352 solo, resistência à seca e baixa susceptibilidade de infestação de pragas e doenças (Rosa et al.,
353 2016)

354 Para a produção animal, as espécies de *Brachiaria* têm sido amplamente implementadas
355 como forragens de qualidade, contribuindo para um maior desempenho animal, devido a

356 boa digestibilidade da matéria seca (35,6%) e teor de proteína bruta (8,3%) (Low, 2015). O
357 rendimento médio de matéria seca (MS) de *B. decumbens* é de 25,5 Mg de MS ha⁻¹ ano⁻¹
358 (Muniandy et al., 2020).

359 Outra alternativa é o capim buffel (*Cenchrus ciliaries* L.), gramínea forrageira, que
360 pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae e gênero *Cenchrus*. É uma cultura originária
361 da África, Índia e Indonésia (Marshall et al., 2012). No Brasil, difundiu-se principalmente em
362 regiões semiáridas, devido suas características estruturais e fisiológicas de tolerância a
363 condições adversas, como a seca, e também a sua elevada eficiência de uso dá água e capacidade
364 produtiva (Tommasino et al., 2018).

365 O *C. ciliaries* é uma espécie perene, de porte variando de 0,6 a 1,5 m de altura, a depender
366 da variedade, possui um enraizamento profundo e base do colmo avolumada, onde são
367 armazenadas as reservas de carboidratos para os períodos de restrição hídrica (Coutinho et al.,
368 2015). O capim buffel também apresenta grande capacidade de rebrota, bom valor nutritivo e
369 alta digestibilidade de matéria seca e da proteína bruta quando ofertado manejos como irrigação
370 e adubação (Mganga et al., 2021).

371 372 4.1.7 Feijão-guandu

373 A cultura do feijão-guandu [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] é da família Fabaceae, cujo
374 ciclo é anual ou semiperene de porte semi-arbustivo (Araújo; Moreira; Guedes, 2019). Esta
375 leguminosa apresenta metabolismo C3 (i.e., via com três moléculas de carbono na fotossíntese),
376 sendo de grande importância para países tropicais e subtropicais, principalmente no continente
377 africano e asiático. O ciclo fenológico desta espécie apresenta uma variação de 80 a 180 dias,
378 para as cultivares anãs (baixo porte de crescimento e estrutural) e convencionais (denominadas
379 de porte normal), respectivamente (Pinheiro et al., 2013).

380 O feijão-guandu é muito utilizado como adubação verde, com o intuito de fornecer
381 matéria orgânica e nitrogênio para o solo. Esta leguminosa apresenta sistema radicular profundo
382 e ramificado, o que possibilita a restauração química dos solos degradados, a partir da fixação
383 biológica de nitrogênio e solubilização do fósforo ligado ao solo, além de permitir a
384 sobrevivência da cultura em regiões com baixa disponibilidade hídrica (Araújo; Moreira;
385 Guedes, 2019; Sewsaran et al., 2019).

386 Diante das características desta espécie, o *C. cajan* enquadra-se como a quarta
387 leguminosa de maior importância no mundo, superando apenas pelo feijão comum (*Phaseolus*
388 *vulgaris* L.), ervilha (*Pisum sativum* L.) e grão de bico (*Cicer arietinum* L.), esse destaque
389 atrela-se a capacidade de disponibilizar uma dieta com alta qualidade e teor de proteína para

390 alimentação humana e, atualmente na alimentação animal (Buch et al., 2020; Pande et al.,
391 2011).

392 A partir dos benefícios e caracteres do feijão-guandu, o mesmo é uma importante
393 alternativa para a produção de forragem, com uma produtividade em torno de 20 a 40 Mg de
394 MV durante seu ciclo em condições de sequeiro (Araújo; Moreira; Guedes, 2019). A forragem
395 proveniente desta leguminosa, é composta por alto valor nutritivo, com isso, disponibilizando
396 um alimento com excelente fonte de energia e proteína para os ruminantes da região semiárida
397 (Choudhary et al., 2013; Khoury et al., 2015).

398 399 4.1.8 Alfafa

400 A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma leguminosa de ciclo perene amplamente cultivada
401 pelo mundo (~30 milhões de hectare), com alto potencial forrageiro e alta qualidade nutricional,
402 além de conter boa adaptabilidade a várias condições ambientais e permitir ciclos sucessivos
403 durante o ano e corroborando para o aumento de alimento para os rebanhos (Bhattarai et al.,
404 2021; Fu et al., 2021; Santana et al., 2019).

405 O desenvolvimento desta leguminosa atrela-se ao seu sistema radicular pivotante e bem
406 desenvolvido, alcançando uma profundidade de 3 a 5 m e possibilitando a abertura de espaços
407 e canais no solo, que estimulam a infiltração de água e melhoram o ciclo de nutrientes, além do
408 acesso a fontes hídricas em camadas mais subsuperficiais do solo, e também é capaz de realizar
409 fixação de nitrogênio (FBN) em associação com bactérias do gênero *Rhizobium* (Liu et al.,
410 2021; Linlin Wang et al., 2021).

411 O estudo realizado por Wang et al. (2021a) durante 15 anos de cultivo, em uma região
412 semiárida da China sob condição de sequeiro, cuja precipitação média durante o período
413 avaliado foi de 391 mm, os mesmos obtiveram rendimentos de 0,7 a 11,2 Mg de MS ha⁻¹.

414 415 4.1.9 Moringa

416 Com origens na Índia e no Paquistão, a moringa (*Moringa oleifera* Lam.) (Shahzad et
417 al., 2013) vem sendo utilizada desde os romanos, gregos e egípcios para extração de óleo
418 destinado a alimentação humana. (Fahey, 2005). Em geral conhece-se cerca de treze espécies
419 pertencentes ao gênero *Moringa*, contudo, a mais utilizada para alimentação animal é a *M.*
420 *oleifera* (Leone et al., 2015).

421 Atualmente, a moringa é cultivada em diversas partes do mundo, sendo comumente
422 encontrada em regiões tropicais e subtropicais, além de regiões áridas a semiáridas da Índia,
423 Paquistão, Afeganistão, Arabia Saudita e de países africanos. Já quanto aos países americanos,

424 seu cultivo ocorre em Cuba, Guatemala, Paraguai, Nicarágua, Venezuela, Brasil, Argentina e
425 Equador (Granella et al., 2021; Valdivié-Navarro et al., 2020).

426 As características intrínsecas da cultura como resistência a diferentes condições
427 climáticas e a tolerância a grandes amplitudes térmicas permite que seja possível seu cultivo
428 em diferentes regiões do planeta, sendo que as temperaturas do ar ideais são em torno de 19 a
429 35 °C, porém, são capazes de sobreviver a uma temperatura extrema de até 48 °C (Saini et al.,
430 2016). Esta leguminosa forrageira pode ser cultivada em locais com 500 a 2000 m de altitude,
431 suporta eventos de geada e se desenvolve bem em diferentes tipos de solos (Abdel-Raheem and
432 Hassan, 2021).

433 Dessa forma, pode-se utilizar a moringa para diversas finalidades, como a produção de
434 medicamentos, cosméticos, flora apícola, fonte de combustível e aporte forrageiro para os
435 rebanhos. As suas folhas são ricas em vitaminas, proteína, minerais, ácidos graxos, além disso,
436 contém saponinas, fitatos e taninos com baixa capacidade de fatores antinutricionais, com isso
437 os animais aproveitam da melhor forma o alimento fornecido (Rodrigues et al., 2016; Sultana,
438 2020).

439 Com relação as vantagens da moringa para alimentação dos rebanhos, o farelo da folha
440 de moringa pode conter de 27 a 30% de proteína bruta (PB) e, apresenta um baixo custo de
441 produção, ademais, o percentual médio de PB das folhas e caules são semelhantes aos valores
442 do farelo de alfafa (15 a 22%); demonstrando a qualidade bromatológica desta cultura, podendo
443 reduzir os custos com a obtenção de fontes proteicas (Abdel-Raheem and Hassan, 2021;
444 Valdivié-Navarro et al., 2020).

445 A inclusão de folhas de moringa associadas a casca de soja na dieta de bovinos
446 incrementou a população microbiana do rúmen com uma maior fermentação, quando
447 comparados com aqueles alimentados com milho e casca (Granella et al., 2021). Além disso,
448 os autores constataram que houve redução de gases propulsores do efeito estufa liberados pelos
449 ruminantes.

450

451 4.1.10 *Leucena*

452 A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) ou como é conhecida popularmente,
453 a leucena tem origem na América Central e México, contudo pode ser encontrada em diversas
454 regiões tropicais do globo. Apresentando porte arbustivo, rusticidade, raízes profundas e bem
455 desenvolvidas, esta leguminosa perene, possui grande tolerância ao déficit hídrico. Por
456 características particulares a leucena apresenta inúmeras possibilidades de uso e uma ampla

457 dispersão (Conrad et al., 2018; Harrison et al., 2015; Pereira Junior et al., 2013; Rodrigues-
458 Corrêa et al., 2019).

459 Adaptada a ambientes semiáridos e contendo raízes profundas e bem desenvolvidas,
460 esta leguminosa é implantada em áreas degradadas para processos de revitalização, já que
461 permite sua recuperação com o incremento de matéria orgânica, controle da erosão e incremento
462 de nitrogênio por meio da simbiose com bactérias principalmente do gênero *Rhizobium*
463 permitindo a fixação biológica de nitrogênio (FBN), também pode ser empregada para
464 adubação verde ou, ainda como fonte de renda com a venda de lenha e carvão (Chaokaur et al.,
465 2015; Pereira Junior et al., 2013).

466 Contudo, sua maior utilidade é como planta forrageira para alimentação dos rebanhos,
467 podendo possibilitar uma dieta rica em proteínas e, além disso, há a presença de outros
468 constituintes favoráveis na dieta de ruminantes como vitaminas e minerais, entretanto, nas suas
469 folhas há a presença de taninos condensados, sendo estes responsáveis pela redução da atividade
470 microbiológica como, e.g., *Archaea* metanogênicas do rúmen e, conseqüentemente, diminuindo
471 a produção do metano (CH₄) (Chaokaur et al., 2015; Kang et al., 2012). Esta leguminosa possui
472 uma aceitabilidade e sua produtividade varia de 1 a 50 Mg de MS ha⁻¹, com altos teores de
473 proteína bruta (~26%), possibilitando a ingestão de um alimento de alta qualidade (Fernández
474 et al., 2020; Schneider et al., 2013).

475 Como esta cultura é adaptada as condições edafoclimáticas presentes no semiárido, ela
476 se torna uma opção vantajosa como alternativa alimentar dos rebanhos, tendo em vista a
477 diminuição da oferta de forragem e do baixo valor bromatológico das plantas dessa região,
478 sobretudo, nos meses de escassez hídrica (Rodrigues-Corrêa et al., 2019; Piñeiro-Vázquez et
479 al., 2017; Chaokaur et al., 2015).

480 A leucena pode ser cultivada em consórcio com gramíneas, proporcionado aumento de
481 produtividade, além de contribuir com o sequestro de CO₂ atmosférico, possibilitando o
482 incremento e a manutenção do carbono orgânico no solo (Conrad et al., 2018; Soltan et al.,
483 2017; Srinivasarao et al., 2014).

484

485 4.1.11 *Gliricídia*

486 A gliricídia [*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud] é pertencente à família Fabaceae, com
487 centros de origem no México e na América Central. Apresentando porte arbóreo, podendo
488 chegar a 15 m de altura, dispõe de um crescimento inicial rápido e enraizamento profundo,
489 possibilitando resistência a longos períodos de estiagem (Neto et al., 2015).

490 Leguminosa com baixa exigência em fertilidade do solo, desenvolvendo-se bem em
491 climas quentes e grandes amplitudes térmicas, a gliricídia pode suportar temperaturas do ar de
492 14 a 41 °C (Edvan et al., 2016). Dispondo de uma multiplicidade de usos, a gliricídia pode ser
493 utilizada como cerca-viva, recuperação de áreas degradadas, já que apresenta alta eficiência na
494 fixação biológica de nitrogênio. Além disso, pode ser utilizada na alimentação de ruminantes,
495 proporcionando um alimento rico em proteínas e podendo suportar cortes sucessivos com até
496 três ciclos por ano, gerando uma forragem de alta qualidade mesmo em condições com grandes
497 irregularidades climáticas, caso do semiárido (Freire et al., 2012; Sá et al., 2021).

498 Com produtividades médias de 20 Mg de MV ha⁻¹ e 5 Mg de MS ha⁻¹, a gliricídia
499 possibilita cerca de três cortes por ano, alcançando rendimentos de 60 e 15 Mg ha⁻¹ de MV e
500 MS, respectivamente (Silva et al., 2020). Nas suas folhagens os teores médios de proteína bruta
501 são de 23,1% de MS, 24,1%, além de 38,8% de fibra em detergente neutro e 24,3% de fibra em
502 detergente ácido (Sá et al., 2021). Estes autores ainda enfatizam que o teor de PB desta
503 forrageira é alto, considerando que na dieta de ruminantes os valores mínimos são de 7%, sendo
504 assim ocorrerá um bom desempenho e atividade microbiana do rúmen.

505 Apesar da grande disponibilidade de nutrientes presentes nesta leguminosa, ocorre uma
506 baixa aceitabilidade pelos animais quando ofertada *in natura*, como consequência da liberação
507 de odores (compostos voláteis), sendo necessário dispor de manejos e técnicas como a
508 ensilagem e a fenação que diminuem estas substâncias indesejáveis aos animais (Sá et al.,
509 2021).

510 A inclusão de 15% de silagem de gliricídia na dieta de ovinos da raça Santa Inês em
511 confinamento possibilita além da redução dos custos de produção, um incremento nos valores
512 de peso corporal (Neto; Oliveira; Valen, 2015). Sendo possível a redução de até 30% nos custos
513 com a obtenção de concentrados e, ainda proporciona uma maior diversidade alimentar aos
514 animais.

515

516 4.1.12 Girassol

517 O girassol (*Helianthus annuus* L.) possui metabolismo C3, e caracteriza-se como uma
518 oleaginosa dicotiledônea, com origem da América do Norte, reino Plantae, filo Magnoliophyta,
519 classe Magnoliopsida, ordem Asterales, família Asteraceae e gênero *Helianthus*, que
520 atualmente tem se destacado e ganhando força no Brasil (Ebrahimian et al., 2019). As principais
521 finalidades do girassol no país são: fornecimento de forragem para a produção animal,
522 ornamentação, biocombustíveis e óleo comestível (Souza et al., 2015).

523 Esta oleaginosa contém um sistema radicular pivotante, profundo e bem desenvolvido,
524 possibilitando a reciclagem de nutrientes, é tolerante ao déficit hídrico (exigência hídrica de
525 500 a 700 mm ano⁻¹), mas a produtividade desta cultura é altamente dependente da água na
526 floração e estágios de enchimento de sementes. O girassol contém um ciclo curto (~90 a 130
527 dias), apresenta baixa susceptibilidade a infestação de pragas e doenças, resiste a temperaturas
528 do ar elevadas e baixas, cultivando-a em várias regiões com diferentes regimes climáticos, uma
529 vez que a mesma recebe pouca influência da latitude, altitude e fotoperíodo (Alves Filho et al.,
530 2016; P. de C. Pereira et al., 2017; Souza et al., 2015).

531 Devido a adaptação desta espécie, a mesma tornou-se uma alternativa alimentar para os
532 rebanhos do semiárido nordestino. Devido a sua composição bromatológica, é bastante incluída
533 na formulação de dietas para pequenos e grandes ruminantes, podendo ser ofertada *in natura*,
534 em forma de torta das sementes e silagem (Gai et al., 2020). Sendo que, independentemente da
535 forma ofertada aos animais, o girassol proporciona a ingestão de altos teores de gordura, energia
536 e proteína, além de ser uma fonte de renda para os produtores, com a venda de óleo de suas
537 sementes contém teor de 35 a 50% de óleo, que pode ser incluído na alimentação humana e
538 animal (Alves Filho et al., 2016).

539 Quando o girassol é bem manejado, pode produzir de 20 a 40 Mg de MV ha⁻¹ e de ~2 a
540 7 Mg de MS ha⁻¹. A silagem advinda do girassol, de acordo com Santos et al. (2011), contém
541 12% de proteína, sendo capaz de ultrapassar a cultura do milho (6,5 a 8,0%). Contribuindo para
542 um menor custo com a aquisição de fontes proteicas na propriedade.

543

544 4.2 Práticas de manejo agrícola

545 4.2.1 Consórcio entre culturas

546 O consórcio consiste na implantação de duas ou mais culturas na mesma área de cultivo,
547 sendo que o crescimento ocorre de forma simultânea e, quando manejado da forma correta pode
548 possibilitar um incremento de produção, além de um uso eficiente dos recursos e uma melhoria
549 ambiental (Dowling et al., 2021; Zegada-Lizarazu et al., 2021).

550 Esta técnica de cultivo contribui com o controle biológico de pragas e doenças, uma vez
551 que ocorre uma maior diversidade de espécies na área, ocasionando em grupos biológicos
552 diversos (Rosado et al., 2021). Além disso, promove uma redução na erosão dos solos e impede
553 o desenvolvimento de plantas daninhas, já que promove maior cobertura do solo, reduz as
554 perdas de água por evaporação e diversifica a microfauna.

555 O consórcio também proporciona uma otimização da mão de obra e a estabilidade
556 alimentar para os rebanhos, diversificando os alimentos da dieta, contribuindo com o

557 incremento de fontes de renda para as famílias, e também permite maior eficiência de utilização
558 da luz e fertilizantes (Dowling et al., 2021).

559 Para que o consórcio tenha sucesso é necessário atentar-se principalmente as espécies
560 utilizadas, uma vez que espécies de mesmas características iram dificultar o estabelecimento
561 do sistema e, além disso, espaçamentos de cultivos, épocas de semeadura, disponibilidade de
562 água, fertilidade do solo e manejo de adubação, alelopatia, competição interespecífica e adição
563 de cobertura morta sobre o solo (Diniz et al., 2017; Yin et al., 2020). Sendo os consórcios mais
564 comuns encontrados entre gramíneas e leguminosas como o milho e o feijão e outras de
565 interesse econômico (Yin et al., 2020).

566 Diniz et al. (2017) constataram um incremento produtivo por meio do índice de
567 produtividade do sistema de cerca de 1,65 Mg de MS ha⁻¹ no cultivo palma-sorgo em relação a
568 palma exclusiva em ambiente semiárido e sob lâminas de irrigação, contudo houve uma redução
569 da produtividade individual da palma, em razão da competição interespecífica entre as culturas
570 por recursos naturais (i.e., água, luz e nutrientes). Este consorcio é muito vantajoso na
571 alimentação animal, uma vez que a palma apresenta baixos teores de fibra, o que não ocorre
572 com o sorgo, sendo estas duas culturas consideradas completares.

573 Este tipo de consórcio é benéfico para regiões semiáridas, visto que a palma por ter o
574 metabolismo ácido das crassuláceas realiza seus processos fotossintéticos durante a noite,
575 enquanto o sorgo realiza seu processo fotossintético durante o dia, sendo assim, possibilita um
576 maior aproveitamento de água e, menores perdas de água para atmosfera, aumentando a
577 eficiência na utilização dos recursos hídricos disponíveis (Jardim et al., 2020b; Lima et al.,
578 2018).

579 580 4.2.2 Irrigação com água salobra

581 Na atualidade o mundo encontra-se em situação preocupante, pois as quantidades de
582 águas de boa qualidade estão cada vez mais escassas, sendo esta situação mais alarmante em
583 regiões com climas áridos e semiáridos, onde há variações temporais e espaciais nas
584 precipitações pluviais, colaborando para enormes danos socioeconômicos nestas regiões
585 (Mbarki et al., 2018; Pereira et al., 2015; Queiroz et al., 2016).

586 Contudo, diversos fatores podem contribuir com limitação da disponibilidade de água,
587 visto que, a associação de temperaturas elevadas, baixa umidade relativa do ar,
588 evapotranspiração elevada e variabilidade das chuvas, provocam grandes mudanças nos
589 padrões climáticos, em razão do efluxo de gases responsáveis pela elevação do efeito estufa,
590 assim como o crescimento desordenado da população, ocasionando em maior procura por

591 alimentos e, para atender a alta demanda é necessário produzir mais alimentos (Wang et al.,
592 2020; Yang et al., 2020).

593 Com este recurso sendo cada vez mais limitado, torna-se necessário um melhor
594 aproveitamento da água aplicada na agricultura, com isso deve-se irrigar baseados na real
595 necessidade da cultura e também considerar os fatores ambientais, buscando garantir a
596 segurabilidade da produção agropecuária, visto que o regime hídrico local pode variar e ser
597 intensificado pelas mudanças ambientais, gerando limitação hídrica para as forragens na maior
598 parte do ano (Sarker et al., 2020; Wang et al., 2018).

599 Nas regiões semiáridas a grande maioria das águas utilizadas, quer seja na irrigação de
600 cultivos agrícolas ou para o abastecimento humano são provenientes de poços subterrâneos,
601 estes por sua vez possuem altas concentrações de sais (i.e., cálcio, magnésio, sódio, cloro e
602 bicarbonato de sódio) (Gheyi et al., 2010; Yan et al., 2020; Yavuz et al., 2020). A irrigação com
603 água de qualidade inferior torna-se uma tendência atual e futura, logo, deve-se manejar de forma
604 correta, evitando efeitos prejudiciais ao sistema (Sousa et al., 2021).

605 A técnica da irrigação é uma ferramenta de grande importância para locais com
606 limitações de água, porém, seu uso deve obedecer alguns critérios como utilizar sistemas que
607 usem a água da melhor forma possível e com alta eficiência, evitando sistemas de baixa
608 efetividade (Mostafa et al., 2018).

609 O sistema de gotejamento é considerado o mais eficiente (>90%) e, além disso,
610 economiza cerca de 65% da água, já que sua distribuição ocorre junto ao sistema radicular da
611 planta, evitando perdas por deriva como o caso do sistema por aspersão. Além de, maior
612 uniformidade de aplicação, diminuição do escoamento superficial, permitindo maiores
613 quantidades de água próximo aos sistema radicular e menor custo com energia elétrica (Yan et
614 al., 2020).

615

616 4.2.3 Cobertura morta

617 A cobertura é uma prática que visa a diminuição da perda de água para a atmosfera e a
618 melhoria da eficiência dos sistemas de cultivo, principalmente em regiões áridas e semiáridas,
619 onde ocorre demandas evapotranspirativas altas e grandes oscilações nas precipitações pluviais,
620 sendo esta técnica realizada por meio da deposição de materiais orgânicos ou inorgânicos
621 (Alves et al., 2018; Quintanilla-Tornel et al., 2016; Zhang et al., 2021).

622 Além de diminuir as perdas de água, a cobertura também propicia benefícios como a
623 proteção do solo, diminuição na infestação de pragas e doenças devido a maior chance de

624 ocorrência de inimigos naturais, redução de plantas daninhas e incremento na produtividade da
625 cultura (Abd El-Mageed et al., 2018; Souza et al., 2019).

626 É necessário atenção quanto ao material vegetal a ser utilizado, visto que, materiais
627 como leguminosas tem uma propensão a se degradar com maior rapidez devido a menor relação
628 C:N, em comparação ao uso de gramíneas, cuja relação de C:N é maior, conseqüentemente o
629 material será de maior durabilidade, proporcionando maior proteção ao solo (G. I. N. da Silva
630 et al., 2020; Souza et al., 2019).

631 Wang et al. (2020) aplicando três lâminas de irrigação através de um sistema de gotejo
632 no trigo, constataram que a aplicação de cobertura promoveu uma diminuição de 9 a 11% na
633 necessidade total de água aplicada comprando-se aos tratamentos com ausência de cobertura
634 morta.

635 Ding et al. (2021) investigaram quatro tipos de preparação do solo, sendo eles cultivo
636 tradicional (CT) e plantio direto (PD) com e sem palhada, com 4,5 Mg ha⁻¹ de restos de milho
637 como cobertura. Sendo assim, foi possível constatar um aumento de 6,4% e 13,3% para o PD e
638 PD com cobertura (PD+C) em relação ao CT. Além disso, observaram incremento no
639 rendimento médio anual do milho de 25,6% e 27,8% sob PD e PD+C, respectivamente, durante
640 duas safras.

641

642 *4.2.4 Integração lavoura-pecuária*

643 Sabe-se que muitos países, incluindo o Brasil, utilizam das suas terras para a formação
644 da agricultura e pecuária, que muitas vezes causa degradação da vegetação nativa e qualidade
645 do solo, resultando em perda de produtividade, diminuição da resiliência, aumento dos custos
646 e emissões de gases de efeito estufa (Portilho et al., 2018).

647 Tendo em vista os efeitos da degradação destas áreas, a inserção da pecuária em terras
648 agrícolas foi proposta como uma estratégia para intensificar ecologicamente os sistemas de
649 produção de alimentos, fibras e combustíveis, bem como a redução destes malefícios para os
650 ecossistemas (Brewer and Gaudin, 2020).

651 Com isso, a integração lavoura-pecuária (ILP) caracteriza-se pela inclusão de animais
652 em áreas destinadas a produção agrícola. Este sistema é bastante utilizado por agricultores em
653 diversas partes do mundo, contribuindo com cerca da metade da produção mundial de alimentos
654 (Brewer and Gaudin, 2020).

655 A utilização da ILP pode promover interações ecológicas no espaço e no tempo entre os
656 componentes do sistema (i.e., solo, planta e animais), e permitem que os agricultores limitem o
657 uso de insumos por meio do desenvolvimento de (i) fertilização orgânica a partir de resíduos

658 de gado e, (ii) rotações diversificadas entre lavouras e pastagens para alimentar os
659 animais. Quando bem adequada às condições locais, este sistema melhora a ciclagem de
660 nitrogênio e carbono. Também pode gerar maior eficiência econômica ao reduzir custos e riscos
661 de produção, no que diz respeito às flutuações de mercado (Asai et al., 2018).

662 Outros benefícios dos sistemas ILP são a melhoria na estrutura do solo, controle de
663 plantas invasoras e pragas, fertilidade do solo e maior eficiente na utilização dos recursos
664 naturais, bem como um aumento na produtividade (Sekaran et al., 2021a).

665 Partindo das melhorias que o ILP pode proporcionar ao ecossistema, segundo o estudo
666 conduzido Sekaran et al. (2021) a integração lavoura-pecuária aumenta a produtividade de
667 grãos da cultura do milho em 11,5 Mg ha⁻¹, quando comparado com o milho contínuo (10,8 Mg
668 ha⁻¹).

669

670 **5. Considerações finais**

671 A presente revisão retrata os principais manejos resilientes para alavancar a
672 produtividade da palma e outras plantas forrageiras, em ambiente semiárido. Observa-se que a
673 consorciação de espécies adaptadas, inclusão de cobertura morta, irrigação e demais manejos,
674 podem promover modificações nos padrões morfofisiológicos das espécies, mas possibilitam
675 maior eficiência na utilização dos recursos naturais das áreas cultivadas, e aumentando a
676 capacidade produtiva dos sistemas. Porém, vale ressaltar que ainda são necessários mais
677 estudos com diferentes combinações e densidades de cultivo, e observar a inter-relação nos
678 sistemas.

679

680 **6. Referências**

681 Abd El-Mageed, T.A., El-Samnoudi, I.M., Ibrahim, A.E.A.M., Abd El Tawwab, A.R., 2018.

682 Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use
683 efficiency in sorghum (bicolor L. Moench) under low moisture regime. *Agric. Water*
684 *Manag.* 208, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>

685 Abdel-Raheem, S.M., Hassan, E.H., 2021. Effects of dietary inclusion of *Moringa oleifera* leaf
686 meal on nutrient digestibility, rumen fermentation, ruminal enzyme activities and growth
687 performance of buffalo calves. *Saudi J. Biol. Sci.* 28, 4430–4436.
688 <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.04.037>

689 Abreu, K.S.F., Vêras, A.S.C., Andrade Ferreira, M., Madruga, M.S., Maciel, M.I.S., Félix,
690 S.C.R., Melo Vasco, A.C.C., Urbano, S.A., 2019. Quality of meat from sheep fed diets
691 containing spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). *Meat Sci.* 148, 229–235.

- 692 <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.036>
- 693 Aguiar, M.D.S.M.A., Siva, F.F., Donato, S.L.R., Rodrigues, E.S.O., Costa, L.T., Mateus, R.G.,
694 Souza, D.R., Da Silva, V.L., 2015. Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras
695 confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. *Semin. Agrar.* 36, 1013–1030.
696 <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>
- 697 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G., 2013.
698 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
699 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 700 Alves, C.P., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L.S.B., Araújo, G.G.L.,
701 Souza, C.A.A. de, Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F. da,
702 2022. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped
703 system: planting configurations, density and orientation. *Ind. Crops Prod.* 184, 1–13.
704 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- 705 Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Cruz
706 Neto, J.F. da, Santos, J.P.A. de S., 2020. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação:
707 balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros* 27, 347–356.
708 <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- 709 Alves Filho, D., Jardim Barcellos, J., Zago, D., Dezordi Sartori, E., 2016. Características da
710 carcaça de novilhos terminados em confinamento com inclusão parcial na dieta de silagem
711 de girassol. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 24, 139–148.
- 712 Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2018. The
713 application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of
714 forage cactus: A review. *Amaz. J. Plant Res.* 2, 207–220.
715 <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00026x>
- 716 Amaral, R.C., Carvalho, B.F., Costa, D.M., Morenz, M.J.F., Schwan, R.F., Ávila, C.L. da S.,
717 2020. Novel lactic acid bacteria strains enhance the conservation of elephant grass silage
718 cv. BRS Capiacu. *Anim. Feed Sci. Technol.* 264, 1–12.
719 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114472>
- 720 Araújo, B. de A., Moreira, F.J.C., Guedes, F.L., 2019. Emergência e crescimento inicial de
721 feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. *Rev. Agrar.*
722 *Acad.* 2, 90–101. <https://doi.org/10.32406/v2n42019/90-101/agrariacad>
- 723 Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A.M. da R.F., Silva, M.J. da, Alves, C.P., Souza, C.A.A. de,
724 Costa, S.A.T. da, Cunha, M.V. da, Simões, A. do N., Silva, J.R.I. da, Souza, L.S.B. de,
725 Silva, T.G.F. da, 2021a. Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage

- 726 cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *Eur. J. Agron.*
727 131, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>
- 728 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Bastos, L.S., Souza, D., Souza, M. de S., Araújo,
729 G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Santos, J.P.A. de S., Jardim, A.M. da R.F., Alves, C.P.,
730 Alves, H.K.M.N., 2021b. Productivity, bromatological composition and economic
731 benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a
732 semiarid environment. *Bragantia* 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- 733 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B.
734 de, Alves, C.P., Salvador, K.R. da S., Souza, C.A.A. de, Montenegro, A.A. de A., Silva,
735 M.J. da, 2021c. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of
736 the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *J. Arid Environ.*
737 190, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- 738 Asai, M., Moraine, M., Ryschawy, J., de Wit, J., Hoshide, A.K., Martin, G., 2018. Critical
739 factors for crop-livestock integration beyond the farm level: A cross-analysis of worldwide
740 case studies. *Land use policy* 73, 184–194.
741 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.010>
- 742 Bezerra, S.A. de F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Moura, M.S.B. de, Morais, J.E.F. de,
743 Diniz, W.J. da S., Queiroz, M.G. de, 2015. Demanda hídrica bruta da Palma Forrageira
744 em cenários futuros de mudanças climáticas no Estado de Pernambuco. *Rev. Bras. Geogr.*
745 *Física* 8, 1628–1643. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150092>
- 746 Bhattarai, B., Singh, S., West, C.P., Ritchie, G.L., Trostle, C.L., 2020. Water Depletion Pattern
747 and Water Use Efficiency of Forage Sorghum, Pearl millet, and Corn Under Water
748 Limiting Condition. *Agric. Water Manag.* 238, 106206.
749 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106206>
- 750 Bhattarai, S., Liu, N., Karunakaran, C., Tanino, K.K., Fu, Y.B., Coulman, B., Warkentin, T.,
751 Biligetü, B., 2021. Tissue specific changes in elements and organic compounds of alfalfa
752 (*Medicago sativa* L.) cultivars differing in salt tolerance under salt stress. *J. Plant Physiol.*
753 264, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153485>
- 754 Brewer, K.M., Gaudin, A.C.M., 2020. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon
755 sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biol. Biochem.*
756 149, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107936>
- 757 Brito, C.F.B., Fonseca, V.A., Santos, M.R., 2016. Desempenho de Sistemas de Irrigação por
758 Gotejamento com Aplicação da Água Salina. *Rev. Agrotecnologia - Agrotec* 7, 10–17.
759 <https://doi.org/10.12971/2179-5959/agrotecnologia.v7n1p10-17>

- 760 Buch, D.U., Sharma, O.A., Pable, A.A., Barvkar, V.T., 2020. Characterization of microRNA
761 genes from Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) and understanding their involvement in drought
762 stress. *J. Biotechnol.* 1–35. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.06.019>
- 763 Cardoso, D.B., Carvalho, F.F.R. de, Medeiros, G.R. de, Guim, A., Cabral, A.M.D., Vêras,
764 R.M.L., Santos, K.C. dos, Dantas, L.C.N., Nascimento, A.G. de O., 2019. Levels of
765 inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs.
766 *Anim. Feed Sci. Technol.* 247, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>
- 767 Cavalcante, L.A.D., Santos, G.R. de A., Silva, L.M. da, Fagundes, J.L., Silva, M.A. da, 2014.
768 Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesqui.*
769 *Agropecuária Trop.* 44, 424–433. <https://doi.org/10.1590/s1983-40632014000400010>
- 770 Chaokaur, A., Nishida, T., Phaowphaisal, I., Sommart, K., 2015. Effects of feeding level on
771 methane emissions and energy utilization of Brahman cattle in the tropics. *Agric. Ecosyst.*
772 *Environ.* 199, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.09.014>
- 773 Choudhary, A.K., Kumar, S., Patil, B.S., Bhat, J.S., Sharma, M., Kemal, S., Ontagodi, T.P.,
774 Datta, S., Patil, P., Chaturvedi, S.K., Sultana, R., Hegde, V.S., Choudhary, S.,
775 Kamannavar, P.Y., Vijayakumar, A.G., 2013. Narrowing yield gaps through genetic
776 improvement for Fusarium wilt resistance in three pulse crops of the semi-arid tropics.
777 *Sabrao J. Breed. Genet.* 45, 341–370.
- 778 Clay, N., Zimmerer, K.S., 2020. Who is resilient in Africa’s Green Revolution? Sustainable
779 intensification and Climate Smart Agriculture in Rwanda. *Land use policy* 97, 1–12.
780 <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104558>
- 781 Conrad, K.A., Dalal, R.C., Dalzell, S.A., Allen, D.E., Fujinuma, R., Menzies, N.W., 2018. Soil
782 nitrogen status and turnover in subtropical leucaena-grass pastures as quantified by $\delta^{15}\text{N}$
783 natural abundance. *Geoderma* 313, 126–134.
784 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.029>
- 785 Costa, M. da S., Oliveira-Júnior, J.F. de, Santos, P.J. dos, Correia Filho, W.L.F., Gois, G. de,
786 Blanco, C.J.C., Teodoro, P.E., Silva Junior, C.A. da, Santiago, D. de B., Souza, E. de O.,
787 Jardim, A.M. da R.F., 2021. Rainfall extremes and drought in Northeast Brazil and its
788 relationship with El Niño–Southern Oscillation. *Int. J. Climatol.* 1–25.
789 <https://doi.org/10.1002/joc.6835>
- 790 del Pozo, A. del, Ovalle, C., Espinoza, S., Barahona, V., Gerding, M., Humphries, A., 2017.
791 Water relations and use-efficiency, plant survival and productivity of nine alfalfa
792 (*Medicago sativa* L.) cultivars in dryland Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 84, 16–
793 22. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.002>

- 794 Dias-Martins, A.M., Pessanha, K.L.F., Pacheco, S., Rodrigues, J.A.S., Carvalho, C.W.P., 2018.
795 Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security,
796 processing, health benefits and nutritional products. *Food Res. Int.* 109, 175–186.
797 <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>
- 798 Ding, J., Wu, J., Ding, D., Yang, Y., Gao, C., Hu, W., 2021. Effects of tillage and straw
799 mulching on the crop productivity and hydrothermal resource utilization in a winter wheat-
800 summer maize rotation system. *Agric. Water Manag.* 254, 106933.
801 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106933>
- 802 Diniz, W.J. da S., Silva, T.G.F. da, Ferreira, J.M. da S., Santos, D.C. dos, Moura, M.S.B. de,
803 Araújo, G.G.L. de, Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different
804 irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 52, 724–
805 733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- 806 Dos-Santos, C.M., Nascimento, W.B.A., Nascimento, B.P., Schwab, S., Baldani, J.I., Vidal,
807 M.S., 2021. Temporal assessment of root and shoot colonization of elephant grass
808 (*Pennisetum purpureum* Schum.) host seedlings by *Gluconacetobacter diazotrophicus*
809 strain LP343. *Microbiol. Res.* 244, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126651>
- 810 Dowling, A., O Sadras, V., Roberts, P., Doolette, A., Zhou, Y., Denton, M.D., 2021. Legume-
811 oilseed intercropping in mechanised broadacre agriculture – a review. *F. Crop. Res.* 260,
812 107980. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107980>
- 813 Dubeux Júnior, J.C.B., Santos, M.V.F. dos, Cunha, M.V. da, Santos, D.C. dos, Souza, R.T. de
814 A., Mello, A.C.L. de, Souza, T.C. de, 2021. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value:
815 A review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 275, 1–11.
816 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- 817 Dubeux Júnior, J.C.B., Santos, M.V.F., Cunha, M. V., Ferreira, M.A., Santos, D.C., Lira,
818 M.D.A., Silva, M.C., 2015. Forage potential of cacti on drylands. *Acta Hortic.* 181–186.
- 819 Ebrahimian, E., Seyyedi, S.M., Bybordi, A., Damalas, C.A., 2019. Seed yield and oil quality of
820 sunflower, safflower, and sesame under different levels of irrigation water availability.
821 *Agric. Water Manag.* 218, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.031>
- 822 Edvan, R.L., Carneiro, M.S. de S., Silva, E.B. da, Albuquerque, D.R., Pereira, E.S., Bezerra,
823 L.R., Silva, A.L. da, Araújo, M.J. de, 2016. Análise de crescimento da gliricídia submetida
824 a diferentes manejos de corte. *Arch. Zootec.* 65, 163–169.
825 <https://doi.org/10.21071/az.v65i250.483>
- 826 Elias, O.F.A. e S., Leite, M.L. de M.V., Azevedo, J.M., Silva, J.P.S. de S., Nascimento, G.F.
827 do, Simplício, J.B., 2016. Características agronômicas de cultivares de sorgo em sistema

- 828 de plantio direto no Semiárido de Pernambuco. *J. Chem. Inf. Model.* 14, 29–36.
829 <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 830 Fahey, J., 2005. *Moringa oleifera*: A Review of The Medical Evidence for Its Nutritional,
831 Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1. *Trees life J.* 1, 1–15.
- 832 Fernández, M., Alaejos, J., Andivia, E., Madejón, P., Díaz, M.J., Tapias, R., 2020. Short
833 rotation coppice of leguminous tree *Leucaena* spp. improves soil fertility while producing
834 high biomass yields in Mediterranean environment. *Ind. Crops Prod.* 157.
835 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112911>
- 836 Ferreira, T.R., Silva, B.B.D., De Moura, M.S.B., Verhoef, A., Nóbrega, R.L.B., 2020. The use
837 of remote sensing for reliable estimation of net radiation and its components: a case study
838 for contrasting land covers in an agricultural hotspot of the Brazilian semiarid region.
839 *Agric. For. Meteorol.* 291, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108052>
- 840 Figueira, D.N., Neumann, M., Ueno, R.K., Galbeiro, S., Bueno, A.V.I., 2016. Forage yield and
841 quality in elephant grass cv. Pioneiro harvested at different cutting height and times.
842 *Semin. Agrar.* 37, 1017–1028. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n2p1017>
- 843 Freire, A.L. de O., Leão, D.A.S., Miranda, J.R.P., 2012. Acúmulo de massa seca e de nutrientes
844 em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e a doses de fósforo. *Semin. Agrar.* 33, 19–
845 26. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n1p19>
- 846 Fu, B., Li, Z., Gao, X., Wu, L., Lan, J., Peng, W., 2021. Effects of subsurface drip irrigation on
847 alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and
848 semi-arid areas of northern China. *Appl. Soil Ecol.* 159, 1–14.
849 <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103859>
- 850 Gai, F., Karamać, M., Janiak, M.A., Amarowicz, R., Peiretti, P.G., 2020. Sunflower (*Helianthus*
851 *annuus* L.) plants at various growth stages subjected to extraction—comparison of the
852 antioxidant activity and phenolic profile. *Antioxidants* 9, 1–13.
853 <https://doi.org/10.3390/antiox9060535>
- 854 Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism
855 biology. *New Phytol.* 204, 738–740. <https://doi.org/10.1111/nph.13127>
- 856 Gheyi, H., Dias, N.D.S., Lacerda, C. De, 2010. *Manejo da salinidade na agricultura: estudos*
857 *básicos e aplicados*, 2nd ed. Byte Systems - Soluções Digitais, Fortaleza, CE.
- 858 Granella, S.J., Bechlin, T.R., Christ, D., Coelho, S.R.M., Paz, C.H. de O., 2021. An approach
859 to recent applications of *Moringa oleifera* in the agricultural and biofuel industries. *South*
860 *African J. Bot.* 137, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.10.006>
- 861 Harrison, M.T., McSweeney, C., Tomkins, N.W., Eckard, R.J., 2015. Improving greenhouse

- 862 gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena*
863 *leucocephala*. *Agric. Syst.* 136, 138–146. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.03.003>
- 864 Hunt, M.L., Blackburn, G.A., Rowland, C.S., 2019. Monitoring the Sustainable Intensification
865 of Arable Agriculture: the Potential Role of Earth Observation. *Int. J. Appl. Earth Obs.*
866 *Geoinf.* 81, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.05.013>
- 867 Hussain, J., Khaliq, T., Ahmad, A., Akhter, J., Asseng, S., 2018. Wheat Responses to Climate
868 Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. *Int. J. Environ.*
869 *Res.* 1–11. <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0074-2>
- 870 Inácio, D.F.S., Rezende, A.S.C., Melo, M.M., Quintão Lana, Â.M., Silva, R.H.P., Mendes, L.
871 de J., Reis, L. de P.G., Maruch, S., Ralston, S.L., 2018. Effect of Supplementation of
872 Sorghum Silage in Weanling Fillies During the Dry Period in Brazil. *J. Equine Vet. Sci.*
873 68, 88–93. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.05.217>
- 874 Jardim, A.M. da R.F., Santos, H.R.B., Alves, H.K.M.N., Ferreira-Silva, S.L., Souza, L.S.B. de,
875 Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Souza, C.A.A. de, Silva,
876 T.G.F. da, 2021a. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and
877 organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid
878 environment. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 421–430.
879 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- 880 Jardim, A.M. da R.F., Silva, G.Í.N. da, Biesdorf, E.M., Pinheiro, A.G., Silva, M.V. da, Araújo
881 Júnior, G. do N., Santos, A. dos, Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Morais, J.E.F. de,
882 Alves, C.P., Silva, T.G.F. da, 2020a. Production potential of *Sorghum bicolor* (L.) Moench
883 crop in the Brazilian semiarid: review. *Pubvet* 14, 1–12.
884 <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>
- 885 Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves,
886 H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021b. Intercropping
887 forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and
888 competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.* 188, 104464.
889 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 890 Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Souza, M. de S., 2020b. Interaction
891 of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment:
892 a review. *J. Environ. Anal. Prog.* 5, 069–087.
893 <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>
- 894 Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B. de, Alves, H.K.M.N., Araújo, J.F.N. de,
895 Silva, G.I.N. da, Silva, J.O.N. da, 2020c. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma

- 896 forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros* 27, 357–365.
897 <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>
- 898 Jayne, T.S., Snapp, S., Place, F., Sitko, N., 2019. Sustainable agricultural intensification in an
899 era of rural transformation in Africa. *Glob. Food Sec.*
900 <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.01.008>
- 901 Jia, Q., Xu, R., Chang, S., Zhang, C., Liu, Y., Shi, W., Peng, Z., Hou, F., 2020. Planting
902 practices with nutrient strategies to improves productivity of rain-fed corn and resource
903 use efficiency in semi-arid regions. *Agric. Water Manag.* 228, 1–9.
904 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105879>
- 905 Jin, Y.H., Zhou, D.W., Jiang, S.C., 2010. Comparison of soil water content and corn yield in
906 furrow and conventional ridge sown systems in a semiarid region of China. *Agric. Water*
907 *Manag.* 97, 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.10.002>
- 908 Kang, S., Wanapat, M., Pakdee, P., Pilajun, R., Cherdthong, A., 2012. Effects of energy level
909 and *Leucaena leucocephala* leaf meal as a protein source on rumen fermentation efficiency
910 and digestibility in swamp buffalo. *Anim. Feed Sci. Technol.* 174, 131–139.
911 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.007>
- 912 Khoury, C.K., Castañeda-Alvarez, N.P., Achicanoy, H.A., Sosa, C.C., Bernau, V., Kassa, M.T.,
913 Norton, S.L., van der Maesen, L.J.G., Upadhyaya, H.D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A.,
914 Struik, P.C., 2015. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]:
915 Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress
916 tolerance. *Biol. Conserv.* 184, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.032>
- 917 Kirchner, J.H., Robaina, A.D., Peiter, M.X., Torres, R.R., Mezzomo, W., Ben, L.H.B., Pimenta,
918 B.D., Pereira, A.C., 2019. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo
919 forrageiro irrigado. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 14, 1–9.
920 <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5646>
- 921 Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., Bertoli, S., 2015. Cultivation,
922 genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera*
923 leaves: An overview. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 1–45. <https://doi.org/10.3390/ijms160612791>
- 924 Li, S., Thompson, M., Moussavi, S., Dvorak, B., 2021. Life cycle and economic assessment of
925 corn production practices in the western US Corn Belt. *Sustain. Prod. Consum.* 27, 1762–
926 1774. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.04.021>
- 927 Li, Y., Hu, A., Wang, X., Zheng, J., 2019. Physicochemical and in vitro digestion of millet
928 starch: Effect of moisture content in microwave. *Int. J. Biol. Macromol.* 134, 308–315.
929 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>

- 930 Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Jardim, A.M. da R.F., Souza, C.A.A. de, Queiroz, M.G., Tabosa,
931 J.N., 2018. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under
932 different water depths. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 22, 113–118.
933 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- 934 Liu, M., Wang, Z., Mu, L., Xu, R., Yang, H., 2021. Effect of regulated deficit irrigation on
935 alfalfa performance under two irrigation systems in the inland arid area of midwestern
936 China. *Agric. Water Manag.* 248, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106764>
- 937 Lopes, L.A., Cardoso, D.B., Camargo, K.S., Pereira, G., Sena, J. De, Souza, R., Ricardo, J.,
938 Silva, C., Morais, J.S. De, Polyana, T., Araújo, M., 2019. Palma forrageira na alimentação
939 de ruminantes. *Pubvet* 13, 1–10.
- 940 Low, S., 2015. Signal Grass (*Brachiaria decumbens*) Toxicity in Grazing Ruminants.
941 *Agriculture* 5, 971–990. <https://doi.org/10.3390/agriculture5040971>
- 942 Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., SOUZA, E., Ribeiro, A., Firmino, F., 2015.
943 Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú,
944 Pernambuco. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 20, 731–740.
945 <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- 946 Marengo, J.A., Cunha, A.P., Alves, L.M., 2016. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste
947 do Brasil no contexto histórico. *Rev. Climanálise* 4, 49–54.
- 948 Marques, T. V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A.M., Campos, S.,
949 Lúcio, P.S., Lima, K., dos Reis, J., Ramos, T.M., da Silva, D.F., Oliveira, C.P., Costa,
950 G.B., Antonino, A.C.D., Menezes, R.S.C., Santos e Silva, C.M., Bezerra, B., 2020.
951 Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry
952 Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semiarid. *Agric. For. Meteorol.* 287, 1–15.
953 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>
- 954 Marshall, V.M., Lewis, M.M., Ostendorf, B., 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an
955 invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *J. Arid Environ.* 78, 1–
956 12. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.11.005>
- 957 Mbarki, S., Cerdà, A., Zivcak, M., Brestic, M., Rabhi, M., Mezni, M., Jedidi, N., Abdelly, C.,
958 Pascual, J.A., 2018. Alfalfa crops amended with MSW compost can compensate the effect
959 of salty water irrigation depending on the soil texture. *Process Saf. Environ. Prot.* 115, 8–
960 16. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.09.001>
- 961 Medeiros, A.S., Maia, S.M.F., Santos, T.C., Gomes, T.C.A., 2020. Soil carbon losses in
962 conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region.
963 *Agric. Ecosyst. Environ.* 287, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106690>

- 964 Melo, N.C., Fernandes, A.R., Galvão, J.R., 2015. Crescimento e eficiência nutricional do
965 nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na amazônia. *Rev. Caatinga* 28, 68–78.
- 966 Mganga, K.Z., Kaindi, E., Ndathi, A.J.N., Bosma, L., Kioko, T., Kadenyi, N., Wambua, S.M.,
967 Steenbergen, F., Musimba, N.K.R., 2021. Morphoecological characteristics of grasses
968 used to restore degraded semi-arid African rangelands. *Ecol. Solut. Evid.* 2, 1–8.
969 <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12078>
- 970 Molina, I.C., Angarita, E.A., Mayorga, O.L., Chará, J., Barahona-Rosales, R., 2016. Effect of
971 *Leucaena leucocephala* on methane production of *Lucerna* heifers fed a diet based on
972 *Cynodon plectostachyus*. *Livest. Sci.* 185, 24–29.
973 <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.009>
- 974 Moreira, N., Martin, C.C., Hilgert, A.R., Tostes, R.A., Viott, A.D.M., 2018. Surto de
975 fotossensibilização hepatógena em bovinos por ingestão de *brachiaria decumbens* no
976 município de Cascavel -PR. *Arch. Vet. Sci.* 23, 52–62.
- 977 Mostafa, H., El-Nady, R., Awad, M., El-Ansary, M., 2018. Drip irrigation management for
978 wheat under clay soil in arid conditions. *Ecol. Eng.* 121, 35–43.
979 <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.09.003>
- 980 Mouratiadou, I., Latka, C., van der Hilst, F., Müller, C., Berges, R., Bodirsky, B.L., Ewert, F.,
981 Faye, B., Heckelei, T., Hoffmann, M., Lehtonen, H., Lorite, I.J., Nendel, C., Palosuo, T.,
982 Rodríguez, A., Rötter, R.P., Ruiz-Ramos, M., Stella, T., Webber, H., Wicke, B., 2021.
983 Quantifying sustainable intensification of agriculture: The contribution of metrics and
984 modelling. *Ecol. Indic.* 129, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107870>
- 985 Muniandy, K.V., Chung, E.L.T., Jaapar, M.S., Hamdan, M.H.M., Salleh, A., Jesse, F.F.A.,
986 2020. Filling the gap of *Brachiaria decumbens* (signal grass) research on clinico-pathology
987 and haemato-biochemistry in small ruminants: A review. *Toxicon* 174, 26–31.
988 <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.12.158>
- 989 Neto, A.S., Oliveira, S., Valen, L., 2015. Leguminosas adaptadas como alternativa alimentar
990 para ovinos no semiárido – revisão. *Rev. Ciências Agroveterinárias* 14, 191–200.
- 991 Pande, S., Sharma, M., Naga Mangla, U., Ghosh, R., Sundaresan, G., 2011. *Phytophthora* blight
992 of *Pigeonpea* [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: An updating review of biology, pathogenicity
993 and disease management. *Crop Prot.* 30, 951–957.
994 <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.03.031>
- 995 Paredes-Trejo, F.J., Barbosa, H.A., Lakshmi Kumar, T. V., 2017. Validating CHIRPS-based
996 satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *J. Arid Environ. J.* 139, 26–40.
997 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>

- 998 Paula, P.R.P., Júnior, A.P.N., Souza, W.L., Abreu, M.J.I., Teixeira, R.M.A., Cappelle, E.R.,
999 Tavares, V.B., 2020. Composição bromatológica da silagem de capim- elefante BRS
1000 Capiacu. Pubvet 14, 1–11. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n10a680.1-11>
- 1001 Pereira Junior, G., Pereira Filho, M., Roubach, R., Barbosa, P. de S., Shimoda, E., 2013. Farinha
1002 de folha de leucena (*Leucaena leucocephala* Lam. de wit) como fonte de proteína para
1003 juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818). *Acta Amaz.* 43, 227–
1004 234. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200014>
- 1005 Pereira, P. de C., Jardim, A.M. da R.F., Lima, L.R., Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Morais,
1006 J.E.F. de, 2017. Evapotranspiração do girassol pelo método do tanque classe “a” ba região
1007 do semiárido brasileiro. *Rev. Bras. Agric. Irrig.* 11, 1894–1903.
1008 <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n600649>
- 1009 Pereira, P.C., Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Morais, J.E.F. de, Santos, D.C. dos, 2015.
1010 Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Rev. Caatinga* 28, 184–195.
1011 <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- 1012 Pereira, A. Vander, Lédo, F.J. da S., Machado, J.C., 2017. BRS Kurumi and BRS Capiacu -
1013 New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. *Crop Breed. Appl.*
1014 *Biotechnol.* 17, 59–62. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1c9>
- 1015 Pereira, A. Vander, Ledo, F.J. da S., Morenz, M.J.F., Leite, J.L.B., Santos, A.M.B. dos, Martins,
1016 C.E., Machado, J.C., 2016. BRS Capiacu: cultivar de capim-elefante de alto rendimento
1017 para produção de silagem. *Embrapa* 2, 6.
- 1018 Pessoa, D.V., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Teodoro, A.L., Santos, D.C. dos, Araújo,
1019 G.G.L., Medeiros, A.N., Nascimento, D.B., Valença, R. de L., Cardoso, D.B., 2020.
1020 Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional
1021 value. *J. Arid Environ.* 181, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>
- 1022 Piñeiro-Vázquez, A.T., Jiménez-Ferrer, G.O., Chay-Canul, A.J., Casanova-Lugo, F., Díaz-
1023 Echeverría, V.F., Ayala-Burgos, A.J., Solorio-Sánchez, F.J., Aguilar-Pérez, C.F., Ku-
1024 Vera, J.C., 2017. Intake, digestibility, nitrogen balance and energy utilization in heifers
1025 fed low-quality forage and *Leucaena leucocephala*. *Anim. Feed Sci. Technol.* 228, 194–
1026 201. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.04.009>
- 1027 Pinheiro, A.G., Souza, L.S.B. de, Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P.,
1028 Souza, C.A.A. de, Leite, R.M.C., Silva, T.G.F. da, 2021. Lacunas de produtividades e
1029 estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida
1030 brasileira - Revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2403–2426.
- 1031 Pinheiro, G.G., Zanotti, R.F., Paiva, C.E.C., Lopes, J.C., Gai, Z.T., 2013. Efeito do estresse

- 1032 salino em sementes e plântulas de feijão guandu. *Enciclopédia Biosf.* 9, 901–912.
- 1033 Portilho, I.I.R., Savin, M.C., Borges, C.D., Tsai, S.M., Mercante, F.M., Roscoe, R., de
1034 Carvalho, L.A., 2018. Maintenance of N cycling gene communities with crop-livestock
1035 integration management in tropical agriculture systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 267, 52–
1036 62. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.005>
- 1037 Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Lima, L.R., Alves, J. de O.,
1038 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
1039 lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 931–938.
1040 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- 1041 Queiroz, M.G. DE, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Souza, C.A.A. de, Carvalho,
1042 H.F. de S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
1043 Ambiente Semiárido. *Irriga* 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- 1044 Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Jardim, A.M. da R.F., Souza, C.A.A., Araújo Júnior,
1045 G. do N., Morais, J.E.F., Souza, L.S.B., 2020. Spatial and temporal dynamics of soil
1046 moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. *Catena*
1047 188, 104457. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104457>
- 1048 Quintanilla-Tornel, M.A., Wang, K.H., Tavares, J., Hooks, C.R.R., 2016. Effects of mulching
1049 on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. *Agric.*
1050 *Ecosyst. Environ.* 224, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.023>
- 1051 Riet-Correa, B., Riet-Correa, F., Oliveira Junior, C.A. de, Duarte, V.C., Riet-Correa, G., 2010.
1052 Alterações histológicas em fígados e linfonodos de búfalos (*Bubalus bubalis*) mantidos em
1053 pastagens de *Brachiaria* spp. *Pesqui. Veterinária Bras.* 30, 705–711.
1054 <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2010000900001>
- 1055 Rocha, J.M.L., Santos, A.C. dos, Junior, O.S., Silva, R.R. da, Santos, J.G.D. dos, Oliveira,
1056 L.B.T. de, 2017. Características agrônômicas do milho sob efeito de nitrogênio nos
1057 sistemas consorciado e monocultivo. *Rev. Tecnol. Ciência Agropecuária* 11, 37–43.
- 1058 Rodrigues-Corrêa, K.C. da S., Honda, M.D.H., Borthakur, D., Fett-Neto, A.G., 2019. Mimosine
1059 accumulation in *Leucaena leucocephala* in response to stress signaling molecules and
1060 acute UV exposure. *Plant Physiol. Biochem.* 135, 432–440.
1061 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.11.018>
- 1062 Rodrigues, L.A., Muniz, T.A., Samarão, S.S., Cyrino, A.E., 2016. Qualidade de mudas de
1063 *Moringa oleifera* Lam. cultivadas em substratos com fibra de coco verde e compostos
1064 orgânicos. *Rev. Ceres* 63, 545–552. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663040016>
- 1065 Rosa, F.B., Rubin, M.I.B., Martins, T.B., de Lemos, R.A.A., Gomes, D.C., Pupin, R.C., Lima,

- 1066 S.C., Barros, C.S.L., 2016. Spontaneous poisoning by *Brachiaria decumbens* in goats.
1067 *Pesqui. Vet. Bras.* 36, 389–396. <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2016000500006>
- 1068 Rosado, M. da C., Araújo, G.J. de, Pallini, A., Venzon, M., 2021. Cover crop intercropping
1069 increases biological control in coffee crops. *Biol. Control* 160.
1070 <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2021.104675>
- 1071 Sá, M.K.N. de, Andrade, A.P. de, Magalhães, A.L.R., Valença, R. de L., Campos, F.S., Araújo,
1072 F. dos S., Araújo, G.G.L. de, 2021. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*:
1073 alternativa alimentar para o Semiárido. *Res. Soc. Dev.* 10, e27210212473.
1074 <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>
- 1075 Saini, R.K., Sivanesan, I., Keum, Y.S., 2016. Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of
1076 their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech* 6.
1077 <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>
- 1078 Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro,
1079 A.G., Pereira, R.C.G., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2021. Intensificação de sistemas
1080 de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas,
1081 leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2369–2390.
- 1082 Santana, O.I., Olmos-Colmenero, J.J., Wattiaux, M.A., 2019. Replacing alfalfa hay with
1083 triticale hay has minimal effects on lactation performance and nitrogen utilization of dairy
1084 cows in a semi-arid region of Mexico. *J. Dairy Sci.* 102, 1–13.
1085 <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16223>
- 1086 Santos, A. dos, Lopes, P.M.O., Silva, M.V., Jardim, A.M.R.F., Moura, G.B.A., Fernandes,
1087 G.S.T., Silva, D.A.O., Silva, J.L.B., Rodrigues, J.A.M., Silva, E.A., Oliveira-Júnior, J.F.,
1088 2020. Causes and consequences of seasonal changes in the water flow of the São Francisco
1089 river in the semiarid of Brazil. *Environ. Sustain. Indic.* 1–42.
1090 <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100084>
- 1091 Santos, S.M. dos, Farias, M.M.M.W.E.C., 2017. Potential for rainwater harvesting in a dry
1092 climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *J. Clean. Prod.* 164, 1007–
1093 1015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.251>
- 1094 Santos, P.M., Santos, A.C., Negreiros Neto, J. V., Araújo, A. dos S., Silva, J.E.C., 2011.
1095 Caracterização de pastagens de capins tanzânia e mombaça consorciados com estilosantes
1096 em ecótono de transição Cerrado: Floresta Amazônica. *Rev. Bras. Ciências Agrar.* 6, 163–
1097 173. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a817>
- 1098 Sarker, K.K., Hossain, A., Timsina, J., Biswas, S.K., Malone, S.L., Alam, M.K., Loescher,
1099 H.W., Bazzaz, M., 2020. Alternate furrow irrigation can maintain grain yield and nutrient

- 1100 content, and increase crop water productivity in dry season maize in sub-tropical climate
1101 of South Asia. *Agric. Water Manag.* 238, 1–11.
1102 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106229>
- 1103 Scherer, L.A., Verburg, P.H., Schulp, C.J.E., 2018. Opportunities for sustainable intensification
1104 in European agriculture. *Glob. Environ. Chang.* 48, 43–55.
1105 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.009>
- 1106 Schneider, J., Labory, C.R.G., Rangel, W.M., Alves, E., Guilherme, L.R.G., 2013. Anatomy
1107 and ultrastructure alterations of *Leucaena leucocephala* (Lam.) Inoculated with
1108 mycorrhizal fungi in response to arsenic-contaminated soil. *J. Hazard. Mater.* 262, 1245–
1109 1258. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.05.091>
- 1110 Schut, M., van Asten, P., Okafor, C., Hicintuka, C., Mapatano, S., Nabahungu, N.L., Kagabo,
1111 D., Muchunguzi, P., Njukwe, E., Dontsop-Nguezet, P.M., Sartas, M., Vanlauwe, B., 2016.
1112 Sustainable intensification of agricultural systems in the Central African Highlands: The
1113 need for institutional innovation. *Agric. Syst.* 145, 165–176.
1114 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.03.005>
- 1115 Sekaran, U., Kumar, S., Gonzalez-Hernandez, J.L., 2021a. Integration of crop and livestock
1116 enhanced soil biochemical properties and microbial community structure. *Geoderma* 381,
1117 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114686>
- 1118 Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D.A.N., Kumar, S., Clay, S., 2021b. Role of integrated crop-
1119 livestock systems in improving agriculture production and addressing food security – A
1120 review. *J. Agric. Food Res.* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100190>
- 1121 Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., John, K., 2019. Resistance screening of 14 *Cajanus cajan*
1122 (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *J. Stored*
1123 *Prod. Res.* 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- 1124 Shahzad, U., Khan, M.A., Jaskani, M.J., Khan, I.A., Korban, S.S., 2013. Genetic diversity and
1125 population structure of *Moringa oleifera*. *Conserv. Genet.* 14, 1161–1172.
1126 <https://doi.org/10.1007/s10592-013-0503-x>
- 1127 Silva, G.I.N. da, Jardim, A.M. da R.F., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Souza, C.A.A.,
1128 Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro, A.G., Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C.,
1129 Costa, S.A.T. da, Silva, M.J. da, Silva, T.G.F. da, 2020. Cultivo de plantas forrageiras de
1130 apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas
1131 agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Res. Soc. Dev.* 9, 1–39.
- 1132 Silva, M.V. da, Pandorfi, H., Almeida, G.L.P. de, Lima, R.P. de, Santos, A. dos, Jardim, A.M.
1133 da R.F., Rolim, M.M., Silva, J.L.B. da, Batista, P.H.D., Silva, R.A.B. da, Lopes, P.M.O.,

- 1134 Silva, D.C. da, 2021. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage
1135 cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *J. South Am. Earth Sci.*
1136 107. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- 1137 Silva, M.V. da, Pandorfi, H., Lopes, P.M.O., Silva, J.L.B. da, de Almeida, G.L.P., Silva, D.A.
1138 de O., Santos, A. dos, Rodrigues, J.A. de M., Batista, P.H.D., Jardim, A.M. da R.F., 2020.
1139 Pilot monitoring of caatinga spatial-temporal dynamics through the action of agriculture
1140 and livestock in the brazilian semiarid. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 19, 1–9.
1141 <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100353>
- 1142 Silva, H.W., Favarin, S., Andriguetti, S.C., Domiciano, D., Godinho, A.M.M., Araújo, E.B.,
1143 Souza, H.O., Xavier, W.A., 2020. Desenvolvimento vegetativo, produção de biomassa e
1144 composição químico-bromatológica de gliricídia em condições de clima temperado.
1145 *Brazilian J. Dev.* 6, 847–859. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n1-059>
- 1146 Silva, T.C., Perazzo, A.F., Macedo, C.H.O., Batista, E.D., Pinho, R.M.A., Bezerra, H.F.C.,
1147 Santos, E.M., 2012. Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao
1148 corte e adubação nitrogenada. *Arch. Zootec.* 61, 91–102. [https://doi.org/10.4321/s0004-](https://doi.org/10.4321/s0004-05922012000100010)
1149 [05922012000100010](https://doi.org/10.4321/s0004-05922012000100010)
- 1150 Simão, E.P., Gontijo Neto, M.M., Santos, E.A., Wendling, I.J., 2015. Produção de Biomassa e
1151 Composição Bromatológica de Duas Cultivares de Milheto Semeadas em Diferentes
1152 Épocas. *Rev. Bras. Milho e Sorgo* 14, 196–206. [https://doi.org/10.18512/1980-](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p196-206)
1153 [6477/rbms.v14n2p196-206](https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p196-206)
- 1154 Singh, S., Bhat, B.V., Shukla, G.P., Gaharana, D., Anele, U.Y., 2017. Nutritional evaluation of
1155 different varieties of sorghum stovers in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 227, 42–51.
1156 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.03.011>
- 1157 Soltan, Y.A., Morsy, A.S., Lucas, R.C., Abdalla, A.L., 2017. Potential of mimosine of
1158 *Leucaena leucocephala* for modulating ruminal nutrient degradability and
1159 methanogenesis. *Anim. Feed Sci. Technol.* 223, 30–41.
1160 <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.11.003>
- 1161 Sousa, M.G., Araujo, J.K.S., Ferreira, T.O., Andrade, G.R.P., Araújo Filho, J.C., Fracetto,
1162 G.G.M., Santos, J.C.B., Fracetto, F.J.C., Lima, G.K., Souza Junior, V., 2021. Long-term
1163 effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern
1164 Brazil. *Catena* 206. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>
- 1165 Souza, F.R., Silva, I.M., Pellin, D.M.P., Bergamin, A.C., Silva, R.P., 2015. Características
1166 agronômicas do cultivo de girassol consorciado com *Brachiaria ruziziensis*. *Rev. Cienc.*
1167 *Agron.* 46, 110–116.

- 1168 Souza, M. de S., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N.,
1169 Alves, H.K.M.N., 2019. Practices for the improvement of the agricultural resilience of the
1170 forage production in semiarid environment: a review. *Amaz. J. Plant Res.* 3, 417–430.
1171 <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>
- 1172 Srinivasarao, C., Lal, R., Kundu, S., Babu, M.B.B.P., Venkateswarlu, B., Singh, A.K., 2014.
1173 Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India.
1174 *Sci. Total Environ.* 487, 587–603. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.006>
- 1175 Sultana, S., 2020. Nutritional and functional properties of *Moringa oleifera*. *Metab. Open* 8,
1176 100061. <https://doi.org/10.1016/j.metop.2020.100061>
- 1177 Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*,
1178 6°. ed. Editora Artmed, Porto Alegre.
- 1179 Teetor, V.H., Schmalzel, C., Ray, D.T., 2017. Growing sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.]
1180 *moench*) in clumps potentially reduces lodging in the arid-southwestern United States. *Ind.*
1181 *Crops Prod.* 107, 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.064>
- 1182 Thapa, S., Stewart, B.A., Xue, Q., Rhoades, M.B., Angira, B., Reznik, J., 2018. Canopy
1183 temperature, yield, and harvest index of corn as affected by planting geometry in a semi-
1184 arid environment. *F. Crop. Res.* 227, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.08.009>
- 1185 Tiammee, S., Likasiri, C., 2020. Sustainability in corn production management: A multi-
1186 objective approach. *J. Clean. Prod.* 257, 1–14.
1187 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120855>
- 1188 Tommasino, E., López Colomba, E., Carrizo, M., Grunberg, K., Quiroga, M., Carloni, E.,
1189 Griffa, S., Ribotta, A., Luna, C., 2018. Individual and combined effects of drought and
1190 heat on antioxidant parameters and growth performance in Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*
1191 L.) genotypes. *South African J. Bot.* 119, 104–111.
1192 <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.08.026>
- 1193 Valdivié-Navarro, M., Martínez-Aguilar, Y., Mesa-Fleitas, O., Botello-León, A., Betancur
1194 Hurtado, C., Velázquez-Martí, B., 2020. Review of *Moringa oleifera* as forage meal
1195 (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. *Anim. Feed Sci.*
1196 *Technol.* 260, 114338. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>
- 1197 Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., Zhao, Y., 2018. Evapotranspiration, crop
1198 coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China
1199 Plain. *F. Crop. Res.* 217, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>
- 1200 Wang, L., Xie, J., Luo, Z., Niu, Y., Coulter, J.A., Zhang, R., Lingling, L., 2021. Forage yield,
1201 water use efficiency, and soil fertility response to alfalfa growing age in the semiarid Loess

- 1202 Plateau of China. *Agric. Water Manag.* 243, 1–9.
1203 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106415>
- 1204 Wang, Shuai, Huang, D. you, Zhu, Q. hong, Li, B. zhong, Xu, C., Zhu, H. hua, Zhang, Q., 2021.
1205 Agronomic traits and ionomics influence on Cd accumulation in various sorghum
1206 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 214, 112019.
1207 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112019>
- 1208 Wang, Shu, Huang, X., Zhang, Y., Yin, C., Richel, A., 2021. The effect of corn straw return on
1209 corn production in Northeast China: An integrated regional evaluation with meta-analysis
1210 and system dynamics. *Resour. Conserv. Recycl.* 167, 1–12.
1211 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105402>
- 1212 Wang, Y., Li, S., Qin, S., Guo, H., Yang, D., Lam, H.M., 2020. How can drip irrigation save
1213 water and reduce evapotranspiration compared to border irrigation in arid regions in
1214 northwest China. *Agric. Water Manag.* 239, 1–11.
1215 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106256>
- 1216 Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Paw U, K.T., Zheng, J., Qiang, S., Guo, J., Zou, H., Xiang,
1217 Y., Wu, L., 2020. A sustainable strategy of managing irrigation based on water
1218 productivity and residual soil nitrate in a no-tillage maize system. *J. Clean. Prod.* 262, 1–
1219 13. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121279>
- 1220 Yang, D., Li, S., Kang, S., Du, T., Guo, P., Mao, X., Tong, L., Hao, X., Ding, R., Niu, J., 2020.
1221 Effect of drip irrigation on wheat evapotranspiration, soil evaporation and transpiration in
1222 Northwest China. *Agric. Water Manag.* 232, 1–10.
1223 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106001>
- 1224 Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., Kurtar, E.S., 2020. How do
1225 rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and
1226 quality of watermelon under deficit irrigation? *Agric. Water Manag.* 241, 1–12.
1227 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106351>
- 1228 Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., Coulter, J.A., 2020.
1229 Water utilization in intercropping: A review. *Agric. Water Manag.* 241, 1–13.
1230 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>
- 1231 Zegada-Lizarazu, W., Parenti, A., Monti, A., 2021. Intercropping grasses and legumes can
1232 contribute to the development of advanced biofuels. *Biomass and Bioenergy* 149, 1–9.
1233 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106086>
- 1234 Zhang, Y., Qiao, L., Chen, C., Tian, L., Zheng, X., 2021. Effects of organic ground covers on
1235 soil moisture content of urban green spaces in semi-humid areas of China. *Alexandria Eng.*

1236 J. 60, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.001>

1237 Zhao, G., Kuang, G., Wang, Y., Yao, Y., Zhang, J., Pan, Z.H., 2020. Effect of steam explosion

1238 on physicochemical properties and fermentation characteristics of sorghum (*Sorghum*

1239 *bicolor* (L.) Moench). *Lwt* 129, 109579. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109579>

1240

1241

1242

1243

1244

1245

1246

1247

1248

1249

1250

1251

1252

1253

1254

1255

1256

1257

1258

1259

1260

1261

1262

1263

1264

1265

1266

1267

1268

1269

1270 **CAPÍTULO 2 – O CONSÓRCIO DA PALMA FORRAGEIRA COM GRAMÍNEAS,**
1271 **OLEAGINOSA E LEGUMINOSA ANTECIPA A COLHEITA E PROMOVE MAIOR**
1272 **EFICIÊNCIA E RETORNO ECONÔMICO AOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO**
1273

1274 **RESUMO:** A implantação de culturas agrícolas adaptadas a regiões semiáridas aliada ao uso
1275 de práticas de manejo resilientes reduz a sazonalidade na produção de forragem durante o
1276 período de estiagem e propicia sistemas de cultivo mais sustentáveis e economicamente viáveis.
1277 Logo, neste estudo, objetivou-se avaliar as modificações no crescimento, desempenho
1278 produtivo, dinâmica de água no solo, eficiência e retorno econômico em sistemas de produção
1279 com palma forrageira sob diferentes condições de cultivo de 2017 a 2020 no semiárido
1280 brasileiro. Para isto, foi conduzido dois ciclos produtivos da palma forrageira submetida a
1281 sistemas de produção exclusivo e consorciado com feijão-guandu, girassol forrageiro,
1282 cultivares de sorgo ('2502', 'SF15' e '1011') e milho, com e sem cobertura morta. O
1283 delineamento adotado foi o de blocos casualizados com três repetições. De modo geral, as taxas
1284 de crescimento e fenofases da palma forrageira foram maiores nos sistemas consorciados. Os
1285 sistemas palma-2502 e palma-SF15 obtiveram as maiores produtividades com valores de massa
1286 fresca e seca iguais a 272 e 52 Mg ha⁻¹ (~13 meses) e 1025 e 93 Mg ha⁻¹ (~16 meses),
1287 respectivamente. Os maiores valores de consumo, índices hídricos e receita foram observados
1288 nos consórcios, com destaque para palma-SF15 (26.100 US\$). A consorciação, embora afete o
1289 crescimento individual da palma forrageira, promove maior produtividade, antecipação do
1290 corte, eficiência na utilização da água e retorno econômico ao sistema de produção.

1291

1292

1293 **Palavras-Chave:** consorciação; fenologia; índices hídricos; taxas de crescimento

1294

1295

1296

1297

1298

1299

1300

1301

1302

1303

1304 **ABSTRACT:** The implementation of agricultural crops adapted to semi-arid regions combined
1305 with the use of resilient management practices reduces the seasonality in forage production
1306 during the dry season and provides more sustainable and economically viable cropping systems.
1307 Therefore, in this study, we aimed to evaluate the changes in growth, productive performance,
1308 soil water dynamics, efficiency and economic return in production systems with forage cactus
1309 under different growing conditions from 2017 to 2020 in the Brazilian semi-arid region. For
1310 this, two productive cycles of forage cactus subjected to exclusive and intercropping production
1311 systems with cowpea, forage sunflower, sorghum cultivars ('2502', 'SF15' and '1011') and
1312 millet, with and without mulch, were conducted. A randomized block design with three
1313 replications was used. In general, the growth rates and phenophases of the forage cactus were
1314 higher in the intercropped systems. The systems forage cactus-2502 and forage cactus-SF15
1315 obtained the highest yields with values of fresh and dry mass equal to 272 and 52 Mg ha⁻¹ and
1316 1025 and 93 Mg ha⁻¹, respectively. The highest values of consumption, water indices and
1317 revenue were observed in the intercropping, especially for forage cactus-SF15 (26,100 US\$).
1318 The intercropping although affecting the individual growth of the forage cactus promotes
1319 greater productivity, anticipation of cutting, water use efficiency and economic return to the
1320 production system.

1321

1322

1323 **Keywords:** intercropping; phenology; hydric indices; growth rates

1324

1325

1326

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

1334

1335

1336

1337 1. Introdução

1338 As mudanças climáticas ao longo dos anos dificultam as atividades agropecuárias em
1339 todo mundo e, principalmente, em áreas de climas áridos e semiáridos (Sabino et al., 2021;
1340 Sousa et al., 2021). Os efeitos destas modificações são o aumento dos períodos de estiagem,
1341 diminuindo a oferta de forragem da vegetação nativa ou pastagens cultivadas reduzem
1342 drasticamente em termos quantitativos e qualitativos, resultando em declínio do desempenho
1343 animal (Lima et al., 2015; Silva et al., 2021). Em busca de sanar as limitações evidenciadas,
1344 torna-se de grande importância a inclusão de espécies vegetais adaptadas e de manejos
1345 resilientes para contornar as limitações edafoclimáticas da região, buscando-se maior
1346 sustentabilidade produtiva e rentabilidade financeira para os sistemas agropecuários (Alves et
1347 al., 2018; Zegada-Lizarazu et al., 2021).

1348 Uma alternativa alimentar para os rebanhos é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e
1349 *Nopalea* spp.), que é adaptada as condições edafoclimáticas das regiões áridas e semiáridas
1350 (Araújo Júnior et al., 2021b; Jardim et al., 2021). Essa adaptação está atrelada ao seu mecanismo
1351 fotossintético denominado metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), havendo captação do
1352 CO₂ durante a noite, favorecendo redução da perda de água e aumento na eficiência produtiva
1353 (Garcia et al., 2014; Taiz et al., 2017). Embora esta cactácea seja rica em água, minerais,
1354 vitaminas e carboidratos, as suas estruturas vegetativas possuem baixos teores de fibra efetiva
1355 e proteína bruta, elementos essenciais para nutrição de ruminantes (Cardoso et al., 2019; Lima
1356 et al., 2015).

1357 Logo, para potencializar a produção de forragem e o equilíbrio nutricional, uma
1358 importante alternativa é a implantação de outras plantas forrageiras (e.g., sorgo forrageiro,
1359 milho, feijão-guandu e girassol forrageiro) em sistema consorciado com a palma forrageira,
1360 as quais possibilitam sustentabilidade dos cultivos, dietas balanceadas, tendo em vista o alto
1361 percentual de matéria seca das culturas (Hiolanda et al., 2018; Jardim et al., 2020; Kirchner et
1362 al., 2019; Sewsaran et al., 2019). Todavia, o sucesso destas espécies sob sistema de consórcio
1363 em ambiente semiárido dependem do uso da irrigação complementar, com o intuito de reduzir
1364 a sazonalidade hídrica e garantir o aporte forrageiro (Pereira et al., 2015; Queiroz et al., 2016;
1365 Sousa et al., 2021).

1366 Em decorrência da alta demanda atmosférica em regiões áridas e semiáridas, deve-se
1367 recorrer a estratégias que minimizem as perdas de água do solo por evaporação, para garantir
1368 maior eficiência produtiva do sistema. Assim, o uso da cobertura morta em cultivos agrícolas,
1369 reduz as perdas de água pela evaporação, além de incrementar nutrientes e matéria orgânica
1370 com a sua subsequente decomposição (Alves et al., 2018; Salvador et al., 2021; Wang et al.,

1371 2018; Zhang et al., 2021). Além disso, para aumentar a eficiência no uso dos recursos no sistema
1372 de cultivo, a utilização de consorciação entre culturas destaca-se como uma excelente
1373 alternativa para os cultivos em ambientes deficitários, uma vez que a produção é aumentada e
1374 diversificada. Estudos realizados por Diniz et al. (2017), Jardim et al. (2021) e Lima et al.,
1375 (2018a) comprovaram a eficiência do consórcio palma-sorgo em comparação ao seu
1376 monocultivo. No entanto, ainda são escassos estudos com a inter-relação entre os sistemas
1377 contendo palma e outras culturas agrícolas (e.g., palma-milheto, palma-girassol e palma-feijão-
1378 guandu) em regiões com déficit hídrico.

1379 Embora as práticas citadas possibilitem benefícios, é de suma importância o
1380 entendimento da dinâmica de água no sistema solo-planta-atmosfera, sob diferentes arranjos de
1381 cultivos. Desta forma, o balanço de água no solo pode auxiliar no melhor planejamento hídricos
1382 nos diferentes sistemas de irrigação e, permite compreender melhor a demanda hídrica e
1383 interação das espécies em cultivos exclusivos e/ou consorciados (Pereira et al., 2020; Queiroz
1384 et al., 2016; Zhang et al., 2022).

1385 Além disso, o entendimento quanto a dinâmica de crescimento das culturas à manejos e
1386 sistemas de cultivos, é imprescindível para melhoria da compreensão do comportamento
1387 morfofisiológico e desempenho produtivo dos vegetais. Para isto, utiliza-se índices
1388 morfofisiológicos (i.e., taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo
1389 (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área do cladódio específico (ACE)), os quais são
1390 quantificados a partir da obtenção de dados biométricos e produtivos ao longo do
1391 desenvolvimento da cultura e da utilização de métodos matemáticos, retratando amplificação
1392 espaço-temporal da espécie cultivada (Nunes et al., 2020; Queiroz et al., 2015).

1393 Com isso, a hipótese do estudo é que a implantação de culturas agrícolas adaptadas ao
1394 semiárido brasileiro, aliada ao uso de práticas de manejo resilientes (e.g., consorciação,
1395 irrigação complementar e cobertura morta) reduzem a sazonalidade na produção de forragem
1396 durante o período de estiagem e, propiciam sistemas de cultivo sustentáveis e economicamente
1397 viáveis devido o melhor gerenciamento e, aproveitamento dos recursos naturais. Com isso,
1398 objetivou-se avaliar as modificações no crescimento, desempenho produtivo, dinâmica de água
1399 no solo, eficiência e retorno econômico em sistemas de produção com palma forrageira sob
1400 diferentes condições de cultivo, com perspectiva de aumento na produção de forragem para os
1401 rebanhos de regiões semiáridas.

1402

1403 2. Material e métodos

1404 2.1 Localização e caracterização da área experimental

1405 O experimento foi realizado no “Centro de Referência Internacional de Estudos
1406 Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras” (Figura 1), localizado na
1407 Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
1408 (UFRPE/UAST), no município de Serra Talhada, PE, Brasil (Latitude: 7°59’S, Longitude:
1409 38°15’O e Altitude: 499 m).

1410

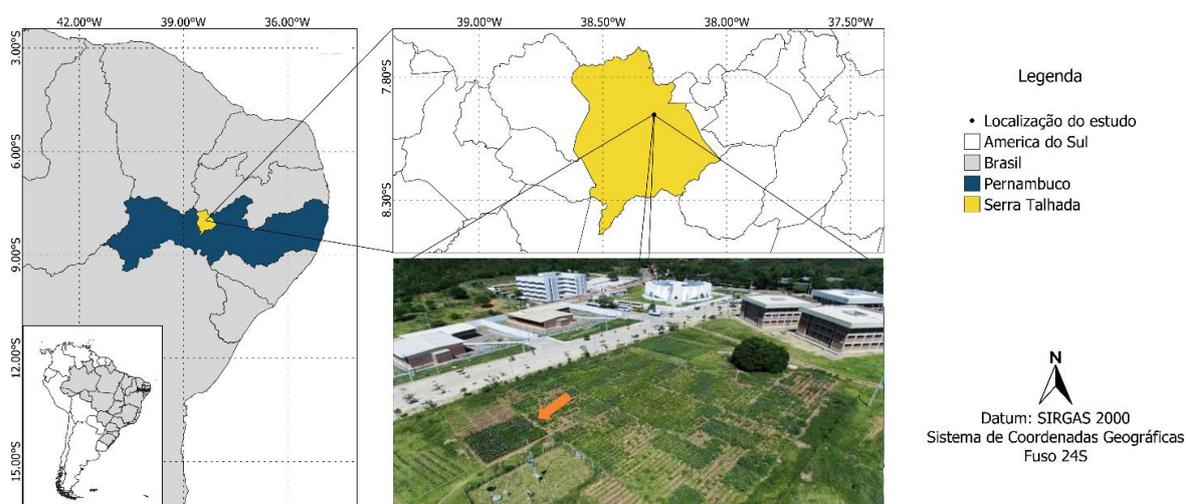


Fig. 1. Localização da área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil. A seta mostra a área de cultivo experimental.

1411

1412 Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BSw^h, com longa estação seca,
1413 concentrando-se de maio a dezembro e chuvas no verão (Alvares et al., 2013). A temperatura
1414 média do ar é de 26,5 °C, umidade relativa do ar de 62,7%, com precipitação pluvial média de
1415 642 mm ano⁻¹ e evapotranspiração potencial de 1.800 a 2.000 mm ano⁻¹, com isso, acarretando
1416 balanço hídrico negativo em maior parte do ano (Pereira et al., 2015; Silva et al., 2015a).

1417 O solo da área experimental, após análise laboratorial na EMBRAPA Semiárido, foi
1418 classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (Tabela 1), com relevo plano,
1419 conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

1420

1421

1422

1423

1424

1425 Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háptico em Serra Talhada, PE, Brasil.

Propriedades físicas										
Prof cm	Ø %	Areia			Silte			Argila		
0-20	42,27	828,6			148,3			23,2		
Propriedades químicas										
Prof cm	C.E. dS m ⁻¹	pH	C g kg ⁻¹	P Mg dm ⁻³	K	Na	Ca cmolc dm ⁻³	Mg	CTC	V %
0-20	0,33	6,0	4,6	168,9	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2

Prof.: profundidade, Ø: porosidade total, C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação, CTC: capacidade de troca de cátions, e V: saturação de bases.

1426

1427 Durante o primeiro ciclo de crescimento da palma, a precipitação pluviométrica acumulada e
 1428 lâmina de irrigação aplicada de setembro 2017 a outubro de 2018 foi de 551,8 mm e 855,01
 1429 mm respectivamente. A ET_0 média apresentou 5,14 mm dia⁻¹ (i.e., com máxima 6,21 e mínima
 1430 de 3,16 mm dia⁻¹). O total de água demandado foi de 1406,81 mm (Fig. 2). Para o segundo
 1431 ciclo, de fevereiro de 2019 a junho de 2020, a chuva e lâmina aplicada foi de 1648,9 mm e
 1432 402,37 mm, respectivamente. Em média, a ET_0 foi de 4,70 mm dia⁻¹, com máxima de 6,52 mm
 1433 dia⁻¹ e mínima 3,22 mm dia⁻¹, com uma totalidade de água de 2051,27 mm.

1434

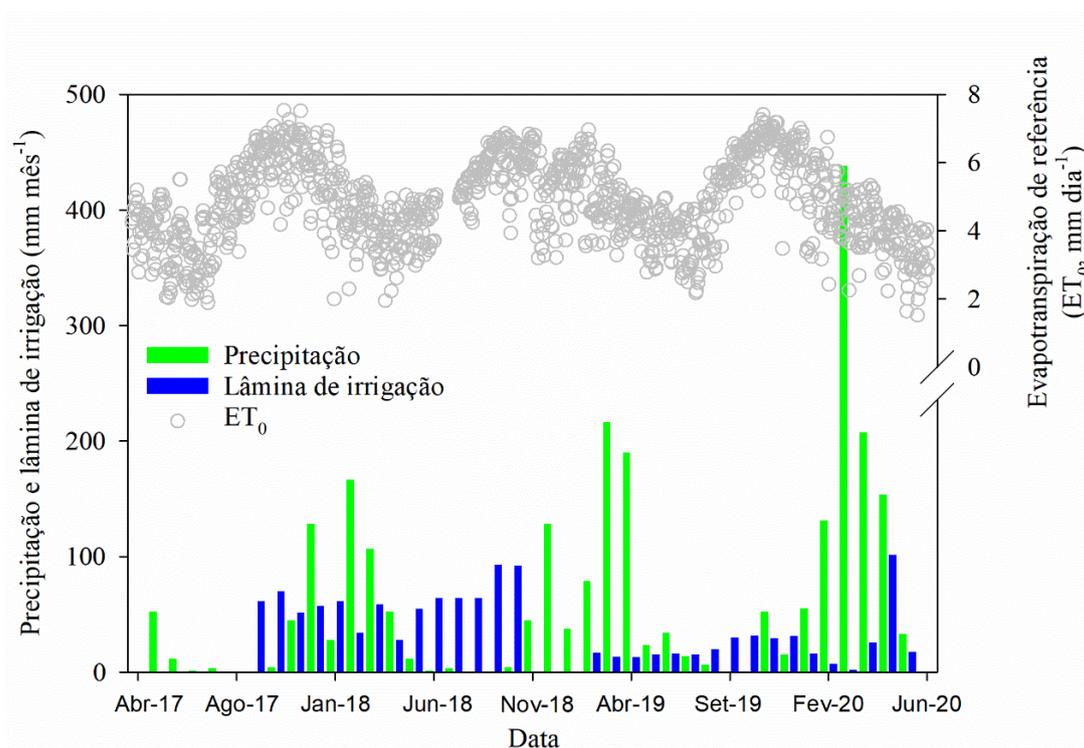


Fig. 2. Condições ambientais e disponibilidade hídrica via irrigação durante o período experimental de setembro 2017 a junho de 2020, no município de Serra Talhada - PE, Brasil.

1435

1436 2.2 Design experimental e manejo das forrageiras

1437 O experimento possui área total de 144 m², e cada parcela experimental 12 m². A palma
 1438 forrageira foi implantada no dia 26 de abril de 2017, com o plantio dos cladódios em
 1439 alinhamento dominó, inserindo 50% dos cladódios ao solo, com o espaçamento de 1,0 m x 0,10
 1440 m (100.000 plantas por hectare), onde foi conduzida em sequeiro até agosto de 2017. O material
 1441 vegetal utilizado foi a palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana (OEM) [*Opuntia*
 1442 *stricta* (Haw.) Haw.], resistente a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*). A palma foi
 1443 conduzida durante dois ciclos produtivos, o primeiro iniciou-se em setembro de 2017 a outubro
 1444 de 2018 (~13 meses). Durante esse período, os tratamentos impostos foram a palma exclusiva
 1445 e consorciada com feijão-guandu (cv. BRS Mandarin), girassol forrageiro (genótipo Rumbosol
 1446 91) e o sorgo (cv. IPA 2502). Os tratamentos receberam cobertura morta a base de *Urochloa*
 1447 *mosambicensis* Hack. Dandy sobre o solo, com aplicação de 16 t ha⁻¹ com base na massa seca
 1448 (Fig. 3).

1449

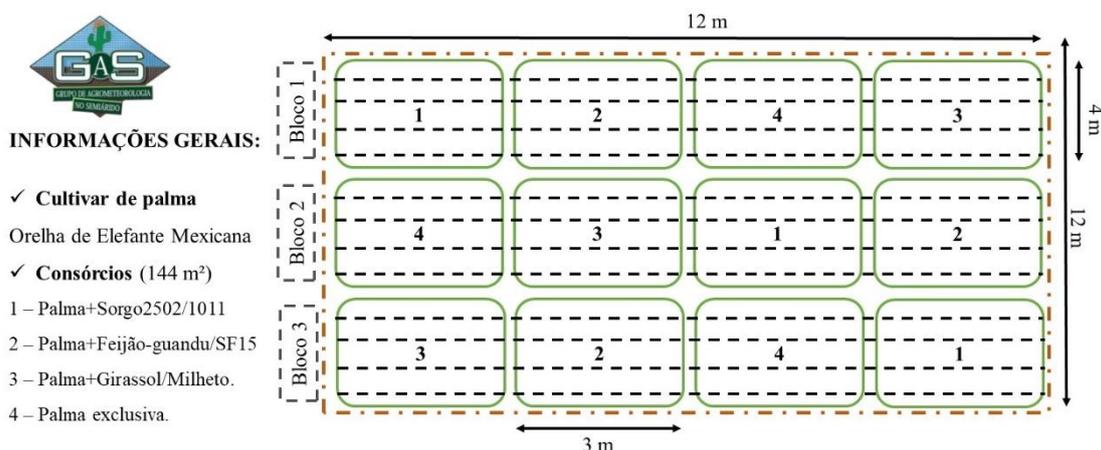


Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.

1450

1451 As culturas semeadas em consórcio com a palma foram implantadas no dia 16 de
 1452 outubro de 2017, em sucros abertos a 0,05 m de profundidade e a 0,30 m de distância do cladódio
 1453 basal (cladódio mãe). Para o sorgo, após a emergência das plantas, foi realizado um desbaste,
 1454 conservando-se 20 plantas por metro linear (200.000 plantas por hectare). Já para o feijão-
 1455 guandu e o girassol, utilizou-se o espaçamento de 0,25 m entre plantas e um metro entre fileiras
 1456 (40.000 plantas por hectare). O sorgo foi conduzido em quatro ciclos, um de planta (21/10/17
 1457 a 06/02/18) e três rebrotas (06/02/18 a 05/04/18; 05/04/18 a 08/06/18 e 08/06/18 a 20/08/18).
 1458 O girassol foi acompanhado durante três ciclos de planta (26/10/17 a 19/01/18; 29/01/18 a

1459 05/05/18 e 16/05/2018 a 03/08/18), enquanto o feijão-guandu apenas um ciclo (24/10/2017 a
1460 16/04/18).

1461 Durante o segundo ciclo da palma (fevereiro de 2019 a junho de 2020), os diferentes
1462 sistemas de cultivo foram conduzidos sem a presença de cobertura morta no solo. As culturas
1463 presentes no consórcio foram milheto (cv. Bulk-01) e cultivares de sorgo (IPA-SF15 e IPA-
1464 1011). Todas foram implantadas no dia 04 de fevereiro de 2019 em sulcos com profundidade de
1465 0,05 m, semeadas na distância de 0,3 m do cladódio basal da palma forrageira. Após emergência
1466 das plantas, foi feito um desbaste e, conservou-se 20 plantas por metro linear (200.000 plantas
1467 por hectare). O milheto foi conduzido em três ciclos, um de planta (09/09/2019 a 27/12/19) e
1468 duas rebrotas (27/12/19 a 25/03/20 e 25/03/20 a 12/06/2020). As cultivares de sorgo também
1469 foram conduzidas por um ciclo de planta (09/09/19 a 26/12/19) e duas rebrotas (26/12/19 a
1470 25/03/20 e 25/03/20 a 12/06/2020). No dia 28 de outubro de 2019 foi realizada uma adubação
1471 com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), considerando-se as condições químicas do solo
1472 da área experimental e exigência em nutrientes da palma forrageira com base na recomendação
1473 do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

1474 O manejo de irrigação foi realizado em três dias da semana (segundas, quartas e sextas-
1475 feiras) no período da manhã, por um sistema de gotejamento com emissores espaçados a 0,2 m,
1476 vazão de 1,57 L h⁻¹, coeficiente de uniformização de aplicação de água de 92% a uma pressão
1477 de trabalho de 100 kPa. A lâmina de irrigação aplicada foi com base na evapotranspiração da
1478 cultura (ET_c) principal, que para o estudo considerou-se a palma forrageira, cujo K_c adotado
1479 foi de 0,52, conforme Queiroz et al. (2016). A água utilizada para a irrigação das culturas foi
1480 advinda de um poço artesiano, com condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹, concentração média
1481 de sódio de 168,66 mg L⁻¹ e potássio de 8,17 mg L⁻¹ e pH de 6,84, classificada com C₃ (alta
1482 salinidade), segundo a classificação de Richards (1954). Para a determinação da
1483 evapotranspiração de referência (ET₀), utilizou-se o método de Penman-Monteith,
1484 parametrizado no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998). Os dados meteorológicos foram
1485 obtidos a partir de uma estação meteorológica automatizada, localizada a ~20 m da área
1486 experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

1487 Antes da realização das irrigações, foram monitoradas a umidade do solo com auxílio
1488 de uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltd., Austrália). A mesma foi calibrada
1489 para as condições locais, conforme o fabricante e a metodologia proposta por Araújo Primo et
1490 al. (2015). Foi monitorado oito tubos de acesso com 0,70 m de profundidade, sendo os mesmos
1491 espaçados a 0,10 m da fileira da palma e dos consórcios.

1492

1493 2.3 *Análise de crescimento e produtividade das forrageiras*1494 2.3.1 *Palma forrageira*

1495 As campanhas biométricas foram realizadas mensalmente e avaliação das biomassas a
 1496 cada 90 dias, com o intuito de observar o desenvolvimento da cultura ao longo do tempo. Para
 1497 isso, escolheu-se duas réplicas dentro de cada parcela experimental, para obtenção dos dados.
 1498 Com o auxílio de uma fita métrica foram mensuradas as seguintes variáveis, altura da planta
 1499 (AP – cm) e largura da planta (LP – cm), número total de cladódios (NTC - unidades), assim
 1500 como o número de cladódios de ordens subsequentes (NC1, NC2, assim sucessivamente). Em
 1501 cada planta escolheu-se uma ramificação e foi mensurado o comprimento (CC - cm), largura
 1502 (LC - cm), perímetro (PC - cm) e espessura (EC - cm) dos cladódios. A partir disto, seguindo
 1503 foi determinado a área do cladódio (AC, cm²) para todas as ordens de surgimento seguindo a
 1504 equação 1 (Silva et al., 2014), em sequência foi realizado o cálculo do índice de área do cladódio
 1505 (IAC, m² m⁻²), conforme a equação 2 (Pinheiro et al., 2014), considerando a razão entre a área
 1506 do cladódio e o espaçamento do sistema.

1507

$$1508 \quad AC_{OEM} = 0,7086 * \frac{(1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC))}{0,000045765} \quad (1)$$

1509

$$1510 \quad IAC = \frac{(\sum_n^{i=1} AC)}{\frac{10000}{E1 * E2}} \quad (2)$$

1511

1512 A produtividade da palma foi obtida na colheita final, deixando-se apenas os cladódios
 1513 basais e de primeira ordem referentes as plantas da área útil, os demais seguiram para pesagem,
 1514 com isso, obtendo-se o peso fresco total das plantas (kg). Posteriormente, foram escolhidos dois
 1515 cladódios representativos de cada parcela, onde foram cortados, acondicionados em sacos de
 1516 rafia, identificados e levados a estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55 °C,
 1517 até alcançar peso seco constante.

1518 O rendimento de matéria fresca (MF) (Mg ha⁻¹) foi estimado a partir da consideração do
 1519 peso fresco total da parcela, com a densidade final de plantas, contabilizada na área útil da
 1520 parcela. Para estimativa de matéria seca (Mg ha⁻¹), considerou-se a matéria fresca das plantas e
 1521 os teores de massa seca dos cladódios.

1522

1523 2.3.2 *Sorgo forrageiro, milho, feijão-guandu e girassol*

1524 Os dados biométricos de duas plantas representativas foram coletados na ocasião da
1525 colheita. A aquisição dos dados finais para obtenção da produtividade, inicia-se com a
1526 contagem do número de plantas totais em 2 metros lineares, em duas fileiras da parcela útil,
1527 com isso possibilita-se realizar a estimativa da densidade final de plantas por hectare.
1528 Posteriormente, foram selecionadas 10 plantas representativas dentro da parcela útil, dessas,
1529 escolheu-se duas plantas para obtenção dos dados biométricos, enquanto as demais
1530 encaminharam-se para a determinação da matéria fresca da parcela e, posteriormente, a
1531 estimativa da produtividade em matéria verde (MV) por hectare. Para a obtenção da
1532 produtividade de matéria seca (MS) foi realizado o fracionamento das duas plantas da biometria
1533 em folhas vivas e mortas, colmo e panícula, para o sorgo e milho.; para o feijão-guandu,
1534 folhas, flor, vagem e caule tenro e lignificado; para o girassol, folha morta e viva, caule e
1535 capítulo. Logo em seguida as frações foram colocadas em uma estufa de circulação forçada de
1536 ar, com temperatura constante de 55 °C, até as amostras apresentarem peso constante.

1537

1538 2.4 *Índices morfofisiológicos, fenofases e momento de corte da palma forrageira*

1539 A determinação dos índices morfofisiológicos ocorreu por meio de análises de regressão
1540 entre a produtividade de matéria seca e o índice de área do cladódio, que estão associados a
1541 variável independente, graus dias acumulados (GDA). O GDA foi obtido por meio da soma da
1542 diferença entre a temperatura média do dia, com a temperatura basal da palma que é de 22° C
1543 (Araújo Júnior et al., 2017). A partir disto, ajustaram-se modelos matemáticos sigmóides com
1544 coeficientes de determinação superior a 0,85, posteriormente derivados para os cálculos das
1545 taxas diárias para o acúmulo de massa seca, resultando na taxa de crescimento absoluto (TCA,
1546 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$). Também quantificou-se as taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$),
1547 identificando o acúmulo de biomassa seca a contar de biomassa pré-existente; taxa de
1548 assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), mostrando a eficiência de assimilação de CO_2 e
1549 conversão de matéria seca; área do cladódio específico (ACE, $\text{ha Mg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), refletindo a área
1550 de cladódios da planta com base no peso seco e momento de corte (Jardim et al., 2021d; Nunes
1551 et al., 2020; Queiroz et al., 2015).

1552 As fases fenológicas foram delimitadas por meio de regressões, onde utilizou-se
1553 modelos sigmóides com três parâmetros, associando-se aos graus dias cumulados (GDA, $^{\circ}\text{Cdia}$)
1554 e números de cladódios por sequência de emissão. Em equações cujo R^2 foi maior que 0,90 e
1555 com parâmetros significativos ($p < 0,05$), determinou-se as taxas de emissões diárias de
1556 cladódios. Uma nova fase vegetativa foi considerada quando a taxa de emissão de cladódio foi

1557 superada por uma nova ordem subsequente. Enquanto o momento de corte foi definido
 1558 relacionando-se o rendimento de massa seca. Onde, em determinado GDA ocorreu 25% da
 1559 taxa máxima do acúmulo de massa seca, configura-se no momento de corte ideal da palma
 1560 (Amorim et al., 2017).

1561
 1562 *2.5 Balanço de água no solo*

1563 O balanço de água no solo foi quantificado pelo método de Libardi (2005), que é
 1564 baseado na conservação da massa da água em um volume de solo conhecido, conforme Equação
 1565 3:

$$1566 \pm \Delta h_L = P + I \pm R \pm Q - ET \quad (3)$$

1567 em que: Δh_L – variação do armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação (mm); I –
 1568 irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm),
 1570 quando for negativo ocorre drenagem interna e positivo ascensão capilar; e ET –
 1571 evapotranspiração real (mm).
 1572

1573
 1574 A variação do armazenamento de água no solo (Δh_L) foi determinada pela diferença dos
 1575 valores finais e iniciais do armazenamento de água no solo. Os valores obtidos por meio de
 1576 leituras com a sonda capacitiva (Diviner 2000®), para camadas a cada 0,10 m, conforme
 1577 Equação 4:

$$1578 \Delta h_L = (\theta_f - \theta_i)L \quad (4)$$

1580
 1581 onde: θ_f e θ_i – refere-se ao conteúdo de água volumétrico final e inicial, respectivamente; L –
 1582 profundidade de interesse, análise do sistema radicular (mm).
 1583

1584 A precipitação pluviométrica (P) foi monitorada a partir de um pluviômetro situado em
 1585 uma estação meteorológica automática que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia –
 1586 INMET, situada nas proximidades da área experimental. Após obtenção dos dados, os valores
 1587 foram integrados para um determinado intervalo em dias, conforme Equação (5):
 1588

$$1589 \quad \int_{t_i}^{t_j} p dt = P \quad (5)$$

1590

1591 em que: p – intensidade da precipitação (mm dia⁻¹); t – tempo.

1592

1593 O total da água de irrigação (I) desenvolveu-se a partir da integração de todos os valores
1594 dos eventos de irrigação que ocorrerão durante a condução dos experimental Equação (6):

1595

$$1596 \quad \int_{t_i}^{t_j} i dt = I \quad (6)$$

1597

1598 em que: i – intensidade de irrigação (mm dia⁻¹).

1599

1600 O escoamento (R) foi determinado a partir de coletas de água escoada durante os eventos
1601 pluviométricos, ajustou-se uma curva de segundo grau da água precipitada com a água escoada,
1602 estes dados foram obtidos de calha com área equivalente a 1 m².

1603

1604 O fluxo vertical de água no solo (Q) foi obtido através da base limite inferior do perfil
1605 do solo (0,60 m de profundidade) utilizando-se dados do potencial total de água da camada logo
1606 acima (0,5 m) e abaixo (0,7 m), com a equação Buckingham-Darcy (Libardi, 2005), onde pôde-
1607 se determinar ascensão capilar (AC) quando valores positivos e drenagem profunda (DP)
1608 valores negativos. A densidade do fluxo (q) é advindo da quantificação por meio da equação
1609 proposta por Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), Equação 7:

1610

$$1611 \quad q = - K(\theta) \frac{\Delta \psi_t}{\Delta z} \quad (7)$$

1612

1613 em que: q – densidade de fluxo de água no solo (mm dia⁻¹) na profundidade de controle; K(θ)
1614 – condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia⁻¹); Δψ_t/Δz –
1615 gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas abaixo e acima da profundidade
1616 estabelecida.

1617

1618 A condutividade hidráulica do solo foi determinada em função da umidade $K(\theta)$,
 1619 utilizando-se o método do perfil instantâneo descritos por Libardi (2005), Equação 8:

1620

$$1621 \quad K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta-\theta_0)} \quad (8)$$

1622

1623 onde: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica no
 1624 solo saturado (mm dia^{-1}); γ – é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do
 1625 conteúdo de água no solo (θ); θ_0 – conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição,
 1626 sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105$
 1627 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Silva et al., 2015b).

1628

1629 Segundo Araújo Primo et al. (2015), o gradiente do potencial total de água no solo
 1630 ($\Delta\psi/\Delta z \text{ m m}^{-1}$), em camada de 0,50 e 0,70 m, pode-se ser estimado pela Equação 9:

$$1631 \quad \psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (9)$$

1632

1633 em que: α e β são coeficientes adimensionais que serão ajustados, por meio do método do perfil
 1634 instantâneo, para as camadas de 0,50 m (249,9288 e -20,2236) e 0,70 m (789,0253 e -19,1510)
 1635 (Silva et al., 2015a).

1636 A quantificação da evapotranspiração (ET, mm) foi por meio do resíduo da equação do
 1637 balanço de água no solo (Equação 3), para intervalos de 7 dias.

1638

1639 2.6 Índices hídricos

1640 A obtenção dos índices teve como base a produtividade de matéria fresca e seca, na
 1641 quantidade de água inserida no cultivo, via precipitação (P) e irrigação (I), e na
 1642 evapotranspiração real (ETr). A eficiência do uso da água (WUE) é responsável pelo
 1643 dimensionamento da quantidade de água utilizada pela quantidade de água aplicada no sistema
 1644 de cultivo. Diante disto, a eficiência do uso da água da cultura (WUEc) foi determinada pela
 1645 relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a quantidade de água aplicada (P+I), conforme
 1646 Fernández et al. (2020) (Equação 10):

1647

$$1648 \quad WUEc = \frac{\sum ETr}{\sum P+I} \quad (10)$$

1649

1650 em que: $WUEc$ – eficiência do uso da água da cultura ($m^3 m^3$); ETr – evapotranspiração real
 1651 (m^3); P - precipitação (m^3); I – irrigação (m^3).

1652

1653 A eficiência do uso da água da cultura ($*WUEc$) é a relação entre a biomassa total de
 1654 uma determinada cultura e a evapotranspiração real (ETr) (Fernández et al., 2020) (Equação
 1655 11):

1656

$$1657 \quad *WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma ETr} \quad (11)$$

1658

1659 em que, $*WUEc$ – eficiência do uso da água da cultura ($kg m^3$); Biomassa – Biomassa seca
 1660 total de uma cultura ($kg ha^{-1}$); ETr – evapotranspiração real (m^3).

1661

1662 O cálculo para determinar a produtividade da água da cultura (WPc) (Equação 12) foi
 1663 por meio da relação entre o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e a
 1664 evapotranspiração real (ETr) (Fernández et al., 2020):

1665

$$1666 \quad WPc = \frac{Y}{\Sigma ETr} \quad (12)$$

1667

1668 em que, WPc – produtividade da água da cultura ($kg m^3$); Y – rendimento de matéria seca (kg
 1669 m^3); ETr - evapotranspiração real ($kg m^3$).

1670

1671 A produtividade da água da cultura ($*WPc$) também foi calculada sendo a relação entre
 1672 o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e o total de água envolvida na produção
 1673 durante todo o ciclo ($P+I$) (Fernández et al., 2020) (Equação 13):

1674

$$1675 \quad *WPc = \frac{Y}{P+I} \quad (13)$$

1676

1677 em que, $*WPc$ – produtividade da água da cultura ($kg m^3$); Y – rendimento de matéria seca (kg
 1678 ha^{-1}); P – precipitação (m^3); I – irrigação (m^3).

1679

1680 A produtividade da água de irrigação (WPi) foi obtida pelo rendimento da cultura sobre
 1681 a quantidade de água aplicada via irrigação (I) (Fernández et al., 2020) (Equação 14):

1682

$$1683 \quad WPI = \frac{Y}{\Sigma I} \quad (14)$$

1684

1685 em que, WPI – produtividade da água irrigação (kg m³); Y – rendimento de matéria fresca e
 1686 seca (kg ha⁻¹); I – irrigação (m³).

1687

1688 Para determinação da produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI),
 1689 utilizou-se a relação entre a margem bruta (Margem bruta = Receitas - Custos variáveis),
 1690 Receita= rendimento de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21
 1691 reais) e Custos variáveis= soma do custo com energia, mão-de-obra e depreciação dos
 1692 componentes. Para isso, no presente estudo o cálculo foi baseado no dólar americano, em razão
 1693 da irrigação aplicada durante todo o ciclo de cultivo (Fernández et al., 2020) (Equação 15):

1694

$$1695 \quad GEWPI = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad (15)$$

1696

1697 GEWPI – produtividade da água irrigação (US\$ m³); Margem bruta (US\$); I – irrigação (m³).

1698

1699 A produtividade econômica líquida da irrigação foi calculada sendo a relação entre a
 1700 margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis), Receita= rendimento
 1701 de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21 reais), Custos fixos=
 1702 conjunto moto bomba, recalque e implantação da cultura e Custos variáveis= soma do custo
 1703 com energia, mão-de-obra e depreciação dos componentes. e a lâmina de irrigação acumulada
 1704 de todo o período experimental (Fernández et al., 2020) (Equação 16):

1705

$$1706 \quad NEWPI = \frac{\text{Margem Líquida}}{\Sigma I} \quad (16)$$

1707

1708 em que, NEWPI - produtividade econômica líquida da irrigação (US\$ m³); Margem líquida
 1709 (US\$); I - irrigação (m³).

1710

1711 A produtividade econômica da água da cultura (EWPC) foi calculada baseada na relação
 1712 entre o lucro produzido pela cultura (receita variável, custos fixos e de oportunidade) e a

1713 quantidade total de água aplicada em toda a área cultivada (Fernández et al., 2020) (Equação
1714 17):

$$1715 \quad \text{EWPc} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (17)$$

1717
1718 em que, EWPc - produtividade econômica da água da cultura (US\$ m³); Profit – lucro (US\$);
1719 P – precipitação (m³); I - irrigação (m³).

1720
1721 A produtividade econômica da água de irrigação (EWPi) foi calculada com base no
1722 valor do Profit e a lâmina de água aplicada via irrigação (Fernández et al., 2020) (Equação 18):

$$1723 \quad \text{EWPi} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (18)$$

1725
1726 em que, EWPi – produtividade econômica da água de irrigação (US\$ m³); Profit – lucro
1727 (US\$); I - irrigação (m³).

1728 2.7 Análise estatística

1730 Os dados de produtividade de massa fresca e seca foram submetidos a teste de
1731 normalidade dos resíduos, de homogeneidade das variâncias e análise de variância ($p < 0,05$),.
1732 Quando as médias foram significativas utilizou-se o teste de Tukey. a 5% de probabilidade.
1733 Para todas as análises, o programa estatístico utilizado foi o R (R Core Team, 2018). Para ajustar
1734 as curvas de regressão e confecção dos gráficos das fenofases, taxas de crescimento, acúmulo
1735 de massa seca e momento de corte foi utilizado o SigmaPlot (versão 14.0).

1736 3. Resultados

1737 3.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

1738 3.1.1 Taxas do primeiro ciclo palma forrageira

1740 Observou-se que inicialmente a palma em todos os tratamentos apresentou crescimento
1741 lento, seguindo-se de um crescimento rápido e posteriormente uma queda brusca em seu
1742 rendimento de massa seca (Fig. 4A). O consócio entre a palma-girassol (P-GI) foi o detentor
1743 do maior acúmulo da TCA, com 0,033 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, cujo pico máximo foi atingido em 1020
1744 °Cdia⁻¹. Observa-se a taxa de crescimento relativo (TCR) (Fig. 4B) que em todos os tratamentos
1745 a TCR máxima ocorreu no início do ciclo experimental. Todavia, observou-se uma redução

1746 acentuada ente os 500 e 1500 °Cdia⁻¹, após isso, houve uma estabilidade até a final do ciclo
 1747 (2136 °Cdia⁻¹), configurando inexistência de crescimento relativo. No entanto destaca-se que o
 1748 sistema P-GI apresentou TCR máxima de 0,0030 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹.
 1749

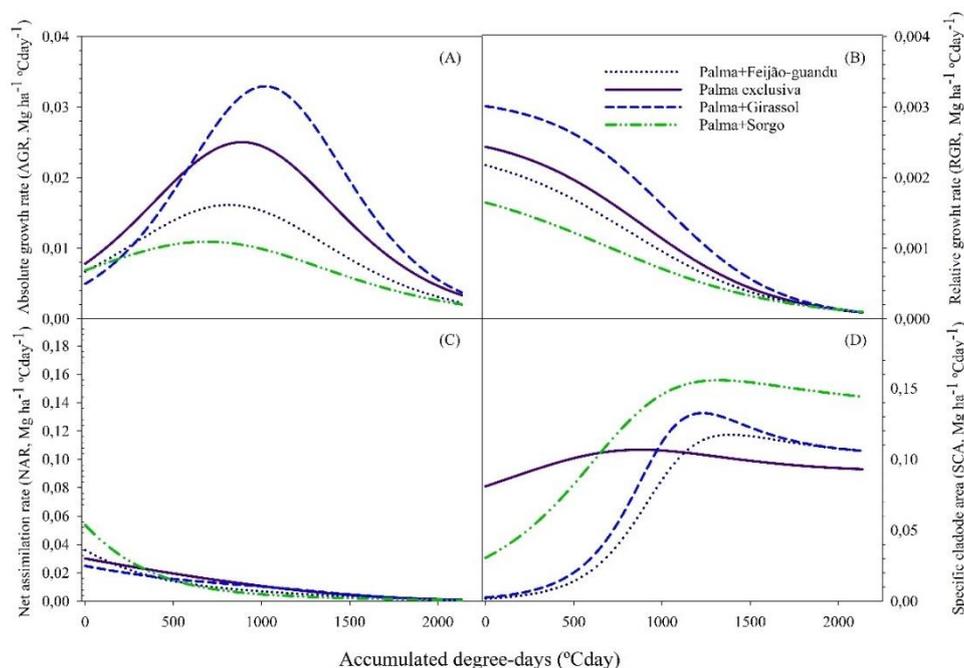


Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha⁻¹ °Cdia).

1750
 1751 Ainda na Fig. 4C testemunha-se em todos os tratamentos a taxa de assimilação líquida
 1752 (TAL) foi maior no início do ciclo, no entanto, o sistema da palma-sorgo (P-S) se destacou,
 1753 apresentando a TAL máxima de 0,0537 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. De maneira geral, a assimilação foi
 1754 reduzindo acentuadamente após ~1000 graus dias acumulados (GDA) e estabilizando-se de
 1755 ~1100 a 2136 GDA. O comportamento da área do cladódio específica (ACE) apresentou baixa
 1756 performance no primeiro momento (Fig. 4D), tendo em vista o desenvolvimento inicial da
 1757 cultura com emissão de novos cladódios. De modo geral, os tratamentos apresentaram ACE
 1758 máxima no intervalo de ~1000 a 1200 GDA. Após este pico, ocorre uma redução e
 1759 posteriormente estabilização em todos os tratamentos. No entanto, o cultivo da palma-sorgo
 1760 apresentou ACE máxima de 0,1557 ha Mg⁻¹.

1761

1762 3.1.2 Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo

1763 Para taxa de crescimento absoluto (TCA) (Fig. 5A), pode-se observar que todos os
 1764 tratamentos têm crescimento relativamente lento, até atingir o pico e posteriormente queda
 1765 acentuada até o final do ciclo 2094 GDA. No entanto, o consórcio palma-SF15 superou os
 1766 demais com TCA de $0,0619 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$, que foi atingida aos 669 GDA. O pico máximo da
 1767 taxa de crescimento relativo (TCR) (Fig. 5B) só ocorreu no início da condução experimental,
 1768 porém, houve uma redução demasiada ente os 400 a $1700 \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$, que posteriormente ocorreu
 1769 uma estabilização da curva até a colheita ($2094 \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$), representando ausência de crescimento
 1770 relativo. Contudo, o consórcio palma exclusiva (PEXC) expressou uma TCR máxima de $0,0023$
 1771 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$.
 1772

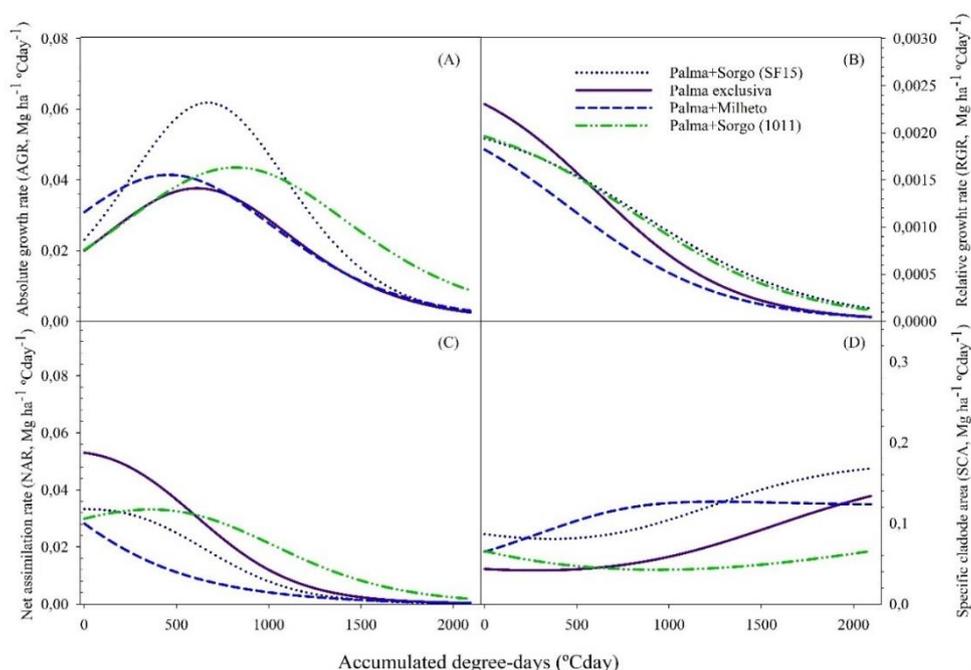


Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$) e (D) área do cladódio específico (ACE, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}$).

1773
 1774 A taxa de assimilação líquida (TAL) em todas as condições de cultivos foi maior no
 1775 início (Fig. 5C), todavia, o sistema PEXC foi superior ($0,0530 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$) aos demais
 1776 tratamentos. Claramente, a TAL começou a reduzir em 500 a 1500 GDA para todos os sistemas
 1777 e, de modo geral estabilizou-se a partir 1500 GDA. A área do cladódio específica (ACE) (Fig.
 1778 5D) inicialmente foi baixa em decorrência do desenvolvimento da emissão de cladódios de

1779 ordens subsequentes. De modo geral, os tratamentos apresentaram ACE máximo no intervalo
 1780 de ~500 a 1900 GDA. Em seguida ocorre a estabilização em todos os tratamentos. Além disso,
 1781 a máxima ACE foi de 0,0333 ha Mg⁻¹ para o consórcio palma-SF15 (P-SF15).

1782

1783 3.2 Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma

1784 3.2.1 Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira

1785 Observa-se que para todos os sistemas de cultivo houve ocorrência de duas fases
 1786 fenológicas para palma forrageira (Fig. 6). No entanto, a emissão de cladódios de primeira
 1787 ordem não foi superada pela de segunda. Já em associação a taxa máxima de emissão de
 1788 cladódios, observou-se similaridades entre os tratamentos avaliados (Fig. 6A, 6B, 6C e 6D).

1789

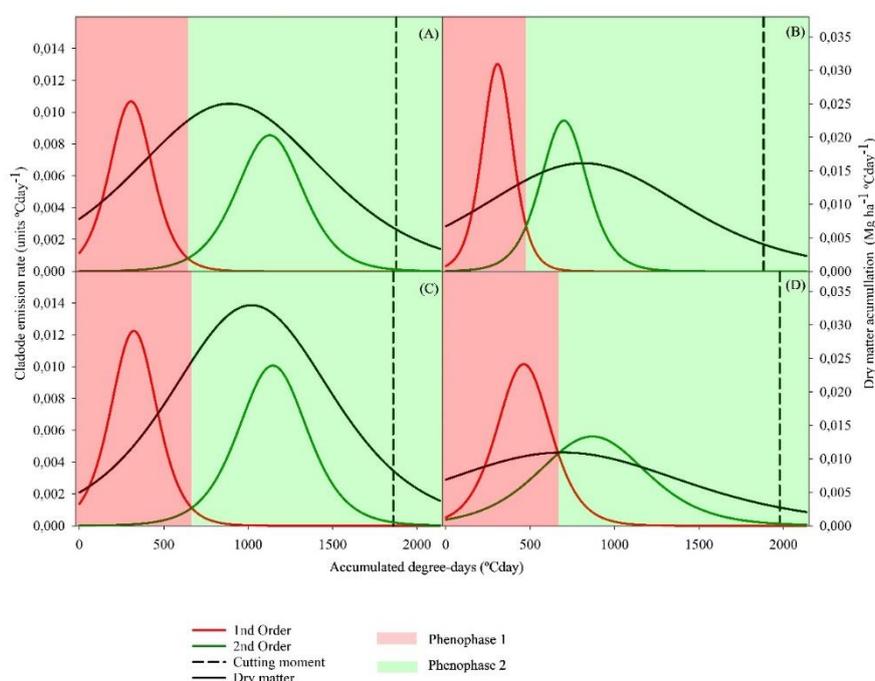


Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-G), (C) Palma-Girassol (P-GI) e (D) Palma-Sorgo (P-S).

1790 Para a fenofase 1, a taxa de emissão de cladódios máxima ocorreu no consórcio palma-
 1791 feijão-guandu (P-G) (0,013 unid. °Cdia⁻¹) (Fig. 6B), no entanto, o sistema palma-girassol (P-
 1792 GI) apresentou uma emissão próxima da máxima, de 0,012 unid. °Cdia⁻¹. Para os sistemas palma
 1793 exclusiva (PEXC) (Fig. 6A) e palma-sorgo (P-S) (Fig. 6D) apresentaram tendências similares
 1794 com 0,010 unid. °Cdia⁻¹. A emissão máxima da fenofase 2 ocorreu no sistema P-GI (0,010 unid.

1795 °Cdia⁻¹) (Fig. 6C), seguindo-se dos cultivos da P-FG (Fig. 6B), PEXC (Fig. 6A) e P-S (Fig 6D),
1796 com 0,009; 0,008 e 0,006 unid. °Cdia⁻¹, respectivamente. Embora tenha ocorrido diferenças
1797 entre as taxas máximas de emissão, observa-se que a durabilidade das fases não foi afetada em
1798 decorrência do cultivo da palma exclusiva ou consorciada. Apenas o consórcio da palma com
1799 o feijão-guandu que necessitou de 500 °Cdia, representando 200 °Cdia a menos para realizar a
1800 mudança para fase 2, os demais sistemas levaram em torno de 700 °Cdia. Em relação ao
1801 momento de corte, em média ocorreu em 1899 °Cdia. No entanto é de se destacar que o sistema
1802 P-S precisou de mais 78 °Cdia para atingir o momento ideal para o corte (1977 °Cdia).

1803

1804 3.2.2 Crescimento segundo ciclo da palma forrageira

1805 A Fig. 7 mostra a emissão de cladódios da palma em consórcio e em condição exclusiva
1806 no semiárido brasileiro, onde, pode-se presenciar duas fases fenológicas, ou seja, emissão de
1807 cladódios de segunda e terceira ordem. A emissão de cladódios de segunda ordem não foi
1808 superada pelos de terceira ordem. A taxa de emissão máxima de cladódios da fenofase 2 ocorreu
1809 no consórcio palma-sorgo1011 (P-S1011) (0,017 unid. °Cdia⁻¹) (Fig. 7D), logo em seguida os
1810 sistemas palma exclusiva (PEXC) (Fig. 7A) e palma-milheto (P-M) (Fig. 7C) com 0,016 unid.
1811 °Cdia⁻¹ cada. Para o cultivo da palma-sorgoSF15 (P-SF15) (Fig. 7B) a emissão foi menos
1812 expressiva com 0,012 unid. °Cdia⁻¹. A emissão máxima da fenofase 3 ocorreu em média 0,004
1813 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 7), para os cultivos exclusivos e consorciados. Vale ressaltar que a
1814 durabilidade da fase fenológica 2 da PEXC (Fig. 7A) foi de 1500 °Cdia, enquanto os sistemas
1815 consorciados (Fig. 7B, C e D) precisaram em média de 1219 °Cdia.

1816

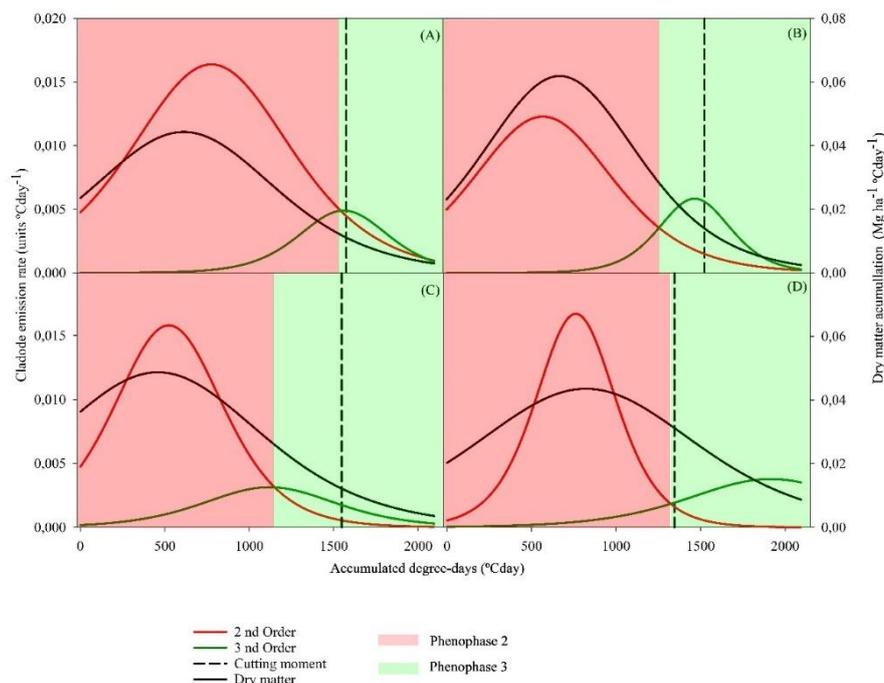


Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Sorgo SF15(P-SF15), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo1011 (P-S1011).

1817

1818 Para determinação do momento de corte não foi observado diferença entre os sistemas
 1819 PEXC, P-SF15 e P-M (Fig. 7A, B e C, respectivamente), que em média precisaram de 1500
 1820 °Cdia para atingir a colheita. Porém, o consórcio P-S1011 (Fig. 7 D) necessitou de apenas 1345
 1821 °Cdia para alcançar o momento de corte, o que representa antecipação 155 °Cdia (6,2 dias)
 1822 quando comparado aos demais sistemas.

1823

1824 3.3 Balanço de água no solo em cultivos consorciados com a palma forrageira

1825 A Tabela 2 mostra a distribuição dos elementos do balanço de água no solo cultivado
 1826 com palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (OEM) em condição exclusiva (PEXC) e
 1827 consorciada com: Milheto (P-M); SorgoSF15 (P-SF15) e Sorgo1011 (P-1011), durante o
 1828 período de (2019 a 2020).

1829

1830

1831

1832 Tabela 2. Balanço de água no solo em cultivo da palma forrageira exclusiva e consorciada no
1833 semiárido brasileiro.

P-M										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
16/01/2019	20/03/2019	1	70	178,80	39,94	0,00	0,00	-32,61	28,86	157,27
27/03/2019	29/05/2019	2	70	365,00	28,95	0,00	0,00	-150,22	-15,59	259,32
05/06/2019	07/08/2019	3	70	65,40	37,09	0,00	0,00	-15,14	-3,07	90,43
14/08/2019	16/10/2019	4	70	3,60	62,12	0,00	0,00	-2,40	-3,88	67,20
23/10/2019	25/12/2019	5	70	52,80	70,55	0,00	0,00	-21,04	-5,77	108,08
01/01/2020	05/03/2020	6	71	288,60	28,66	0,00	0,00	-90,49	29,48	197,29
11/03/2020	13/05/2020	7	69	565,40	47,34	0,00	0,00	-334,33	-1,05	279,46
20/05/2020	10/06/2020	8	28	149,80	49,24	0,00	0,00	-82,97	-5,51	121,59
Soma			518	1669,40	363,89	0,00	0,00	-729,19	23,47	1280,63
P-EXC										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
16/01/2019	20/03/2019	1	70	178,80	39,94	0,00	0,00	-32,61	29,72	156,41
27/03/2019	29/05/2019	2	70	365,00	28,95	0,00	0,00	-150,22	-13,37	257,10
05/06/2019	07/08/2019	3	70	65,40	37,09	0,00	0,00	-15,14	-5,07	92,43
14/08/2019	16/10/2019	4	70	3,60	62,12	0,00	0,00	-2,40	-5,03	68,34
23/10/2019	25/12/2019	5	70	52,80	70,55	0,00	0,00	-21,04	7,45	94,86
01/01/2020	05/03/2020	6	71	288,60	28,66	0,00	0,00	-90,49	20,73	206,05
11/03/2020	13/05/2020	7	69	565,40	47,34	0,00	0,00	-334,33	-1,48	279,89
20/05/2020	10/06/2020	8	28	149,80	49,24	0,00	0,00	-82,97	-2,65	118,72
Soma			518	1669,40	363,89	0,00	0,00	-729,19	30,31	1273,79
P-SF15										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
16/01/2019	20/03/2019	1	70	178,80	39,94	0,00	0,00	-32,61	28,39	157,74
27/03/2019	29/05/2019	2	70	365,00	28,95	0,00	0,00	-150,22	-14,60	258,33
05/06/2019	07/08/2019	3	70	65,40	37,09	0,00	0,00	-15,14	-8,13	95,49
14/08/2019	16/10/2019	4	70	3,60	62,12	0,00	0,00	-2,40	-1,84	65,16
23/10/2019	25/12/2019	5	70	52,80	70,55	0,00	0,00	-21,04	-1,19	103,50
01/01/2020	05/03/2020	6	71	288,60	28,66	0,00	0,00	-90,49	30,48	196,29
11/03/2020	13/05/2020	7	69	565,40	47,34	0,00	0,00	-334,33	-3,76	282,17
20/05/2020	10/06/2020	8	28	149,80	49,24	0,00	0,00	-82,97	-8,85	124,93
Soma			518	1669,40	363,89	0,00	0,00	-729,19	20,49	1283,61
P-1011										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
16/01/2019	20/03/2019	1	70	178,80	39,94	0,00	0,00	-32,61	23,09	163,04
27/03/2019	29/05/2019	2	70	365,00	28,95	0,00	0,00	-150,22	-3,99	247,72
05/06/2019	07/08/2019	3	70	65,40	37,09	0,00	0,00	-15,14	-4,52	91,87
14/08/2019	16/10/2019	4	70	3,60	62,12	0,00	0,00	-2,40	-2,45	65,76
23/10/2019	25/12/2019	5	70	52,80	70,55	0,00	0,00	-21,04	-7,94	110,25
01/01/2020	05/03/2020	6	71	288,60	28,66	0,00	0,00	-90,49	22,03	204,74
11/03/2020	13/05/2020	7	69	565,40	47,34	0,00	0,00	-334,33	-0,07	278,48
20/05/2020	10/06/2020	8	28	149,80	49,24	0,00	0,00	-82,97	-3,46	119,53
Soma			518	1669,40	363,89	0,00	0,00	-729,19	22,70	1281,40

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

1835 Durante o período experimental (518 dias) a P+I somaram 2.033,29 mm, no qual, os
1836 períodos com maiores volumes de precipitação foram os 1, 2, 6, 7 e 8 com 309,52 mm em
1837 média, enquanto os demais períodos 3, 4 e 5 apresentaram 86,6 mm (Tabela 2). A lâmina de
1838 irrigação aplicada variou de 28,66 a 70,55 mm em períodos com intervalo de 28 a 70 dias. Para
1839 a época avaliada, houve perdas menos acentuada por meio da DP, no entanto, houve desvio da
1840 água advinda da precipitação por escoamento superficial, atingindo perda máxima -334,33 mm
1841 para o período 7 (69 dias) em todos os sistemas avaliados. Em relação a ΔA (Tabela 2), os
1842 cultivos consorciados P-M, P-SF15 e P1011 apresentaram armazenamento positivo em apenas
1843 dois períodos (1° e 6°) o que resulta em 23,47; 20,49 e 22,70 mm em 518 dias de cultivo,
1844 enquanto a PEXC em três períodos (1°, 5° e 6°) armazenou 30,31 mm, ou seja, no geral o
1845 monocultivo da palma é capaz de armazenar um maior volume de água.

1846 O escoamento superficial (R) foi verificado em todos os períodos e tratamentos
1847 avaliados. Os períodos com maior R foi o segundo (27/03 a 29/05 de 2019) e 7° (11/03 a 13/05
1848 de 2020) com 150,22 e 334,33 mm respectivamente, esses valores coincidem com os períodos
1849 com maior volume de chuva. Nos demais períodos ocorreu variação de 2,40 a 90,49 mm. Em
1850 relação a ETr, a variação total no ciclo experimental foi de 1.273,79 a 1.283,71 mm, o cultivo
1851 PEXC foi o que apresentou a menor ETr.

1852

1853 *3.4 Rendimento forrageiro da palma em diferentes condições de cultivo*

1854 De modo geral, pode-se observar que durante o primeiro ciclo produtivo da palma
1855 forrageira a cultura secundária em consórcio com maior rendimento de massa fresca (MF-Mg
1856 ha⁻¹) e massa seca (MS-Mg ha⁻¹) foi o sorgo (Tabela 3), embora tenha-se observado diferença
1857 significativa ($p < 0,05$) entre os ciclos do sorgo forrageiro em termos de MF e MS. O rendimento
1858 individual da palma forrageira (Y_P), para massa fresca e massa seca foi igual estatisticamente
1859 ($p > 0,05$) entre todos os sistemas avaliados. Para o rendimento final dos sistemas (Y_{SIS}), o
1860 consórcio palma-sorgo (PS) e palma-feijão-guandu (PG) não se diferenciaram entre si ($p > 0,05$),
1861 apresentando os maiores rendimentos de MF, com 271,52 e 166,71 Mg ha⁻¹, respectivamente.
1862 No entanto o sistema PS (271, 52 Mg ha⁻¹) se diferiu do consórcio palma-girassol (PGI) (102,80
1863 Mg ha⁻¹) e palma exclusiva (PEXC) (111,32 Mg ha⁻¹). A produtividade de massa seca (Mg ha⁻¹)
1864 do consórcio PS foi superior aos demais sistemas ($p < 0,05$), apresentando uma superioridade
1865 de ~3,5, 6,0 e 5,2 vezes para PG, PGI e PEXC, respectivamente.

1866

1867

1868 Tabela 3. Produtividade de forragem da palma forrageira durante dois ciclos produtivos,
1869 consorciada, irrigada com e sem cobertura morta em ambiente semiárido.

Primeiro ciclo								
Ciclos	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)				Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)			
	Y _S	Y _{FG}	Y _{GI}	Y _{PEXC}	Y _S	Y _{FG}	Y _{GI}	Y _{PEXC}
1	27,10 a	7,26	0,71 a	-	12,68 a	2,35	0,15 a	-
2	30,89 a	-	1,08 a	-	8,87 b	-	0,22 a	-
3	33,19 a	-	1,13 a	-	9,78 ab	-	0,20 a	-
4	9,22 b	-	-	-	3,25 c	-	-	-
∑ _C	100,40 a	7,26 b	2,92 b	-	34,58 a	2,35 b	0,57 b	-
Y _P	171,11 a	159,44 a	99,88 a	111,32 a	17,32 a	12,38 a	8,14 a	10,05 a
Y _{SIS}	271,52 a	166,71 ab	102,80 b	111,32 b	51,90 a	14,73 b	8,71 b	10,05 b
Segundo ciclo								
Ciclos	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)				Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)			
	Y _{S-1011}	Y _{S-SF15}	Y _M	Y _{PEXC}	Y _{S-1011}	Y _{S-SF15}	Y _M	Y _{PEXC}
1	16,97 b	58,42 a	7,45 bc	-	5,90 ab	12,53 a	2,53 b	-
2	61,22 a	41,09 ab	66,73 a	-	15,02 a	13,36 a	20,45 a	-
3	24,49 b	18,90 b	21,80 b	-	6,98 ab	5,35 a	5,28 b	-
4	14,52 b	-	1,28 c	-	2,91b	-	0,26 b	-
∑ _C	117,20 a	118,41 a	96,90 a	-	30,81 a	31,24 a	28,52 a	-
Y _P	500,23 b	906,53 a	712,62 ab	759,50 ab	35,10 a	61,93 a	53,39 a	60,59 a
Y _{SIS}	617,43 b	1024,93 a	809,52 ab	759,50 ab	65,91 a	93,16 a	81,92 a	60,59 a

Para a o rendimento individual por ciclos do Y_S – sorgo, Y_{SF15} – sorgo cv. SF15, Y₁₀₁₁ – sorgo cv. SF15, Y_M – milho, Y_{FG} – feijão-guandu e Y_{GI} – girassol as médias com mesma letra na coluna não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. No entanto para o ∑_C – Somatório da produtividade por ciclos, Y_P – rendimento individual da palma em consórcio e Y_{PEXC} – palma exclusiva e Y_{SIS} – rendimento final dos sistemas, as médias seguidas das mesmas letras na linha não diferem-se estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

1870

1871 Durante o segundo ciclo produtivo da palma forrageira, no geral não houve diferença
1872 significativa (p>0,05) entre o rendimento por ciclos e somatório da produtividade por ciclos das
1873 variedades de sorgo e milho para o rendimento de MF e MS (Tabela 3). Para o Y_P observa-se
1874 diferença significativa do sistema palma-SF15 (PSF15) em relação a palma-1011 (P1011), onde
1875 a superioridade na produção de massa fresca é de 1,81 vezes. No entanto, PSF15 não diferiu
1876 dos demais sistemas. Para produtividade de massa seca, não houve diferença entre os
1877 tratamentos avaliados. O Y_{SIS} P-SF15 diferenciou-se do P-1011, apresentando uma vantagem
1878 produtiva em termos de MF de 1,66 vezes maior, no entanto, PSF15 não se sobressaiu dos
1879 demais tratamentos. Para o rendimento de MS, não houve diferença entre os sistemas de
1880 cultivos avaliados.

1881

1882 *3.5 Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira.*

1883 *3.5.1 Primeiro ciclo da palma forrageira*

1884 A precipitação (P), irrigação (I) e evapotranspiração (ET) foi igual para todos os
1885 tratamentos durante o período experimental (Tabela 4), com 5518,0, 8550,1 e 14068,1 m³,
1886 respectivamente. Para os diferentes cultivos da palma forrageira constatou-se que as

1887 maiores receitas (RE) (US\$) foram no consórcio palma-sorgo (P-S) 4926,6 US\$ e palma-
 1888 feijão-guandu (P-FG) 4590,5 US\$, quando se considerou a venda dos cladódios para
 1889 forragem. No entanto os sistemas com menores desempenhos foram a palma-girassol (P-
 1890 GI) e palma exclusiva (PEXC), com 2.875,8 e 3.205,0 US\$, respectivamente.

1891
 1892 Tabela 4. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
 1893 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1º ciclo.

Tratamentos	P	I	ET	RE	CV	CF	CO	MB	ML
PEXC	5518,0	8550,1	14068,1	3205,0	611,8	4665,9	8157,4	2593,1	-2073
P+S	5518,0	8550,1	14068,1	4926,6	611,8	4665,9	9596,9	4314,7	-351
P+GI	5518,0	8550,1	14068,1	2875,8	611,8	4665,9	12955,9	2263,9	-2402
P+FG	5518,0	8550,1	14068,1	4590,5	611,8	4665,9	14875,2	3978,6	-687
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
PEXC	1,0	3,7	0,7	0,7	1,2	0,3	-0,2	0,6	1,0
P+S	1,0	6,5	1,2	1,2	2,0	0,5	0,0	0,7	1,1
P+GI	1,0	4,5	0,6	0,6	1,0	0,3	-0,3	0,9	1,5
P+FG	1,0	5,2	0,9	0,9	1,4	0,5	-0,1	1,1	1,7

P-precipitação (m³); I-irrigação (m³); ET-*evapotranspiração* (m³); RE-Receita (US\$); CV-Custos variáveis (US\$); CF-Custos fixos (US\$); CO-Custos de oportunidade (US\$); MB-Margem Bruta (US\$); ML-Margem líquida (US\$). Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva (PEXC); Palma-Sorgo (P-S), Palma-Girassol (P-GI) e Palma-Feijão-guandu (P-FG).

1894
 1895 Em relação ao custo variável (CV) (Tabela 4) (i.e., energia elétrica, mão de obra e
 1896 manutenções no sistema e depreciação dos componentes) e custo fixo (CF) (i.e., sucção,
 1897 conjunto motobomba e implantação da cultura) foram iguais devido ser o primeiro ciclo
 1898 produtivo da palma, então simula-se a implantação de um novo palmal. O custo de oportunidade
 1899 (CO) representa a receita que o produtor poderia alcançar, caso destinasse os seus cladódios a
 1900 venda exclusivamente para o plantio, com isso, pode-se observar que os consórcios da P-FG e
 1901 P-GI obteriam maiores receitas (14.875,2 e 12.955,9 US\$, respectivamente). A margem bruta
 1902 (MB) foi superior entre os consórcios P-S e P-FG, tendo em vista que a palma nesses sistemas
 1903 apresentou maior produtividade de forragem e receita, respectivamente. No entanto, a margem
 1904 líquida (ML) foi negativa para todos os cultivos, isto é resultante do alto custo inicial com
 1905 plantio e estabelecimento da cultura.

1906 Em relação WUEc todos os sistemas apresentaram a eficiência máxima na utilização da
 1907 água. No entanto, de forma geral, o sistema P-S foi o mais eficiente para os índices *WUEc,

1908 WPC, *WPC e WPI, com médias de 6,5; 1,2; 1,2 e 2,0 kg m³. Para o índice GEWPI a
1909 consorciação P-FG e P-S foram iguais com 0,5 US\$ m³, já o NEWPI foi negativo para PEXC,
1910 P-FG e P-GI e apenas o P-S foi igual a 0, o que representa baixa eficiência devido a margem
1911 líquida no primeiro ciclo ser baixa. O consórcio entre a palma e feijão-guandu apresentou os
1912 melhores resultados a respeito dos índices hídricos EWPC e EWPI, com 1,1 e 1,7 US\$ m³ ha⁻¹,
1913 respectivamente. Esse desenvolvimento atrela-se ao maior número de cladódios comerciáveis
1914 por planta, com isso, resulta em maior custo de oportunidade, caso o produtor tenha a demanda
1915 das suas raquetes para plantio.

1916

1917 3.5.2 Segundo ciclo produtivo

1918 A Tabela 5 representa a eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc),
1919 produtividade da água da cultura (WPC, *WPC), produtividade da água via irrigação (WPI),
1920 produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica
1921 líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e
1922 produtividade econômica da água via irrigação (EWPI) para os sistema da Palma exclusiva (P-
1923 EXC); Palma-Sorgo SF15 (P-SF15), Palma-Milheto e Palma-Sorgo1011 (P-S1011). Os valores
1924 de precipitação (P), irrigação (I) (Tabela 5) foram de 16.706 e 4.027 m³, já a evapotranspiração
1925 real (ETr) variou de 12.737 a 12.836,1 m³ entre os sistemas de cultivo. A maior receita (RE)
1926 para venda da palma em forma de forragem foi encontrada no sistema P-SF15 26.100 US\$. Já,
1927 os demais sistemas (PEXC, P-M e P-1011) obtiveram 21.867; 20.517 e 14.402 US\$,
1928 respectivamente. Os custos variáveis e fixos foram de 611,8 e 844 US\$, respectivamente
1929 (Tabela 5).

1930 Para o custo de oportunidade (CO), ou seja, a receita obtida pela venda das raquetes para
1931 plantio que foi superior no sistema P-SF15 com 39.347,4 US\$. Nos demais sistemas a receita
1932 também aumentou em relação ao primeiro ciclo, tendo em vista o estabelecimento da cultura e
1933 maior emissividade de cladódios comerciáveis. A margem bruta (MB) foi mais evidenciada no
1934 P-SF15 (24.921 US\$), considerando-se que a palma nesse sistema apresentou maior rendimento
1935 e receita. Para a margem líquida (ML) o P-SF15 também foi superior aos demais sistemas
1936 24.076,6 US\$.

1937

1938

1939

1940

1941 Tabela. 5 Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
 1942 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.

Tratamentos	P	I	ETr	RE	CV	CF	CO	MB	ML
P+1011	16706	4027	12814,0	14402	611,8	844	24952,0	13223	12379,1
P+SF15	16706	4027	12836,1	26100	611,8	844	39347,4	24921	24076,6
PEXC	16706	4027	12737,9	21867	611,8	844	25911,7	20688	19843,7
P+M	16706	4027	12806,3	20517	611,8	844	26871,4	19338	18493,8
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
P+1011	0,6	3,4	2,7	1,7	8,7	3,3	3,1	1,2	6,2
P+SF15	0,6	5,6	4,8	3,0	15,4	6,2	6,0	1,9	9,8
PEXC	0,6	5,6	4,8	2,9	15,0	5,1	4,9	1,2	6,4
P+M	0,6	4,8	4,2	2,6	13,3	4,8	4,6	1,3	6,7

P-precipitação (m³); I-irrigação (m³); ETr-*evapotranspiração real* (m³); RE-*Receita* (US\$); CV-*Custos variáveis* (US\$); CF-*Custos fixos* (US\$); CO-*Custos de oportunidade* (US\$); MB-*Margem Bruta* (US\$); ML-*Margem líquida* (US\$).

Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva (PEXC); Palma-Sorgo SF15 (P-SF15), Palma-Milheto e Palma-Sorgo1011 (P-S1011).

1943
 1944 Para o WUEc todos os tratamentos analisados foram eficientes na utilização dos
 1945 recursos hídricos. Todavia, o sistema P-SF15 apresentou os índices mais elevados para o
 1946 *WUEc, WPc, *WPc e WPI, com médias de 5,6; 4,8; 3,0 e 15,4 kg m³, respectivamente. Ainda
 1947 no mesmo sistema, é observado que os índices GEWPI, NEWPI, EWPC e EWPI foram
 1948 superiores, com 6,2; 6,0; 1,9 e 9,8 US\$ m³, nessa ordem. Esse destaque corrobora com o maior
 1949 efetivo de cladódio adeptos a ser comerciáveis para o plantio, o que promove um maior CO.

1950

1951 2. Discussão

1952 4.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

1953 Pôde-se observar de forma generalizada que os sistemas consorciados não afetaram as
 1954 taxas de crescimento da palma forrageira. Durante o primeiro ciclo da palma forrageira,
 1955 observou-se que o consórcio P-GI conteve as maiores TCA e TCR. No entanto, embora tenha
 1956 ocorrido competição interespecífica entre as espécies não afetou o crescimento da palma. Isto
 1957 pode estar relaciona a característica do genótipo de girassol forrageiro utilizado, uma vez, que
 1958 contém índice de área foliar reduzido, ciclo curto, baixa exigência hídrica e menos agressivo
 1959 que as demais culturas secundárias (i.e., sorgo e feijão-guandu), além de promover ciclagem de
 1960 nutrientes e disponibiliza-los em camadas mais superficiais e contribuir com o crescimento da
 1961 cultura principal, que para este sistema é a palma (Hiolanda et al., 2018).

1962 De modo geral, para o primeiro ciclo da palma o consórcio P-S apresentou os maiores
1963 valores de TAL e ACE, já no segundo ciclo da cactácea o sistema P-SF15 conteve os maiores
1964 valores de TCA e ACE respectivamente. Com isso, pode-se observar a resiliência entre as duas
1965 espécies, tendo em vista que mesmo com a competição interespecífica entre elas, há uma
1966 complementariedade, o que espera-se em cultivos consorciados (Alves et al., 2022). As culturas
1967 resilientes a climas extremos expressam taxas de crescimento superiores quando inseridas em
1968 condições oportunas, com isso, o cultivar Orelha de Elefante Mexicana quando exposta a
1969 manejo de irrigação apresenta desenvolvimento mais rápido, devido as modificações no
1970 metabolismo podendo apresentar um comportamento de CAM facultativa (Ramírez-Valiente et
1971 al., 2017). Sabe-se que a TAL representa à fotossíntese líquida, ou seja, quanto é produzido ou
1972 perdido durante a respiração. Já ACE representa quanto de massa seca distribui-se na superfície
1973 foliar (cladódios) e com isso, quanto maior for a ACE haverá maior influência na interceptação
1974 da radiação solar e, conseqüentemente melhor eficiência fotossintética (Queiroz et al., 2015;
1975 Souza et al., 2021).

1976

1977 *4.2 Fenofases e momento de corte*

1978 De maneira geral, percebe-se que a implantação do sistema consorciado não afetou a
1979 quantidade de fenofases da palma durante os dois ciclos produtivos. No entanto, observou-se
1980 que no primeiro ciclo houve uma redução em GDA para atingir a fenofase 2 do consórcio P-G,
1981 o que atrela-se a um crescimento inicial lento por parte da leguminosa resultando em menor
1982 competição interespecífica, além disso, o feijão-guandu é capaz de realizar fixação de
1983 nitrogênio e disponibiliza-lo para o solo, facilitando maior acesso a palma e, conseqüentemente
1984 havendo favorecimento no estímulo de maior emissão de cladódio (Araújo et al., 2019;
1985 Sewsaran et al., 2019). Para o momento de corte, os sistemas apresentaram comportamento
1986 semelhantes, todavia o consórcio P-S necessitou de 78°Cdia a mais, este resultado é proveniente
1987 da maior competitividade do sorgo e sombreamento sobre a palma, o que provoca uma maior
1988 demanda energética por parte da cactácea para atingir o momento ideal para o corte (Lima et
1989 al., 2018b).

1990 Para as fenofases 2 e 3 do segundo ciclo da palma, foi observado similaridade em
1991 sistema de monocultivo e consorciado. Porém, houve uma redução de 18,73% para atingir a
1992 fenofase 2 em cultivos consorciados, quando comparado ao exclusivo, com isso corroborando
1993 com a antecipação do surgimento de cladódios de terceira ordem, enquanto o momento de corte
1994 foi reduzido em 155°Cdia no sistema P-1011. A extensão ou redução das fases fenológicas e
1995 momento de corte podem representar a competição entre as espécies pelos recursos naturais

1996 (i.e., luz, água e nutrientes). No entanto, as cactáceas contém maior sensibilidade a variação da
1997 radiação solar e disponibilidade hídrica no sistema, com isso, refletindo em modificações na
1998 sua fenologia (Gomes et al., 2019).

1999

2000 *4.3 Balanço de água no solo*

2001 Os componentes do balanço de água no solo DP e AC foram baixos em todos os sistemas
2002 de cultivos. A maior perda de água da precipitação ocorreu por meio do escoamento superficial
2003 (~ 43,7%), sendo essas perdas mais acentuadas nos períodos com maiores eventos de P e,
2004 principalmente, os de alta intensidade, o que dificulta a infiltração da água no solo e favorece o
2005 escoamento.

2006 Observou-se que o monocultivo da palma obteve uma maior ΔA (30,31 mm) e uma
2007 menor ET_c (1273,79 mm) quando comparada aos cultivos consorciados. Isto está atrelado ao
2008 maior consumo hídrico dos consórcios (Alves et al., 2020), também pôde-se observar aos
2009 longos dos períodos avaliados que os maiores eventos de precipitações resultaram em ET_c mais
2010 elevadas. Esta variável está totalmente atrelada a disponibilidade hídrica no solo e aos processos
2011 evapotranspirativos dentro dos sistemas, uma vez, que o solo úmido favorece a planta realizar
2012 seus processos fotossintéticos, em consequência, há maior transpiração e evaporação da água
2013 do solo (Machado et al., 2015). Outro componente que pode ter aumentando a variabilidade da
2014 ET_c ao longo do período experimental foram as diferentes demandas hídricas das culturas de
2015 acordo com avançar das suas fases fenológicas, onde geralmente ocorre um aumento em
2016 decorrência do seu desenvolvimento e, posteriormente, uma diminuição no momento da
2017 colheita (Carvalho et al., 2020).

2018

2019 *4.4 Rendimento forrageiro*

2020 Para o primeiro ciclo (i.e., palma consorciada com o sorgo, P-S) e no segundo ciclo
2021 palma-sorgoSF15 (P-SF15), houve os maiores rendimentos de forragem em termos de massa
2022 fresca (MF) e massa seca (MS) (Tabela 3). No estudo realizado por Jardim et al. (2021),
2023 avaliando o consórcio da palma com cultivares de sorgo em ambiente semiárido, observaram
2024 um incremento produtivo de 47% em relação ao monocultivo. Os mesmos autores também
2025 relatam que a irrigação e a implantação do consórcio durante o segundo ciclo produtivo da
2026 palma, proporciona ao sistema de produção, plantas mais estáveis e vigorosas,
2027 consequentemente, aumenta a capacidade produtiva desta cactácea e, com isso, o consórcio em
2028 ambiente semiárido possibilita o melhor aproveitamento dos recursos naturais (e.g., água, luz,
2029 radiação, etc.), a partir da complementariedade entre as espécies.

2030 A alta quantidade de MS nos sistemas palma-sorgo é advinda da alta eficiência na
2031 utilização da água e, conversão desta em biomassa, principalmente por parte do sorgo, quando
2032 comparado ao girassol, feijão-guandu, palma exclusiva ou até mesmo com o milho e a cultivar
2033 de sorgo 1011. Embora a palma contenha em média 90% de água e 10% de matéria seca em suas
2034 raquetes, quando soma-se o seu rendimento com o sorgo, ambos se complementam e
2035 proporcionam o maior retorno produtivo dentre os sistemas. Diniz et al. (2017) e Jardim et al.
2036 (2021) estudando o consórcio palma-sorgo, observaram que o fato de submeter a palma a um
2037 sistema consorciado promove uma redução em sua produtividade individual, resultado de uma
2038 maior competição interespecífica entre as culturas. Por outro lado, ao final do ciclo a produção
2039 de matéria seca é maior devido à alta concentração na constituição do sorgo.

2040 O sistema de cultivo palma-sorgo pode proporcionar complementariedade hídrica
2041 devido a palma apresentar um metabolismo fotossintético que a permite realizar as trocas
2042 gasosas durante o período noturno, enquanto isso, o sorgo realiza seu processo fotossintético
2043 durante o dia, com isso, espera-se um maior aproveitamento da água do sistema e,
2044 consequentemente, menores perdas de água para atmosfera por meio da evaporação (Lima et
2045 al., 2018a).

2046

2047 *4.5 Índices hídricos e receita*

2048 Durante o primeiro ciclo da palma forrageira foi observado que a RE obtida em média
2049 com a venda dos cladódios para forragem foi capaz de quitar 73,88% dos custos desde o plantio
2050 a primeira colheita. No entanto, o segundo ciclo foi mais produtivo onde em média a RE dos
2051 sistemas foram capazes de pagar os 26,12% que restavam e a partir disso obtém-se uma
2052 lucratividade de 19.343,13 US\$. O maior desenvolvimento da palma a partir do segundo ciclo
2053 é inerente a cultura, uma vez estabelecida e armazenados os cladódios primários posteriormente
2054 a primeira colheita, há uma maior superfície fotossintética e, também de reservas energéticas
2055 que auxiliam para o maior números de cladódios emitidos e, por consequência, um maior
2056 acúmulo de forragem por área (Araújo Júnior et al., 2021a).

2057 De modo geral, para todos os índices avaliados os sistemas consorciados foram os mais
2058 eficientes na utilização dos recursos hídricos, além disso, uma maior lucratividade que
2059 corrobora para os maiores índices nesses sistemas, onde o segundo ciclo foi o detentor das
2060 maiores receitas, seja ela para forma de forragem ou venda das raquetes para plantio de novos
2061 palmais.

2062 **5. Conclusões**

2063 Embora ocorra redução na produtividade individual da palma forrageira, os sistemas
2064 consorciados com sorgo forrageiro são mais resilientes e agregam maior rendimento de massa
2065 fresca e seca a partir da complementariedade entre as culturas, o que possibilita maior
2066 diversidade alimentar para os rebanhos.

2067 Os sistemas consorciados apresentaram as maiores taxas de emissão de cladódios e
2068 crescimento da palma forrageira. No entanto, o primeiro ciclo da palma teve um prolongamento
2069 de 3,12 dias e redução 6,2 dias para P-1011 no segundo ciclo no momento de corte.

2070 A utilização de sistemas consorciados é mais eficiente na utilização da água, além de
2071 proporcionar maior receita com a venda do produto em forma de forragem ou para plantio a
2072 partir do segundo ciclo de cultivo. No entanto, ainda são necessárias mais pesquisas para
2073 analisar o comportamento destes consórcios sobre o crescimento da palma forrageira em
2074 diferentes anos de cultivo e condições ambientais, além de averiguar modificações no solo a
2075 partir de ciclos sucessivos.

2076

2077 **6. Referências**

2078 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G., 2013.
2079 Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728.
2080 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

2081 Alves, C.P., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L.S.B., Araújo, G.G.L.,
2082 Souza, C.A.A. de, Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F. da,
2083 2022. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped
2084 system: planting configurations, density and orientation. *Ind. Crops Prod.* 184, 1–13.
2085 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>

2086 Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Cruz
2087 Neto, J.F. da, Santos, J.P.A. de S., 2020. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação:
2088 balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros* 27, 347–356.
2089 <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>

2090 Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2018. The
2091 application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of
2092 forage cactus: A review. *Amaz. J. Plant Res.* 2, 207–220.
2093 <https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00026x>

2094 Amorim, D.M., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Souza, L.S.B. de, Minuzzi, R.B., 2017.
2095 Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems.

- 2096 Pesqui. Agropecuária Trop. 47, 62–71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- 2097 Araújo, B. de A., Moreira, F.J.C., Guedes, F.L., 2019. Emergência e crescimento inicial de
2098 feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. Rev. Agrar.
2099 Acad. 2, 90–101. <https://doi.org/10.32406/v2n42019/90-101/agrariacad>
- 2100 Araújo Júnior, G. do N., Queiroz, M.G. de, Jardim, A.M. da R.F., Araujo, J.F.N. de, Silva,
2101 T.G.F. da, 2017. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado
2102 com o sorgo. XX Congr. Bras. Agrometeorol. V Simpósio Mudanças Climáticas e
2103 Desertif. do Semiárido Bras. 2017, Anais... Juazeiro845 BA/Petrolina-PE SBAGRO 1–6.
- 2104 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Bastos, L.S., Souza, D., Souza, M. de S., Araújo,
2105 G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Santos, J.P.A. de S., Jardim, A.M. da R.F., Alves, C.P.,
2106 Alves, H.K.M.N., 2021a. Productivity, bromatological composition and economic benefits
2107 of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid
2108 environment. Bragantia 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- 2109 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B.
2110 de, Alves, C.P., Salvador, K.R. da S., Souza, C.A.A. de, Montenegro, A.A. de A., Silva,
2111 M.J. da, 2021b. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of
2112 the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. J. Arid Environ.
2113 190. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- 2114 Araújo Primo, J.T. de, Silva, T.G.F. da, Silva, S.M.S. e, Moura, M.S.B. de, Souza, L.S.B. de,
2115 2015. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação. Rev. Ceres 62,
2116 20–29. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>
- 2117 Cardoso, D.B., Carvalho, F.F.R. de, Medeiros, G.R. de, Guim, A., Cabral, A.M.D., Vêras,
2118 R.M.L., Santos, K.C. dos, Dantas, L.C.N., Nascimento, A.G. de O., 2019. Levels of
2119 inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs.
2120 Anim. Feed Sci. Technol. 247, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>
- 2121 Carvalho, I.C.B. de, Brito, A. dos S., Nascimento, D. de A., Peixoto, L.S., Faria, H.H.N., 2020.
2122 Eficiência De Uso Da Água De Mamoneiras Nas Condições Agroecológicas Do
2123 Semiárido. Brazilian J. Dev. 6, 73354–73373. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-698>
- 2124 Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M. V., 2020.
2125 Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study
2126 of a super high density olive tree orchard. Agric. Water Manag. 237, 1–13.
2127 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- 2128 Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism
2129 biology. New Phytol. 204, 738–740. <https://doi.org/10.1111/nph.13127>

- 2130 Gomes, V.G.N., Valiente-Banuet, A., Araujo, A.C., 2019. Reproductive phenology of cacti
2131 species in the Brazilian Chaco. *J. Arid Environ.* 161, 85–93.
2132 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.001>
- 2133 Hiolanda, R., Dalchiavon, F.C., Biezus, E., Iocca, A.F.S., Carvalho, C.G.P., 2018. Contributo
2134 para o estudo do desempenho agronômico de híbridos na principal região produtora de
2135 girassol no Brasil (Chapadão do Parecis). *Rev. Ciências Agrárias* 41, 14–22.
2136 <https://doi.org/10.19084/rca17159>
- 2137 Jardim, A.M. da R.F., Silva, G.Í.N. da, Biesdorf, E.M., Pinheiro, A.G., Silva, M.V. da, Araújo
2138 Júnior, G. do N., Santos, A. dos, Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Morais, J.E.F. de,
2139 Alves, C.P., Silva, T.G.F. da, 2020. Production potential of Sorghum bicolor (L.) Moench
2140 crop in the Brazilian semiarid: review. *Pubvet* 14, 1–12.
2141 <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>
- 2142 Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B., Alves, C.P., Araújo, J.F.N., Souza, C.A.A., Pinheiro,
2143 A.G., Araújo, G.G.L., Campos, F.S., Tabosa, J.N., Silva, T.G.F., 2021. Intercropping
2144 forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus.
2145 *African J. Range Forage Sci.* 12. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- 2146 Kirchner, J.H., Robaina, A.D., Peiter, M.X., Torres, R.R., Mezzomo, W., Ben, L.H.B., Pimenta,
2147 B.D., Pereira, A.C., 2019. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo
2148 forrageiro irrigado. *Rev. Bras. Ciências Agrárias* 14, 1–9.
2149 <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5646>
- 2150 Lima, G.F.C., Silva, J.G.M., Dantas, F.D.G., Guedes, F.X., Rêgo, M.M.T., Aguiar, E.M., Lôbo,
2151 R.N.B., 2015. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and
2152 productivity of irrigated Nopalea forage cactus. *Acta Hort.* 1067, 253–258.
2153 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1067.35>
- 2154 Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Jardim, A.M. da R.F., Souza, C.A.A. de, Queiroz, M.G., Tabosa,
2155 J.N., 2018a. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping
2156 under different water depths. *Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambient.* 22, 113–118.
2157 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- 2158 Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Morais, J.E.F. de, Assis, M.C. de Sá, 2018b.
2159 Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated
2160 with saline water. *Rev. Caatinga* 31, 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- 2162 Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., SOUZA, E., Ribeiro, A., Firmino, F., 2015.
2163 Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú,

- 2164 Pernambuco. Rev. Bras. Recur. Hídricos 20, 731–740.
2165 <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- 2166 Nunes, J. da S.L., Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N.,
2167 Carvalho, A.A. de, Souza, L.S.B. de, Montenegro, A.A. de A., Silva, T.G.F. da, 2020.
2168 Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias
2169 hídricas na bacia do Rio Pajeú. J. Environ. Anal. Prog. 5, 128–139.
2170 <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>
- 2171 Pereira, L.S., Paredes, P., Jovanovic, N., 2020. Soil water balance models for determining crop
2172 water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56
2173 method and the dual Kc approach. Agric. Water Manag. 241, 1–22.
2174 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- 2175 Pereira, P.C., Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Morais, J.E.F. de, Santos, D.C. dos, 2015.
2176 Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. Rev. Caatinga 28, 184–195.
2177 <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- 2178 Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Sousa Carvalho, H.F., Santos, J.E.O., Morais, J.E.F., Zolnier, S.,
2179 Santos, D.C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características
2180 morfogênicas e produtivas da palma forrageira. Pesqui. Agropecu. Bras. 49, 939–947.
2181 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- 2182 Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Lima, L.R., Alves, J. de O.,
2183 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
2184 lâminas de irrigação. Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient. 19, 931–938.
2185 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- 2186 Queiroz, M.G. DE, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Souza, C.A.A. de, Carvalho,
2187 H.F. de S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
2188 Ambiente Semiárido. Irriga 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- 2189 Ramírez-Valiente, J.A., Center, A., Sparks, J.P., Sparks, K.L., Etterson, J.R., Longwell, T., Pilz,
2190 G., Cavender-Bares, J., 2017. Population-level differentiation in growth rates and leaf
2191 traits in seedlings of the neotropical live oak quercus oleoides grown under natural and
2192 manipulated precipitation regimes. Front. Plant Sci. 8, 1–14.
2193 <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00585>
- 2194 Sabino, F. da C., Souza, L.S.B., Souza, M.A.G., Barros, J.P.A., Lucena, L.R.R., Jardim, A.M.
2195 da R.F., Rocha, A.K.P., Silva, T.G.F., 2021. Morphological characteristics, biomass
2196 accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid
2197 Brazilian areas affected by salt and water stress. Plant Stress 2, 1–7.

- 2198 <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- 2199 Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro,
2200 A.G., Pereira, R.C.G., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2021. Intensificação de sistemas
2201 de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas,
2202 leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2369–2390.
- 2203 Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.Á. de, Lumbreras, J.F.,
2204 Coelho, M.R., Almeida, J.A. de, Filho, J.C. de A., Oliveira, J.B. de, Cunha, T.J.F., 2018.
2205 Sistema brasileiro de classificação de solos, 5th ed, Embrapa. Revista e ampliada, Brasília,
2206 DF.
- 2207 Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., John, K., 2019. Resistance screening of 14 *Cajanus cajan*
2208 (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *J. Stored*
2209 *Prod. Res.* 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- 2210 Silva, M.V. da, Pandorfi, H., Almeida, G.L.P. de, Lima, R.P. de, Santos, A. dos, Jardim, A.M.
2211 da R.F., Rolim, M.M., Silva, J.L.B. da, Batista, P.H.D., Silva, R.A.B. da, Lopes, P.M.O.,
2212 Silva, D.C. da, 2021. Spatio-temporal monitoring of soil and plant indicators under forage
2213 cactus cultivation by geoprocessing in Brazilian semi-arid region. *J. South Am. Earth Sci.*
2214 107. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103155>
- 2215 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Morais, J.E.F. de, Diniz, W.J. da S., Souza, C.A.A. de, Silva,
2216 M. da C., 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido
2217 e relações com variáveis meteorológicas. *Rev. Caatinga* 28, 10–18.
- 2218 Silva, T.G.F., Miranda, K.R., Santos, D.C., Queiroz, M.G., Silva, M.C., Cruz Neto, J.F., Araújo,
2219 J.E.M., 2014. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E
2220 Aplicabilidade. *Rev. Bras. Ciencias Agrar.* 9, 633–641.
2221 <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- 2222 Silva, T.G.F., Primo, J.T.A., Moura, M.S.B., Silva, Sérvulo Mercier Siqueira Morais, J.E.F.,
2223 Caldas Pereira, P., Souza, C.A.A., 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of
2224 forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 515–525.
2225 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- 2226 Sousa, M.G., Araujo, J.K.S., Ferreira, T.O., Andrade, G.R.P., Araújo Filho, J.C., Fracetto,
2227 G.G.M., Santos, J.C.B., Fracetto, F.J.C., Lima, G.K., Souza Junior, V., 2021. Long-term
2228 effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern
2229 Brazil. *Catena* 206. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>
- 2230 Souza, M.D.S., Freire da Silva, T.G., de Souza, L.S.B., Alves, H.K.M.N., Leite, R.M.C., de
2231 Souza, C.A.A., Araújo, G.G.L.D., Campos, F.S., Silva, M.J.D., de Souza, P.J.D.O.P.,

- 2232 2021. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under
2233 biotic mulching. *Arch. Agron. Soil Sci.* 0, 1–31.
2234 <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1852553>
- 2235 Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. max, Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*,
2236 6°. ed. Editora Artmed, Porto Alegre.
- 2237 Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., Zhao, Y., 2018. Evapotranspiration, crop
2238 coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China
2239 Plain. *F. Crop. Res.* 217, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>
- 2240 Zegada-Lizarazu, W., Parenti, A., Monti, A., 2021. Intercropping grasses and legumes can
2241 contribute to the development of advanced biofuels. *Biomass and Bioenergy* 149, 1–9.
2242 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106086>
- 2243 Zhang, Y., Qiao, L., Chen, C., Tian, L., Zheng, X., 2021. Effects of organic ground covers on
2244 soil moisture content of urban green spaces in semi-humid areas of China. *Alexandria Eng.*
2245 *J.* 60, 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.001>
- 2246 Zhang, Y., Yin, J., Guo, Z., Li, J., Wang, R., 2022. Simulation of soil water balance and crop
2247 productivity of long-term continuous maize cropping under high planting density in
2248 rainfed agroecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 312, 1–15.
2249 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108740>
- 2250
- 2251
- 2252
- 2253
- 2254
- 2255
- 2256
- 2257
- 2258
- 2259
- 2260
- 2261
- 2262
- 2263
- 2264

1 **CAPÍTULO 3 – A CONSORCIAÇÃO IMPACTA O CRESCIMENTO DA PALMA**
2 **FORRAGEIRA, MAS A COMPLEMENTARIDADE PROPORCIONA MAIOR**
3 **PRODUTIVIDADE, HABILIDADE COMPETITIVA, EFICIÊNCIA BIOLÓGICA E**
4 **RETORNO ECONÔMICO.**

5
6 **Resumo:** A instabilidade na produção de forragem no semiárido é decorrente das condições
7 edafoclimáticas inerentes a região, com isso, a implantação de plantas adaptadas a estes
8 elementos, associando-se a manejos como a consorciação e irrigação são capazes de assegurar
9 a sustentabilidade alimentar dos rebanhos. Diante disso, foi avaliado o crescimento,
10 produtividade de forragem, balanço de água no solo, índices hídricos e de eficiência biológica,
11 habilidade competitiva e retorno econômico em cultivo adensado da palma forrageira,
12 gramíneas e leguminosa em sistemas exclusivos e associados em ambiente semiárido. O estudo
13 foi em Serra Talhada - PE, Brasil, durante 2020 a 2022. Os vegetais utilizados, foram a palma
14 cultivar Orelha de Elefante Mexicana-OEM, feijão-guandu (cv. crioula), milheto (cv. Bulk-01)
15 e sorgo (cv. SF15). Adotou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições, os
16 cultivos foram: palma forrageira, sorgo, milheto e feijão-guandu exclusivos, assim como, a
17 associação da cactácea com feijão-guandu, milheto e sorgo. Realizou-se biometrias e
18 quantificação de biomassas para determinação dos índices morfofisiológicos, fenologia,
19 momento de corte, eficiência biológica e habilidade competitiva. Também foi monitorado a
20 umidade do solo e quantificado o balanço de água no solo, em sequência calculou-se os índices
21 hídricos e retorno econômico. As taxas de crescimento e fenologia não foram influenciadas pela
22 consorciação, apenas o momento de corte. Os cultivos exclusivos do sorgo, milheto e feijão-
23 guandu e palma apresentaram armazenamentos médios de 10,82 e 66,74 mm, para o primeiro
24 e segundo ciclo, respectivamente. A ETr média variou de 886,39 a 1.106,68 mm (1º ciclo) e de
25 883,97 e 1.100,05 mm (2º ciclo), nas condições exclusivas e consorciadas, respectivamente. O
26 sistema P-S na época um foi o mais produtivo em MF e MS (460,53 e 43,55 Mg ha⁻¹) enquanto,
27 na época dois, a PEXC obteve 237,64 e 26,71 Mg ha⁻¹ de MF e MS. A consorciação promove
28 maior estabilidade produtiva e diversidade alimentar, bem com maior eficiência biológica,
29 habilidade competitiva e retorno econômico.

30
31
32 **Palavras-Chave:** Consórcio; fenologia; taxas de crescimento

33
34
35

36 **Abstract:** The forage instability in the semi-arid region is due to the edaphoclimatic conditions
37 inherent to the region, therefore, the implantation of plants accustomed to these elements,
38 associated with managements such as intercropping and irrigation, are capable of ensuring the
39 food sustainability of the herds. In view of this, growth, forage productivity, soil water balance,
40 water and biological efficiency indexes, competitive ability and economic return were
41 evaluated in dense cultivation of forage cactus, grasses, and legumes in exclusive and associated
42 systems in a semi-arid environment. The study was carried out in Serra Talhada - PE, Brazil,
43 over two periods (2020 to 2022). The plant materials used in the two production cycles were
44 forage cactus, clone Orelha de Elefante Mexicana-OEM, pigeonpea (cv. crioula), millet (cv.
45 Bulk-01) and sorghum (cv. SF15). A randomized block design was adopted with three
46 replications and seven treatments (21 experimental units), the crops were: forage cactus,
47 sorghum, millet and pigeonpea exclusively, as well as the association of forage cactus with
48 pigeonpea, millet and sorghum. Biometrics and biomass were performed to quantify the
49 morphophysiological and phenological indices, cutting time, biological efficiency, and
50 competitive ability. Soil moisture was also monitored and the water balance in the soil was
51 quantified, and in sequence the water indexes and economic return were calculated. The growth
52 rates and phenology were not influenced by the intercropping, only the cutting moment. The
53 exclusive crops of sorghum, millet and cowpea and forage palm showed average storages of
54 10.82 and 66.74 mm, for the first and second cycle, respectively. The mean ETr ranged from
55 886.39 to 1,106.68 mm (1st cycle) and from 883.97 and 1,100.05 mm (2nd cycle) in the
56 exclusive and intercropped conditions, respectively. The P-S system in season one, was the
57 most productive in FM and DM (460.53 and 43.55 Mg ha⁻¹) while in season two, PEXC
58 obtained 237.64 and 26.71 Mg ha⁻¹ of FM and DM. Intercropping promotes more productive
59 stability and food diversity, as well as greater biological efficiency, competitive ability, and
60 economic return.

61

62

63 **Keywords:** intercropping, phenology, growth rates

64

65

66

67

68

69

70 1. Introdução

71 A grande variabilidade e má distribuição da precipitação pluviométrica associada a altas
72 taxas evapotranspirativas, assolam as regiões semiáridas, agregando um déficit hídrico em
73 maior parte do ano, ocasionando declínio no crescimento e rendimento dos sistemas agrícolas
74 (Sabino et al., 2021; Silva et al., 2020). Diante dos efeitos climáticos, é de suma importância
75 empenhar-se na busca por manejos resilientes, como a implementação de sistemas consorciados
76 com espécies adaptadas, que vão garantir maior segurança alimentar a partir da maior eficiência
77 na utilização dos recursos naturais e aproveitamento da área de cultivo (Alves et al., 2022;
78 Jardim et al., 2021c; Nunes et al., 2020).

79 Com isso, a palma forrageira é uma cactácea de extrema importância para a
80 sustentabilidade na produção de forragem desta região, devido sua persistência a longos
81 períodos de seca e baixa exigência em água, resultante do metabolismo fotossintético CAM
82 (Crassulacean Acid Metabolism) que favorece o fechamento estomático durante o dia e
83 assimilação do CO₂ durante a noite, diminuindo as perdas de água para atmosfera e favorecendo
84 sua resiliência ao déficit hídrico (Garcia et al., 2014; Jardim et al., 2021a).

85 Além da cactácea, outras opções são o sorgo forrageiro, milheto e feijão-guandu que
86 apresentam persistências as condições semiáridas e possibilitam maior estabilidade produtiva e
87 alimentar para os rebanhos (Khoury et al., 2015; Li et al., 2019; Sousa et al., 2019). Além disso,
88 estas espécies podem complementar a dieta com maior teor de matéria seca e evitando
89 distúrbios metabólicos ou perda econômica no sistema (Pessoa et al., 2020; Salvador et al.,
90 2021).

91 A partir da complementação que estas espécies podem trazer para os sistemas agrícolas,
92 a consorciação pode aumentar o rendimento e utilização dos recursos naturais a partir da
93 associação de duas ou mais espécies na mesma área cultivada. Diante disto, estudos relatados
94 por Diniz et al. (2017), Jardim et al. (2021b) e Lima et al. (2018) com o cultivo palma-sorgo
95 alcançou maior produtividade, retorno econômico e eficiência na utilização da água, assim
96 como Alves et al. (2022), que observaram maior vantagem dentro do consórcio palma-milheto,
97 todavia, a interação palma-feijão-guandu ainda é pouco conhecida, além de estudos de
98 consórcios com maiores adensamentos de ambas as culturas.

99 Para garantir a eficiência dos sistemas em ambientes semiáridos, torna-se necessário a
100 utilização da irrigação complementar para minimizar os efeitos do déficit hídrico na maior parte
101 do ano e reduzir a sazonalidade no aporte forrageiro, e garantir sustentabilidade alimentar para
102 os rebanhos (Nunes et al., 2020; Queiroz et al., 2016). A partir disto, é importante conhecer
103 como ocorre a relação entre as plantas, ambiente e atmosfera em diferentes configurações de

104 cultivo em ambientes estressantes. O balanço de água no solo (BAS) e índices hídricos, capazes
105 são ferramenta que auxiliam no entendimento da dinâmica dos recursos hídricos disponíveis,
106 seja ele via irrigação ou chuva em sistemas de sequeiro (Fernández et al., 2020; Zhang et al.,
107 2022). Este assessoramento das demandas hídricas das culturas em monocultivo ou associadas,
108 forneceram informações assertiva indicando quem é mais eficiente e rentável na utilização da
109 água.

110 Outra maneira para acompanhar o desenvolvimento das espécies nos sistemas é por
111 meio das taxas de crescimento: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento
112 relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área do cladódio específico (ACE), que
113 são utilizados dados de crescimento e de produção de massa seca ao longo do ciclo da cultura,
114 podendo-se realizar projeções por meio de modelos matemáticos e predizer o momento ideal
115 para realizar o corte da cultura, garantindo maior eficiência para os sistemas (Araújo Júnior et
116 al., 2021b; Jardim et al., 2021d; Nunes et al., 2020).

117 Também é necessário o conhecimento das particularidades de produtividade,
118 competição entre as espécies associadas e retorno econômico advindo destas alterações no
119 ambiente de cultivo. Com isso, a aplicabilidade de índices de eficiência biológica, habilidade
120 competitiva e lucratividade são imprescindíveis para auxiliar possíveis tomadas de decisão, e
121 determinar as melhores espécies e sistemas para os produtores (Alves et al., 2022; Diniz et al.,
122 2017)

123 Desta maneira, a hipótese é que a associação de manejos resilientes proporcionam
124 produtividades superiores, devido a maior eficiência dos recursos hídricos e refletindo em maior
125 benefício econômico para os produtores. Com isso, avaliou-se o crescimento, produção de
126 forragem, balanço de água no solo, índices hídricos, eficiência biológica, habilidade
127 competitiva e benefício econômico em cultivo adensado da palma forrageira, gramíneas e
128 leguminosa em sistemas exclusivos e consorciados em ambiente semiárido.

129

130 **2. Material e métodos**

131 *2.1 Localização e especificação do experimento*

132 A condução experimental ocorreu no “Centro de Referência Internacional de Estudos
133 Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras” (Fig. 1), situado na Universidade
134 Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), no
135 município de Serra Talhada, PE, Brasil (Latitude: 7°59’S, Longitude: 38°15’O e Altitude: 499
136 m).

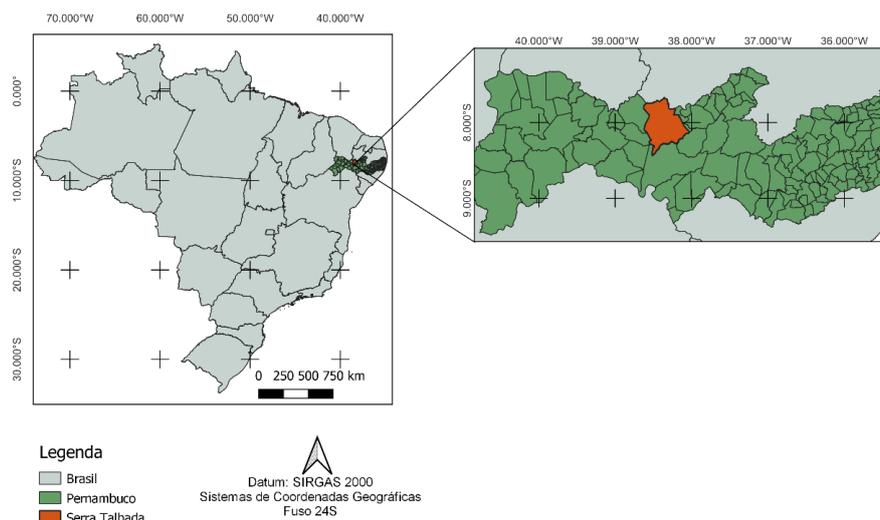


Fig. 1. Localização da área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil.

137

138 O clima segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw^h, com longa estação seca
 139 percorrendo de maio a dezembro e chuvas durante o verão (Alvares et al., 2013). Contém
 140 temperatura do ar média de 26,5 °C, umidade relativa do ar de 62,7%, com precipitação pluvial
 141 média de 642 mm ano⁻¹ e evapotranspiração potencial de 1.800 a 2.000 mm ano⁻¹, desse modo,
 142 ocasionando balanço hídrico negativo em maior parte do ano (Pereira et al., 2015; Silva et al.,
 143 2015a). Posteriormente a análise laboratorial na EMBRAPA Semiárido, o solo da área
 144 experimental, foi classificado como Cambissolo Háptico Ta Eutrófico típico (Tabela 1), com
 145 relevo plano segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018).

146

147 Tabela 1. Propriedades físicas e químicas de Cambissolo Háptico em Serra Talhada, PE, Brasil.

Propriedades físicas										
Prof	Ø	Areia			Silte			Argila		
cm	%	-----g kg ⁻¹ -----								
0-20	42,27	828,6			148,3			23,2		
Propriedades químicas										
Prof	C.E	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
cm	dS m ⁻¹	-----	g kg ⁻¹	Mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----					%
0-20	0,33	6,0	4,6	168,9	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2

Prof.: profundidade, Ø: porosidade total, C.E.: condutividade elétrica do extrato desaturação, CTC: capacidade de troca de cátions, e V: saturação de bases.

148

149 Durante a primeira época da palma, a precipitação pluvial (P) acumulada e irrigação (I)
 150 ao longo de outubro de 2020 a agosto de 2021 foi de, 658,20 e 602,33 mm respectivamente
 151 (Fig. 2). A demanda evapotranspirativa durante todo o ciclo foi de 1334,32 mm, enquanto a
 152 ET₀ média e máxima foi de 4,63 e 6,93 mm dia⁻¹. Para o segundo ciclo (agosto de 2021 a junho

153 de 2022), a P e I foram de 892,50 e 615,31 mm. A ET₀ para o ciclo completo foi de 1632,72
 154 mm, e na ET₀ média e máxima foi de 5,18 e 7,27 mm dia⁻¹.
 155

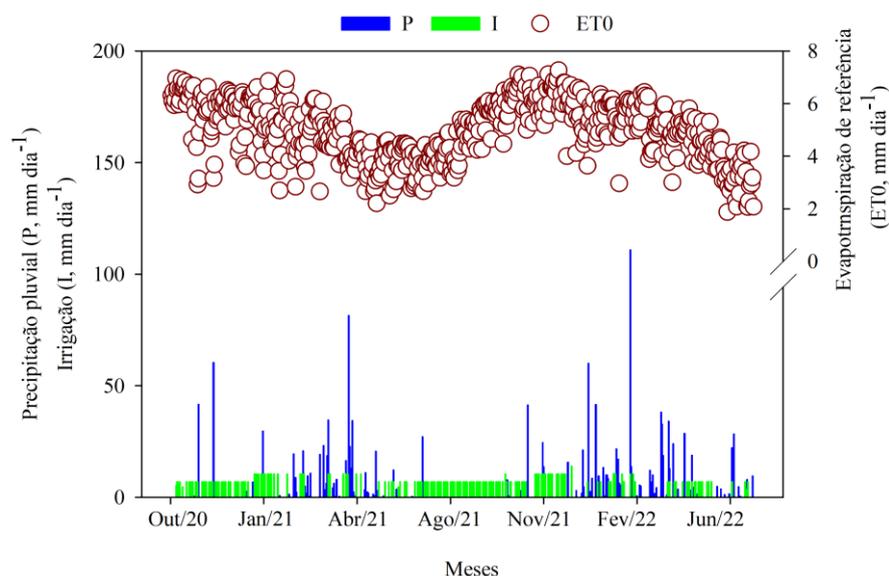


Fig. 2. Evapotranspiração de referência (ET₀), precipitação pluviométrica (P) e irrigação (I) durante o período experimental de 2020 a 2022, no município de Serra Talhada - PE, Brasil.

156

157 2.2 Configurações de cultivo e manejos

158 A área experimental possui 144 m², dividindo-se as parcelas experimentais 12 m². A
 159 palma forrageira foi implantada no dia 26 de abril de 2017, com o espaçamento de 1,0 m x 0,10
 160 m (100.000 plantas por hectare). O material vegetal utilizado foi a palma forrageira cultivar
 161 Orelha de Elefante Mexicana (OEM) [*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.], resistente a cochonilha-
 162 do-carmim (*Dactylopius opuntiae*). A palma foi conduzida durante dois ciclos produtivos, o
 163 primeiro iniciou-se a partir do corte de uniformização em outubro de 2020 e foi finalizado em
 164 agosto de 2021 (~11 meses), já o segundo ciclo teve início em agosto de 2021 e foi finalizado
 165 em junho de 2022 (~11 meses). Durante esse período, os tratamentos foram a palma, feijão-
 166 guandu (cv. crioula), milho (Bulk-01) e sorgo (cv. SF15) exclusivos, mais as combinações
 167 em consórcio Palma+Sorgo, Palma+Milho e Palma+Feijão-Guandu (Fig. 3), o que totaliza
 168 sete tratamentos com três repetições totalizando 21 unidades experimentais.

169

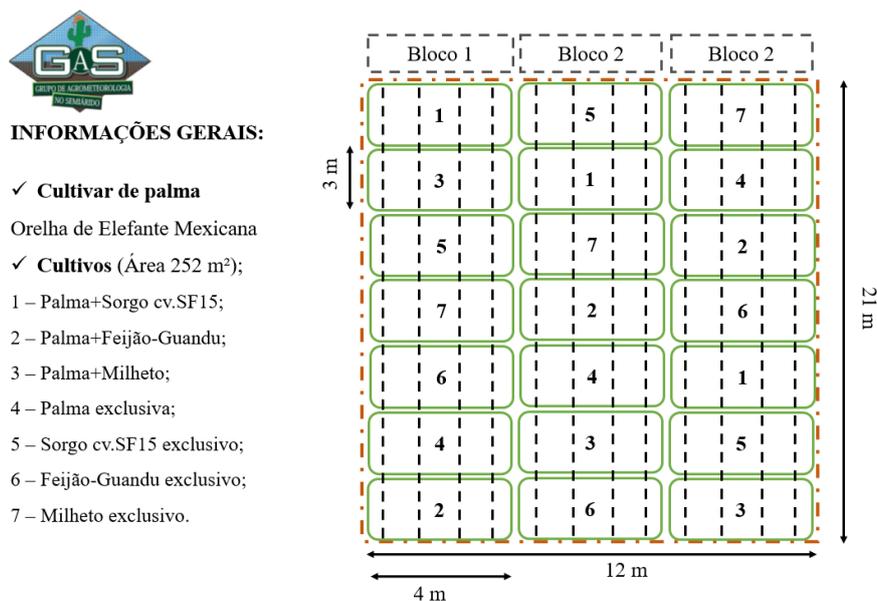


Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.

170

171 As culturas semeadas em consórcio com a palma foram implantadas no dia quatro de
 172 outubro de 2020 e 28 de setembro de 2021 para o primeiro e segundo ciclo da palma
 173 respectivamente. Foram abertos sulcos com 0,05 m de profundidade e a 0,30 m de distância do
 174 cladódio basal (cladódio mãe) para o plantio do sorgo e milheto. Logo após a emergência das
 175 plantas, foi realizado um desbaste, conservando-se 20 plantas por metro linear (200.000 plantas
 176 por hectare). Já para o feijão-guandu, utilizou-se o espaçamento de 0,25 m entre plantas e um
 177 metro entre fileiras (40.000 plantas por hectare).

178 No dia 21 de outubro de 2020 ocorreu uma adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e
 179 potássio (K), a qual foi relacionada com as propriedades químicas do solo da área experimental
 180 e exigência nutricional da palma forrageira, seguindo-se a recomendação do Instituto
 181 Agrônomo de Pernambuco (IPA).

182 O manejo de irrigação foi realizado em três dias da semana, nas segundas, quartas e
 183 sextas-feiras no período da manhã, por um sistema de gotejamento com gotejadores espaçados
 184 a 0,2 m, vazão de 1,57 L h⁻¹, coeficiente de uniformização de aplicação de água de 92% e
 185 pressão de 1 atm. O volume de água aplicado durante a condução dos dois ciclos foi de 602,31
 186 e 615,31 mm. A água aplicada na irrigação dos sistemas, é proveniente de um poço artesiano,
 187 cuja condutividade elétrica média de 1,62 dS m⁻¹ e pH de 6,84, classificada como C₃ (alta
 188 salinidade) (Richards, 1954). A quantificação da evapotranspiração de referência (ET₀), foi pelo
 189 método de Penman-Monteith, parametrizado no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998). Os
 190 dados das condições ambientais foram adquiridos de uma estação meteorológica automática,

191 situada ~20 m do campo experimental, a qual pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia
192 (INMET).

193 Antes da realização das irrigações, foi monitorado a umidade do solo com auxílio de
194 uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltd., Austrália). A mesma foi calibrada para
195 as condições locais, conforme o fabricante e a metodologia proposta por Araújo Primo et al.
196 (2015). Foi monitorado 17 tubos de acesso com 0,70 m de profundidade, sendo os mesmos
197 espaçados a 0,10 m da fileira da palma e dos consórcios.

198

199 *2.3 Análise de crescimento e produtividade das forrageiras*

200 *2.3.1 Palma forrageira*

201 As biometrias e quantificação de biomassas foram realizadas apenas no momento da
202 colheita final. Para isso, escolheu-se uma réplica dentro de cada parcela experimental, para
203 obtenção dos dados e quantificar os índices morfofisiológicos, delimitação das fases
204 fenológicas e momento de corte da palma forrageira. Com o auxílio de uma fita métrica foram
205 mensuradas altura da planta (AP – cm) e largura da planta (LP – cm), número total de cladódios
206 (NTC - unidades), assim como o número de cladódios de ordens subsequentes (NC1, NC2,
207 assim sucessivamente). Em cada planta escolheu-se uma ramificação e foi mensurado o
208 comprimento (CC - cm), largura (LC - cm), perímetro (PC - cm) e espessura (EC - cm) dos
209 cladódios. A partir disto, seguindo foi determinado a área do cladódio (AC, cm²) para todas as
210 ordens de surgimento seguindo a equação 1 (Silva et al., 2014), em sequência foi realizado o
211 cálculo do índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), conforme a equação 2 (Pinheiro et al.,
212 2014), considerando a razão entre a área do cladódio e o espaçamento do sistema.

213

$$214 \quad AC_{OEM} = 0,7086 * \frac{(1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC))}{0,000045765} \quad (1)$$

215

$$216 \quad IAC = \frac{(\sum_n^{i=1} AC)}{\frac{10000}{E1 * E2}} \quad (2)$$

217

218 No qual, área do cladódio (AC - cm²); perímetro do cladódio (PC - cm); comprimento do
219 cladódio (CC - cm); largura do cladódio (LC - cm); índice de área do cladódio (IAC - m² m⁻²);
220 fator de conversão de cm² para m² que é = 10000; espaçamento entre fileira (E1 – m);
221 espaçamento entre plantas (E2 - m).

222 A produtividade da palma foi obtida na colheita final, deixando-se apenas os cladódios
223 basais e de primeira ordem referentes as plantas da área útil, os demais seguiram para pesagem,
224 com isso, obtendo-se o peso fresco total das plantas (kg). Posteriormente, foram escolhidos dois
225 cladódios representativos de cada parcela, onde foram cortados, acondicionados em sacos de
226 ráfia, identificados e levados a estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55 °C,
227 até alcançar peso seco constante.

228 O rendimento de matéria fresca (MF) (Mg ha^{-1}) foi estimado a partir da consideração do
229 peso fresco total da parcela, com a densidade final de plantas, contabilizada na área útil da
230 parcela. Para estimativa de matéria seca (Mg ha^{-1}), considerou-se a matéria fresca das plantas e
231 os teores de massa seca dos cladódios.

232

233 *2.3.2 Sorgo forrageiro, milho e feijão-guandu*

234 Os dados biométricos de duas plantas representativas foram coletados na ocasião da
235 colheita. A aquisição dos dados finais para obtenção da produtividade, inicia-se com a
236 contagem do número de plantas totais em 2 metros lineares, em duas fileiras da parcela útil,
237 com isso possibilita-se realizar a estimativa da densidade final de plantas por hectare.
238 Posteriormente, selecionamos 10 plantas representativas dentro da parcela útil, dessas,
239 escolheu-se duas plantas para obtenção dos dados biométricos, enquanto as demais
240 encaminharam-se para a determinação da matéria fresca da parcela e, posteriormente, a
241 estimativa da produtividade em matéria verde (MV) por hectare. Para a obtenção da
242 produtividade de matéria seca (MS) foi realizado o fracionamento das duas plantas da biometria
243 em folhas vivas e mortas, colmo e panícula (sorgo e milho), para o feijão-guandu folhas, flor,
244 vagem e caule tenro e lignificado. Logo em seguida as frações foram colocadas em uma estufa
245 de circulação forçada de ar, com temperatura constante de 55 °C, até as amostras apresentarem
246 peso constante.

247

248 *2.4 Índices morfofisiológicos, fenofases e determinação do momento de corte da palma* 249 *forrageira*

250 Os índices morfofisiológicos foram calculados a partir das análises de regressão entre
251 os valores de produção de matéria seca e o índice de área do cladódio, que estão associados a
252 variável independente, graus dias acumulados (GDA). O GDA foi obtido por intermédio da
253 soma da diferença entre a temperatura média do dia, com a temperatura basal da palma que é
254 de 22° C (Araújo Júnior et al., 2017). Com isso, ajustou-se os modelos matemáticos sigmóides
255 com coeficientes de determinação superior a 0,85, onde foram derivados para os cálculos das

256 taxas diárias para o acúmulo de massa seca, resultando na taxa de crescimento absoluto (TCA,
 257 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$), além da TCA foram determinadas a taxa de crescimento relativo (TCR, Mg
 258 $\text{Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$), identificando o acúmulo de biomassa seca a contar de biomassa pré-existente;
 259 taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$), mostrando a eficiência de assimilação de
 260 CO_2 e conversão de matéria seca; área do cladódio específico (ACE, $\text{ha Mg}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$), refletindo
 261 a área de cladódios da planta com base no peso seco e momento de corte (Jardim et al., 2021d;
 262 Nunes et al., 2020; Queiroz et al., 2015).

263 A delimitação das fases fenológicas foi por meio de regressões, com utilização de
 264 modelos sigmóides de três parâmetros, associando-se aos graus dias cumulados (GDA, $^\circ\text{Cdia}$)
 265 e quantidade de cladódios por sequência de emissão. Equações com R^2 superior a 0,90 e
 266 parâmetros significativos ($p < 0,05$), foram derivadas para determinar a taxa de emissão diária
 267 de cladódios. Considerou-se uma nova fase vegetativa quando a taxa de emissão de cladódio
 268 foi superada por uma nova taxa de emissão de cladódio da ordem subsequente. Já o momento
 269 de corte da palma forrageira foi determinado com base no rendimento de massa seca. Em que,
 270 o respectivo GDA que atingiu os 25% da taxa máxima do acúmulo de massa seca, configura-
 271 se no momento de corte ideal da palma (Amorim et al., 2017).

272

273 *2.5 Balanço de água no solo*

274 O balanço de água no solo foi quantificado pelo método de Libardi (2005), que é
 275 baseado na conservação da massa da água em um volume de solo conhecido, conforme Equação
 276 3:

277

$$278 \pm \Delta h_L = P + I \pm R \pm Q - ET \quad (3)$$

279

280 em que: Δh_L – variação do armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação (mm); I –
 281 irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm),
 282 quando for negativo ocorre drenagem interna e positivo ascensão capilar; e ET –
 283 evapotranspiração real (mm).

284

285 A variação do armazenamento de água no solo (Δh_L) foi determinada pela diferença dos
 286 valores finais e iniciais do armazenamento de água no solo. Os valores obtidos por meio de
 287 leituras com a sonda capacitiva (Diviner 2000®), para camadas a cada 0,10 m, conforme
 288 Equação 4:

289

$$290 \quad \Delta h_L = (\theta_f - \theta_i)L \quad (4)$$

291
 292 onde: θ_f e θ_i – refere-se ao conteúdo de água volumétrico final e inicial, respectivamente; L –
 293 profundidade de interesse, análise do sistema radicular (mm).

294
 295 A precipitação pluviométrica (P) foi monitorada a partir de um pluviômetro situado em
 296 uma estação meteorológica automática que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia –
 297 INMET, situada nas proximidades da a área experimental. Após obtenção dos dados, os valores
 298 foram integrados para um determinado intervalo em dias, conforme Equação (5):

$$299 \quad \int_{t_i}^{t_j} p dt = P \quad (5)$$

300
 301
 302 em que: p – intensidade da precipitação (mm dia^{-1}); t – tempo.

303
 304 O total da água de irrigação (I) desenvolveu-se a partir da integração de todos os valores
 305 dos eventos de irrigação que ocorrerão durante a condução dos experimental Equação (6):

$$306 \quad \int_{t_i}^{t_j} i dt = I \quad (6)$$

307
 308
 309 em que: i – intensidade de irrigação (mm dia^{-1}).

310
 311 Para o escoamento (R), coletou-se a água escoada durante os eventos de precipitação,
 312 ajustou-se uma curva de segundo grau da água precipitada com a água escoada, a calha par
 313 obtenção do escoamento apresentava uma área de 1 m^2 .

314
 315 O fluxo vertical de água no solo (Q) foi obtido através da base limite inferior do perfil
 316 do solo (0,60 m de profundidade) utilizando-se dados do potencial total de água da camada logo
 317 acima (0,5 m) e abaixo (0,7 m), com a equação Buckingham-Darcy (Libardi, 2005), onde pôde-
 318 se determinar ascensão capilar (AC) quando valores positivos e drenagem profunda (DP)
 319 valores negativos. A densidade do fluxo (q) é advindo da quantificação por meio da equação
 320 proposta por Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), Equação 7:

321

$$322 \quad q = - K(\theta) \frac{\Delta\psi_t}{\Delta z} \quad (7)$$

323

324 em que: q – densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) na profundidade de controle; $K(\theta)$
 325 – condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia^{-1}); $\Delta\psi_t/\Delta z$ –
 326 gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas abaixo e acima da profundidade
 327 estabelecida.

328

329 A condutividade hidráulica do solo foi determinada em função da umidade $K(\theta)$,
 330 utilizando-se o método do perfil instantâneo descritos por Libardi (2005), Equação 8:

$$331 \quad K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad (8)$$

332

333 onde: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica no
 334 solo saturado (mm dia^{-1}); γ – é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do
 335 conteúdo de água no solo (θ); θ_0 – conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição,
 336 sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105$
 337 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (SILVA et al., 2015b).

338

339 Segundo Araújo Primo et al. (2015) o gradiente do potencial total de água no solo
 340 ($\Delta\psi_t/\Delta z \text{ m m}^{-1}$), em camada de 0,50 e 0,70 m, pode-se ser estimado pela Equação 9:

341

$$342 \quad \psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (9)$$

343

344 em que: α e β são coeficientes adimensionais que serão ajustados, por meio do método do perfil
 345 instantâneo, para as camadas de 0,50 m (249,9288 e -20,2236) e 0,70 m (789,0253 e -19,1510)
 346 (SILVA et al., 2015a).

347 A quantificação da evapotranspiração (ET, mm), foi por meio do resíduo da equação do
 348 balanço de água no solo (Equação 3), para intervalos de 7 dias.

349

350 2.6 Índices hídricos

351 A quantificação dos índices foi a partir do subsídio do rendimento de matéria fresca e
 352 seca, o volume de água advinda da precipitação (P) e irrigação (I), e evapotranspiração real
 353 (ETr). A eficiência do uso da água (WUE) é discernimento da água utilizada pela cultura sob

354 uma quantidade de água aplicada no sistema de cultivo. Com isso, a eficiência do uso da água
 355 da cultura (WUEc) foi estabelecida pela ligação da evapotranspiração real (ETr) e a quantidade
 356 de água aplicada (P+I), seguindo a metodologia de Fernández et al. (2020) (Equação 10):

357

$$358 \quad WUEc = \frac{\Sigma ETr}{\Sigma P+I} \quad (10)$$

359

360 Na qual: WUEc – eficiência do uso da água da cultura (m³ m³); ETr – evapotranspiração real
 361 (m³); P - precipitação (m³); I – irrigação (m³).

362

363 A eficiência do uso da água da cultura (*WUEc) é a relação entre a biomassa total de
 364 uma determinada cultura e a evapotranspiração real (ETr) (FERNÁNDEZ et al., 2020)
 365 (Equação 11):

366

$$367 \quad *WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma ETr} \quad (11)$$

368

369 Na qual, *WUEc – eficiência do uso da água da cultura (kg m³); Biomassa – Biomassa seca
 370 total de uma cultura (kg ha⁻¹); ETr – evapotranspiração real da cultura (m³).

371

372 O cálculo para determinar a produtividade da água da cultura (WPC) (Equação 12) foi
 373 por meio da relação entre o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e a
 374 evapotranspiração real da cultura (ETr) (Fernández et al., 2020):

375

$$376 \quad WPC = \frac{Y}{\Sigma ETr} \quad (12)$$

377

378 Na qual, WPC – produtividade da água da cultura (kg m³); Y – rendimento de matéria seca (kg
 379 ha⁻¹); ETr - evapotranspiração real (m³).

380

381 A produtividade da água da cultura (*WPC) também foi calculada sendo a relação entre
 382 o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e o total de água envolvida na produção
 383 durante todo o ciclo (P+I) (Fernández et al., 2020) (Equação 13):

384

$$*WP_c = \frac{Y}{P+I} \quad (13)$$

386

387 Na qual, $*WP_c$ – produtividade da água da cultura (kg m^3); Y – rendimento de matéria seca (kg
 388 ha^{-1}); P – precipitação (m^3); I – irrigação (m^3).

389

390 A produtividade da água de irrigação (WP_i) foi obtida pelo rendimento da cultura sobre
 391 a quantidade de água aplicada via irrigação (I) (Fernández et al., 2020) (Equação 14):

392

$$WP_i = \frac{Y}{\Sigma I} \quad (14)$$

394

395 Na qual, WP_i – produtividade da água irrigação (kg m^3); Y – rendimento de matéria fresca e
 396 seca (kg ha^{-1}); I – irrigação (m^3).

397

398 A produtividade econômica bruta da água via irrigação ($GEWP_i$) foi calculada a partir
 399 da associação da margem bruta (Margem bruta = Receitas - Custos variáveis), Receita =
 400 rendimento de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21 reais) e
 401 Custos variáveis = soma do custo com energia, mão-de-obra e depreciação dos componentes.
 402 Neste estudo, os cálculos foram fundamentados a parit do dólar americano, em razão da
 403 irrigação aplicada durante o ciclo experimental (Fernández et al., 2020) (Equação 15):

404

$$GEWP_i = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad (15)$$

406

407 $GEWP_i$ – produtividade da água irrigação ($\text{US\$ m}^3$); Margem bruta ($\text{US\$}$); I – irrigação (m^3).

408

409 A produtividade econômica líquida da irrigação foi calculada sendo a relação entre a
 410 margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis), Receita = rendimento
 411 de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21 reais), Custos fixos =
 412 conjunto moto bomba, recalque e implantação da cultura e Custos variáveis = soma do custo
 413 com energia, mão-de-obra e depreciação dos componentes. e a lâmina de irrigação acumulada
 414 de todo o período experimental (Fernández et al., 2020) (Equação 16):

415

$$416 \quad \text{NEWPi} = \frac{\text{Margem Líquida}}{\Sigma I} \quad (16)$$

417
 418 Na qual, NEWPi - produtividade econômica líquida da irrigação (US\$ m³); Margem líquida
 419 (US\$); I - irrigação (m³).

420
 421 Os cálculos para a produtividade econômica da água da cultura (EWPC) levou-se em
 422 consideração o lucro da cultura (receita variável, custos fixos e de oportunidade) pelo montante
 423 de água aplicada no experimento (Fernández et al., 2020) (Equação 17):

$$425 \quad \text{EWPC} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (17)$$

426
 427 Na qual, EWPC - produtividade econômica da água da cultura (US\$ m³); Profit – lucro (US\$);
 428 P – precipitação (m³); I - irrigação (m³).

429
 430 Calculou-se a produtividade econômica da água de irrigação (EWPI) por meio do valor
 431 da Profit e a lâmina de irrigação aplicada (Fernández et al., 2020) (Equação 18):

$$433 \quad \text{EWPI} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (18)$$

434
 435 Na qual, EWPI – produtividade econômica da água de irrigação (US\$ m³); Profit – lucro
 436 (US\$); I - irrigação (m³).

437 438 *2.7 Eficiência biológica*

439 Para determinar os índices de eficiência biológica dos consórcios palma-sorgo, palma-
 440 milho e palma-feijão-guandu, foram utilizados: a taxa equivalente da terra (LER), razão de
 441 área equivalente no tempo (RAET), coeficiente equivalente de terra (CET) e índice de
 442 produtividade do sistema (IPS), seguindo as equações 19, 20, 21 e 22 respectivamente.

$$444 \quad \text{LER} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (19)$$

445

446 O qual, os parâmetros Y_{ab} e Y_{ba} referem-se ao rendimento da palma e culturas secundárias
 447 (sorgo, milho e feijão-guandu) em sistema consorciado, enquanto Y_{aa} e Y_{bb} representa a
 448 condição exclusiva das espécies, na mesma sequência, respectivamente. Quando $LER > 1$, há
 449 vantagem em consorciar, quando comparado ao exclusivo, porém, $LER = 1$, configura
 450 desvantagem produtiva, e se a $LER < 1$, não se recomenda a consorciação (Alves et al., 2022;
 451 Diniz et al., 2017; Yilmaz et al., 2014).

452

$$453 \quad RAET = \frac{(LER_a \times t_a) + (LER_b \times t_b)}{T_{ab}} \quad (20)$$

454

455 O qual, LER_a e LER_b correspondem a utilização eficiente da terra parcial pela palma forrageira
 456 e as culturas consortes (sorgo, milho e feijão-guandu). A t_a e t_b retratam a duração do ciclo da
 457 palma e demais culturas, respectivamente. Para a T_{ab} = representa a duração total do
 458 consorciado em campo. Há vantagem no sistema associado, quando a $RAET > 1$, compreende
 459 vantagem, já em caso da $RAET = 1$ ou $RAET < 1$, não se observa vantagem sobre o rendimento
 460 e existe desvantagem produtiva, respectivamente.

461

$$462 \quad CET = LER_a \times LER_b \quad (21)$$

463

464 O qual, $CET > 0,25$ determina vantagem produtiva em cultivos consorciados, já que, o mínimo
 465 deste coeficiente de produtividade é de 25% (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

466

$$467 \quad IPS = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) Y_{ba} + Y_{ab} \quad (22)$$

468

469 Em que, o IPS é empregado para padronizar a espécie forrageira secundária (sorgo, milho e
 470 feijão-guandu), em relação a principal (palma forrageira) (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

471

472 2.8 Habilidade competitiva

473 A quantificação dos índices de habilidade competitiva da palma consorciada com o
 474 sorgo, milho e feijão-guandu foram: coeficiente de adensamento relativo (CAR),
 475 agressividade (A), perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) e razão de competitividade
 476 (RC), seguindo as equações 23, 24, 25 e 26 respectivamente (Alves et al., 2022; Diniz et al.,
 477 2017).

$$478 \quad \text{CAR}_{ab} = \frac{Y_{ab} \times X_{ba}}{Y_{aa} - Y_{ab}} \times X_{ab} \quad (23)$$

479
 480 em que, X_{ab} = corresponde a proporcionalidade do plantio da palma em consórcio com o sorgo,
 481 milho e feijão-guandu e X_{ba} = é a proporção de plantio do sorgo, milho e feijão-guandu
 482 consorciados com a palma forrageira. Ao passo que, o $\text{CAR} > 1$, indica vantagem no rendimento
 483 dos sistemas consorciados em relação ao exclusivo, já o $\text{CAR} = 1$, não representa vantagem
 484 produtiva, e $\text{CAR} < 1$, desvantajoso realizar a consorciação. Ao ser observado que o $\text{CAR}_{ab} >$
 485 CAR_{ba} , demonstra que a palma é mais competitiva em relação as demais culturas consortes
 486 (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

$$488 \quad A_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times X_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times X_{ba}} \quad (24)$$

489
 490 Em que, $A_{ab} = 0$, indica a mesma capacidade de competir entre as espécies associadas, porém,
 491 $A_{ab} > 0$ (valores positivos), a palma é dominante em relação ao sorgo, milho e feijão-guandu,
 492 e $A_{ab} < 0$, ocorre o inverso do A_{ab} (Alves et al., 2022; Sadeghpour et al., 2013). O mesmo
 493 pensamento é valido para A_{ba} .

$$495 \quad \text{PGAR} = \left(\text{LER}_a \times \left[\frac{100}{X_{ab}} \right] - 1 \right) + \left(\text{LER}_b \times \left[\frac{100}{X_{ba}} \right] - 1 \right) \quad (25)$$

496
 497 em que, o $\text{PGAR} > 0$ (valores positivos), demonstram vantagem do consorciado em relação ao
 498 exclusivo, no entanto, se $\text{PGAR} < 0$ (valores negativos), representa desvantagem na
 499 consorciação (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

$$501 \quad \text{RC}_a = \frac{\text{LER}_a}{\text{LER}_b} \times \frac{X_{ba}}{X_{ab}} \quad (26)$$

502
 503 Em que, $\text{RC}_a < 1$, ocorre beneficiamento positivo no consórcio, permitindo a associação das
 504 culturas, mas, se $\text{RC}_a > 1$, a competitividade entre as espécies foi elevada, desfigurando a chance
 505 de consorciação entre elas (Alves et al., 2022; Sadeghpour et al., 2013).

506

507 2.9 Análise estatística

508 Os dados de produtividade de massa fresca e seca, foram submetidos a análise de
509 variância ($p < 0,05$), teste de normalidade e homogeneidade. Quando as médias foram
510 significativas utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para todas as análises, o
511 programa estatístico utilizado foi o R (R Core Team, 2018). Para ajustar as curvas de regressão
512 e confecção dos gráficos das fenofases, taxas de crescimento, acúmulo de massa seca e
513 momento de corte foi utilizado o SigmaPlot (versão 14.0).

514

515 3. Resultados

516 3.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

517 3.1.1 Taxas do primeiro ciclo palma forrageira

518 Observou-se que inicialmente a palma em todos os tratamentos apresentou crescimento
519 rápido, seguindo-se posteriormente de uma queda brusca em seu rendimento de massa seca
520 (Fig. 4). Os sistemas consorciados apresentaram o maior acúmulo da taxa de crescimento
521 absoluto (TCA) (Fig. 4A), com 0,0264; 0,0259 e 0,0253 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, para os sistemas P-S,
522 P-M e P-FG, respectivamente, logo em seguida a PEXC com 0,0157 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$. Foi
523 atingido o pico máximo da TCA em torno de 600 $^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$.

524 Verificou-se que a taxa de crescimento relativo (TCR) (Fig. 4B), os tratamentos
525 apresentaram o mesmo comportamento, onde a TCR máxima ocorreu durante o início do ciclo
526 experimental. Todavia, ocorreu uma redução acentuada entre os 600 a 1200 $^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, após este
527 intervalo, verifica-se uma estabilização até o desfecho do ciclo experimental (1580 $^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$),
528 constituindo ausência de crescimento relativo. Todavia, destaca-se que os sistemas P-FG e P-S
529 exibiram uma TCR máxima de 0,0029 e 0,0027 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, respectivamente.

530

531

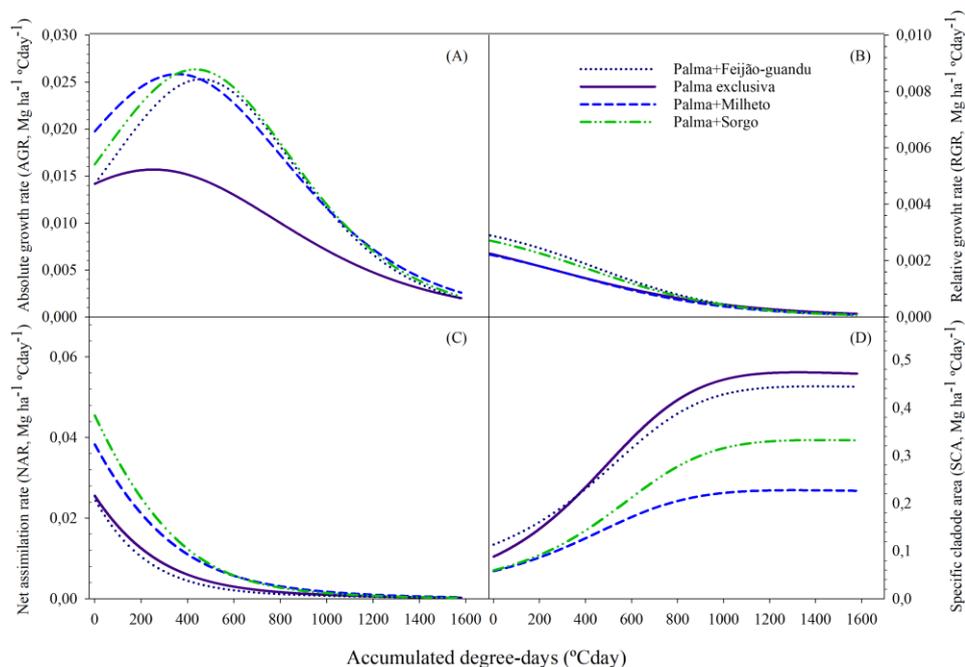


Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$) e (D) área do cladódio específico (ACE, $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$).

532

533 Em relação a taxa de assimilação líquida (TAL) (Fig. 4C), o maior desenvolvimento dos
 534 tratamentos foi no início do ciclo, entretanto, o sistema P-S e P-M se destacaram, com TAL
 535 máxima de 0,045 e 0,038 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$. Majoritariamente, a assimilação reduziu de forma
 536 acentuada após ~600 graus dias acumulados (GDA) e estabilizando-se de ~800 a 1580 GDA.

537 A área do cladódio específico (ACE) foi menor no início do ciclo (Fig. 4D), devido ao
 538 crescimento inicial da cultura com emissividade de novas raquetes. Por via de regra, os
 539 tratamentos demonstraram ACE máxima entre ~600 a 1000 GDA. Após este pico, ocorreu uma
 540 estabilização em todos os tratamentos. Porém, o cultivo da PEXC e P-FG expressaram ACE
 541 máxima de 0,4741 e 0,4447 ha Mg^{-1} .

542

543 3.1.2 Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo

544 A taxa de crescimento absoluto (TCA) máxima, ocorreu para os sistemas PEXC e P-FG
 545 (Fig. 5A), com 0,0163 e 0,0150 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, em seguida os consórcios P-S e P-M com
 546 0,0108 e 0,0085 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$, respectivamente. O pico da TCA em todos os tratamentos
 547 ocorreu entre 400 e 500 $^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$.

548 O comportamento da taxa de crescimento relativo (TCR) (Fig. 5B) foi semelhante entre
 549 os sistemas, em que, foi evidenciada que a TCR máxima ocorreu durante a fase inicial do ciclo
 550 experimental. No entanto, observa-se uma redução acentuada 800 a 1200 °Cdia⁻¹, em seguida
 551 há uma estabilização até o fim do ciclo (1562 °Cdia⁻¹), resultando em inexistência de
 552 crescimento relativo. Ainda assim, o cultivo PEXC foi superior com 0,0029 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹,
 553 em seguida e P-M e P-FG com 0,0027 enquanto a menor TCR foi para P-S com 0,0025 Mg ha⁻¹
 554 °Cdia⁻¹, respectivamente.
 555

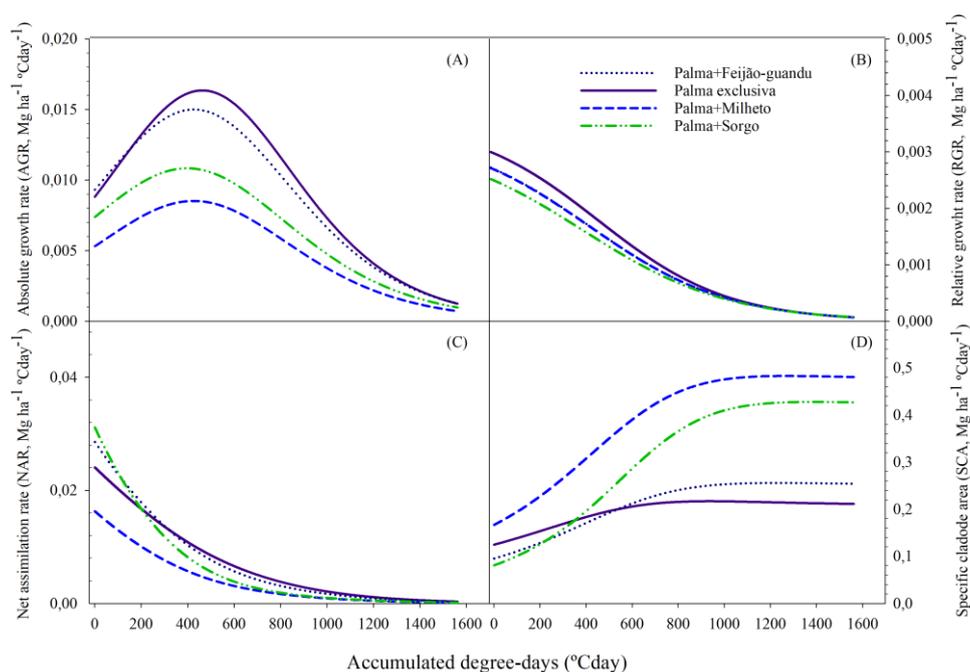


Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha⁻¹ °Cdia).

556
 557 A máxima taxa de assimilação líquida (TAL) (Fig. 5C) ocorreu no início do ciclo
 558 experimental, todavia, os sistemas P-S e P-FG se destacaram, apresentando TAL máxima de
 559 0,031 e 0,028 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Predominantemente, a taxa de assimilação foi reduzindo
 560 ativamente a partir dos ~400 GDA e se estabelecendo entre ~600 a 1562 GDA. Para ACE
 561 observou-se um menor desenvolvimento no início do ciclo (Fig. 5D), em decorrência do lento
 562 surgimento de novos cladódios. Pode-se constatar que os cultivos obtiveram ACE máxima entre
 563 ~400 a 900 GDA. Após esta elevação, constata-se uma estabilização em todos os tratamentos.
 564 Todavia, o cultivo da P-M e P-S expressaram ACE máxima de 0,4829 e 0,4278 ha Mg⁻¹.

565

566 3.2 Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma

567 3.2.1 Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira

568 Houve a presença de apenas uma fenofase nos diferentes sistemas de cultivos da *O.*
 569 *stricta* (Fig. 6). As maiores emissões de cladódios ocorreram entre os cultivos consorciados,
 570 distanciando-se apenas do cultivo exclusivo (Fig. 6A, 6B, 6C e 6D).

571

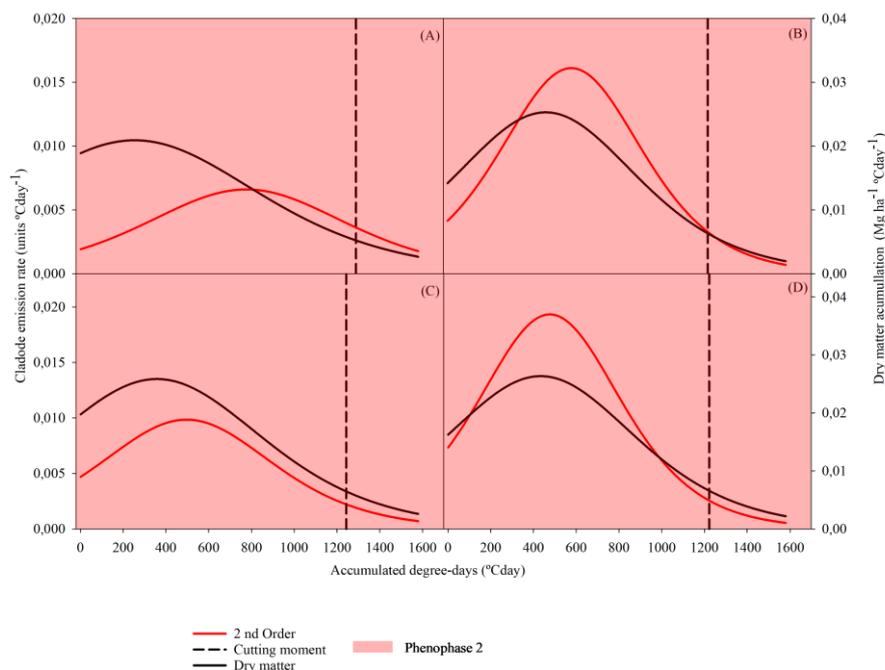


Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-FG), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo (P-S).

572

573 Para fenofase 2, a máxima taxa de emissão de cladódios sucedeu-se nos consórcios
 574 palma-sorgo (P-S) e palma-feijão-guandu (P-FG) com 0,017 e 0,016 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 6D e
 575 B), em sequência, os sistemas palma-milheto (P-M) e palma exclusiva (PEXC) (Fig. 6C e A)
 576 apresentaram emissão de 0,009 e 0,006 unid. °Cdia⁻¹, respectivamente. Em relação ao pico da
 577 fenofase 2 foi semelhante entre os consórcios em um intervalo de 500 a 600 °Cdia, enquanto o
 578 monocultivo da palma só ocorreu ~ 800 °Cdia. O momento de corte foi levemente menor nos
 579 sistemas consorciados (Fig. B, C e D), onde em média ocorreu aos 1227 °Cdia. Todavia a PEXC
 580 necessitou de 1289 °Cdia para atingir este ápice, o que incrementa 62 °Cdia (~3 dias).

581

582 3.2.2 Crescimento segundo ciclo da palma forrageira

583 Durante o segundo ciclo da palma forrageira pode-se observar apenas a existência da
 584 fenofase dois, mesmo a palma submetida a diferentes condições de cultivo (Fig. 7). A maior
 585 emissividade de raquetes de segunda ordem ocorreu no consórcio P-S com 0,007 unid. °Cdia⁻¹
 586 (Fig. 7D), em sequência o cultivo PEXC e P-M (0,006 unid. °Cdia⁻¹) e P-FG com 0,005 unid.
 587 °Cdia⁻¹ (Fig. 7A, C e B, respectivamente). Em média o pico da fenofase 2 para os sistemas
 588 associados ocorreram em um intervalo de 500 a 580 °Cdia, no entanto a palma solteira só
 589 ocorreu ~ 600 °Cdia. O momento de corte foi muito parecido entre a PEXC, P-G e P-M que em
 590 média foi de 1206 °Cdia (Fig. 7A, B e C), todavia, o sistema P-S só ocorreu aos 1294 °Cdia,
 591 resultando em 88 °Cdia (~ 4 dias) a mais para atingir o corte.
 592

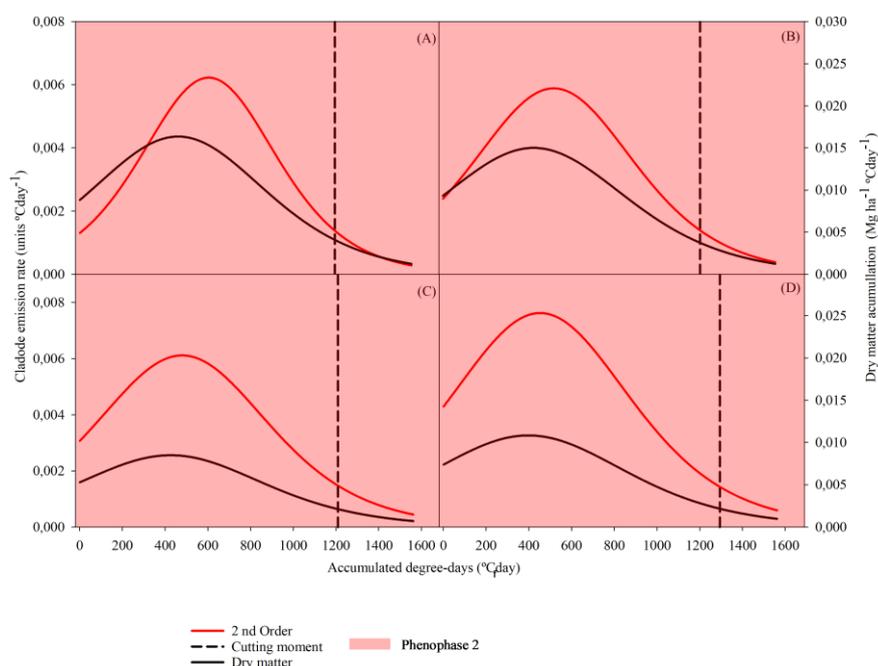


Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva (PEXC); (B) Palma-Feijão-guandu (P-FG), (C) Palma-Milheto (P-M) e (D) Palma-Sorgo (P-S).

593

594 3.3 Balanço de água no solo

595 3.3.1 Primeiro ciclo

596 Na Tabela 2 pode-se observar a disposição dos componentes do balanço de água no solo
 597 em cultivo da palma forrageira sob condição exclusiva (PEXC) e monocultivo das culturas
 598 secundárias (sorgo, milho e feijão-guandu), também contém os sistemas associados tais como:
 599 Sorgo (P-S), Milheto (P-M); e feijão-guandu (P-FG), durante o período de (2020 a 2021).

600 Tabela 2. Balanço de água no solo em diferentes sistemas de cultivos da palma forrageira época
601 2020-2021.

Milheto exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	3,75	-224,87
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	16,09	-211,70
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	-14,86	-240,35
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	3,41	-202,82
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	8,39	-879,73
Sorgo exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	9,15	-219,46
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	17,62	-210,17
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	-24,22	-249,71
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	6,75	-199,48
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	9,30	-878,82
Feijão-Guandu exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	14,05	-214,56
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	12,38	-215,41
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	-16,46	-241,95
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	4,80	-201,43
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	14,77	-873,35
Palma exclusiva										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	-0,34	-228,95
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	1,85	-225,95
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	23,10	-202,39
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	-31,97	-238,21
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	-7,37	-895,49
Palma_Milheto										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	8,50	-220,11
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	1,31	-226,48
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	22,31	-203,18
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	-32,85	-238,81
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	-0,73	-888,58
Palma_Sorgo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	1,69	-226,93
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	4,31	-223,48
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	23,82	-201,66
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	-22,91	-229,15
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	6,91	-881,22
Palma_Feijão-Guandu										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
04/11/2020	06/01/2021	1	70	124,80	187,65	0,00	0,00	-83,84	0,85	-227,77
13/01/2021	17/03/2021	2	70	155,00	135,53	0,00	0,00	-62,73	1,88	-225,91
24/03/2021	26/05/2021	3	70	326,80	86,88	0,00	0,00	-188,19	26,77	-198,71
02/06/2021	11/08/2021	4	77	51,60	192,28	0,00	0,00	-37,65	-23,49	-229,72
Soma			287	658,20	602,33	0,00	0,00	-372,41	6,02	-882,11

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

603 Ao longo da condução experimental (287 dias) o somatório da P+I foi de 1.260,53 mm,
604 em que, os períodos que apresentaram volumes de precipitação elevadas foram os 1°, 2° e 3°
605 com 202,2 mm em média, enquanto o período 4 apresentou 51,6 mm (Tabela 2). A cerca da
606 lâmina de irrigação aplicada, houve variação de 86,88 a 192,28 mm em períodos com
607 intercadência de 70 a 77 dias. Pôde-se observar que durante o ciclo as perdas de água por
608 intermédio da DP foram baixas em todos os sistemas, entretanto, o escoamento superficial foi
609 o que apresentou maior significância nas perdas, alcançando máxima de -188,19 mm no período
610 3 (70 dias) em todos os meios de cultivos verificados.

611 No que concerne ao ΔA (Tabela 2), os cultivos consorciados P-S, P-G e P-M exibiram
612 armazenamentos positivos em três períodos (1°, 2° e 3°) resultando 6,91; 6,02 mm em 278 dias
613 de cultivo, no entanto, o sistema P-M apresentou um ΔA final de -0,73 mm, resultante de um
614 baixo armazenamento no 4° período (-32,85 mm). Para os sistemas exclusivos das culturas
615 secundárias feijão-guandu (FG), sorgo (S) e Milheto (M) foi observado os maiores volumes de
616 armazenamento nos períodos 1°, 2° e 4°, enquanto o quantitativo final do ΔA foi de 14,77; 9,30
617 e 8,39 mm, respectivamente em 278 dias. Todavia o sistema da PEXC apresentou
618 armazenamentos positivos em apenas dois períodos (2° e 3°) e ΔA final de -7,37 mm. Com
619 exceção da PEXC, observou-se que os monocultivos das culturas secundárias são capazes de
620 armazenar mais água no solo, em sequência os sistemas consorciados.

621 Houve escoamento superficial (R) em todos os quatro períodos avaliados em todos os
622 sistemas de cultivo. Os intervalos que apresentaram os maiores R foram o 1° (04/11 a 06/01 de
623 2021, com -83,54 mm) 3° (24/03 a 26/05 de 2021, com -188,19 mm), numericamente estes
624 escoamentos se compatibilizam com os maiores eventos de precipitação pluviométrica. Para o
625 2° e 4° período a variação foi de -62,33 e -37,65 mm. A cerca da ETr, a alternância entre os
626 sistemas foram de -873,35 a -895,49 mm durante todo o ciclo experimental. É de se destacar
627 que os cultivos exclusivos apresentaram as menores taxas evapotranspirativas, onde o FG, S e
628 M apresentaram -873,35; -878,82 e -879,73 mm, respectivamente. Os sistemas consorciados,
629 foram os que apresentaram as maiores magnitudes da ETr, com -881,22; -882,11 e -888,58 mm,
630 para os sistemas P-S, P-FG e P-M, respectivamente. Todavia, houve uma exceção dentre os
631 sistemas avaliados, em que, a PEXC deteve a maior ETr (-895,49 mm).

632 633 3.3.2 Segundo ciclo

634 A Tabela 3 compõe os elementos do balanço de água no solo do cultivo da palma
635 forrageira e gramíneas e leguminosa durante o período de (2021 a 2022).

636

637 Tabela 3. Balanço de água no solo em cultivo da palma forrageira, gramíneas e leguminosa em
638 condições exclusivas e consorciadas, época 2021-2022.

Milheto exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	3,18	-236,42
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	-0,52	-312,42
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-13,83	-356,93
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	5,04	-207,92
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	-6,13	-1113,69
Sorgo exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	6,35	-233,25
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	-13,12	-325,02
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-14,13	-357,22
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	17,96	-195,01
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	-2,95	-1110,50
Feijão-Guandu exclusivo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	5,39	-234,21
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	-1,19	-313,09
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-14,10	-357,19
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	5,77	-207,20
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	-4,14	-1111,69
Palma exclusiva										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	14,43	-225,18
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	-0,55	-312,45
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-9,39	-352,48
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	12,25	-200,71
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	16,74	-1090,82
Palma_Milheto										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	10,90	-228,70
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	4,74	-307,16
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-15,14	-358,24
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	12,72	-200,24
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	13,22	-1095,84
Palma-Sorgo										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	2,82	-236,78
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	-0,42	-312,32
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-9,83	-352,92
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	12,11	-200,85
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	4,68	-1102,87
Palma_Feijão-Guandu										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	229,35	0,00	0,00	-51,95	-1,45	-241,06
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	218,93	0,00	0,00	-138,83	5,27	-306,62
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	191,13	0,00	0,00	-290,73	-12,91	-356,00
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	122,09	0,00	0,00	-49,03	15,20	-197,76
Soma			308	876,60	761,49	0,00	0,00	-530,53	6,11	-1101,44

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

640 Durante o ciclo experimental (308 dias) a P+I representaram 1.638,09 mm, onde, os
641 maiores eventos de precipitação pluviométrica ocorreram nos períodos 2, 3 e 4, que em média
642 foi precipitado 271,47 mm. O 1º período foi o que apresentou o menor volume de chuva, com
643 62,20 mm (Tabela 3). Para a lâmina de água aplicada via irrigação, ocorreu uma alternância de
644 122,09 a 229,35 mm cujo períodos são de 77 dias. Observa-se que as perdas de água por DP
645 apresentaram-se baixas em todas as condições de cultivo, todavia, para o R ocorreram perdas
646 expressivas, com ápice de -290,73 mm no 3º período (77 dias) para quaisquer tratamentos
647 observados.

648 O ΔA entra as associações P-M, P-FG e P-S exibiram armazenamentos finais positivos
649 com 13,22; 6,11 e 4,68 mm em 308 dias de cultivo, entretanto, o sistema PEXC também
650 apresentou ΔA final positivo (16,74 mm), todavia, os demais sistemas exclusivos (M, FG e S)
651 apresentaram armazenamentos negativos, com volumes de -6,13; -4,14 e -2,95 mm,
652 respectivamente. Pôde-se observar que os sistemas consorciados foram capazes de armazenar
653 mais água, quando comparados aos monocultivos das culturas secundárias. Com ressalva, a
654 PEXC foi capaz de obter o maior volume hídrico durante o período experimental.

655 Houve escoamento superficial (R) em todos os quatros períodos, para todos os sistemas
656 avaliados. Os eventos mais elevados de R ocorreram no 2º (03/11/2021 a 12/01/2022, com -
657 138,83 mm) e 3º (19/01 a 30/03 de 2022, com -290,73 mm), os escoamentos citados têm relação
658 direta com as precipitações pluviométricas elevadas, ou seja, volumes precipitados em alta
659 intensidade favorecem os eventos de R. A variação dos escoamentos entre os demais períodos
660 (1º e 4º) foram de -51,95 e -49,03 mm, respectivamente. Em relação a ETr a variação entre os
661 cultivos foi de -1090,82 a -1113,69 mm durante 308 dias. Os cultivos exclusivos do M, FG e S
662 apresentaram taxas evapotranspirativas mais elevadas, com -1113,69; -1111,69 e -1110,50 mm,
663 respectivamente. Em sequência os sistemas associados obtiveram valores de ETr, com -
664 1102,87; -1101,44 e -1095,84 mm, para os sistemas P-S, P-FG e P-M, respectivamente. No
665 entanto, a PEXC obteve a menor taxa evapotranspirativas (-1090,82 mm).

666

667 *3.4 Rendimento da palma forrageira 1º e 2º ciclo*

668 Não foi constatada diferença significativa ($p>0,05$) na produtividade individual da
669 palma forrageira em massa fresca (MS-Mg ha⁻¹) e massa seca (MS-Mg ha⁻¹) entre o sistema
670 exclusivo e os consorciados durante o 1º ciclo (Tabela 4). Em relação ao rendimento das
671 culturas secundárias, testemunhou-se diferença significativa ($p<0,05$) entre as condições
672 exclusivas e consorciadas em todas as espécies, onde, os monocultivos foram mais produtivos,
673 destacando-se o sorgo, que apresentou maior rendimento forrageiro com 170,98 e 43,00 Mg ha⁻¹

674 ¹ de MF e MS. Para o somatório final observou-se que os sistemas da palma exclusiva e
 675 consorciada não se diferenciaram entre si ($p>0,05$) em termo de MF, porém é de se destacar
 676 uma tendencia de aumento da MF na associação P-S (460,53 Mg ha⁻¹). Todavia, para as culturas
 677 secundárias mesmo não se diferindo entre elas, com exceção do sorgo, as demais foram
 678 inferiores aos diferentes cultivos da palma forrageira. Ao mesmo tempo que para MS não foi
 679 constatada diferença significativa entre os cultivos, no entanto, os sistemas com sorgo
 680 tendenciaram-se positivamente para o aumento da MS.

681
 682 Tabela 4. Produtividade de forragem da palma forrageira durante dois ciclos produtivos,
 683 consorciada, irrigada com e sem cobertura morta em ambiente semiárido.

Primeiro ciclo						
Condição	Palma forrageira					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
Y _{PEXC}	398,22 a			24,64 a		
Y _{P-S}	401,16 a			30,96 a		
Y _{P-M}	395,80 a			34,75 a		
Y _{P-FG}	393,76 a			29,07 a		
Condição	Culturas secundárias					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
	Y _S	Y _M	Y _{FG}	Y _S	Y _M	Y _{FG}
Exclusivo	170,98 a	73,42 a	23,17 a	43,00 a	19,76 a	15,20 a
Conсорciado	59,36 b	14,06 b	11,10 b	12,59 b	3,31 b	8,13 b
Y _{SIS}	Somatório dos sistemas					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
PEXC	398,22 ab			24,64 a		
P-S	460,53 ab			43,55 a		
P-M	409,86 ab			38,07 a		
P-FG	404,87 ab			37,21 a		
S	170,98 bc			43,00 a		
M	73,42 c			19,75 a		
FG	23,17 c			15,20 a		
Segundo ciclo						
Condição	Palma forrageira					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
Y _{PEXC}	237,64 a			18,30 a		
Y _{P-S}	183,58 a			13,45 a		
Y _{P-M}	149,62 a			10,13 a		
Y _{P-FG}	220,70 a			17,81 a		
Condição	Culturas secundárias					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
	Y _S	Y _M	Y _{FG}	Y _S	Y _M	Y _{FG}
Exclusivo	63,31 a	15,47 a	7,81 a	18,94 a	3,84 a	2,87 a
Conсорciado	40,31 b	8,18 b	7,74 a	13,26 a	2,36 a	2,80 a
Y _{SIS}	Somatório dos sistemas					
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)			Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)		
PEXC	237,64 a			18,30 ab		
P-S	223,90 a			26,71 a		
P-M	157,79 ab			12,5 bc		
P-FG	228,45 a			20,60 ab		
S	63,30 bc			18,93 ab		
M	15,47 c			3,84 cd		
FG	7,80 c			2,87 d		

As médias com mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Y – Rendimento; Y_{SIS} – Rendimento final do sistema (cultura A+B) Y_{PEXC} – Palma exclusiva; Y_{P-S} – Palma-Sorgo; Y_{P-M} – Palma-Milheto; Y_{P-FG} – Palma-Feijão-guandu; Y_S – Sorgo exclusivo; Y_M – Milheto exclusivo; Y_{FG} – Feijão-Guandu exclusivo.

684
 685 Durante o segundo ciclo não foi observado diferença ($p>0,05$) no rendimento individual
 686 da palma forrageira entre os sistemas consorciados e exclusivo (Tabela 4), para a MF e MS.
 687 Porém destaca-se a propensão de aumento nestas variáveis na condição da PEXC. Para o
 688 rendimento de massa fresca das culturas secundárias apenas o sorgo e milho se diferenciaram
 689 entre o exclusivo e consorciado, onde, o monocultivo favoreceu os maiores incrementos (63,31
 690 e 15,47 Mg ha⁻¹, respectivamente), a exceção foi o feijão-guandu, que apresentou similaridade
 691 entre as duas condições. Já em termo de MS observou-se equivalência entre as condições
 692 avaliadas.

693
 694 *3.5 Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira.*
 695 *3.5.1 Primeiro ciclo da palma forrageira*

696 Os componentes precipitação (P), irrigação (I) durante o ciclo experimental foram de
 697 6582 e 6023 m³, enquanto a evapotranspiração real (ETr) variou de 8.812 a 8.955 m³ entre as
 698 condições de cultivo (Tabela 5). Em relação a receita (RE) observa-se similaridade entre os
 699 tratamentos, no entanto, o cultivo palma-sorgo (P-S) demonstrou a maior RE com 11550 (US\$),
 700 em seguida os demais sistemas como a palma exclusiva (PEXC) 11465 US\$, palma-milho
 701 11395 e palma-feijão-guandu (P-FG) 11337 US\$, quando destinou-se as raquetas para venda
 702 como fonte de forragem.

703
 704 Tabela 5. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
 705 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1° ciclo.

Tratamentos	P	I	ETr	RE	CV	CF	CO	MB	ML
PEXC	6582	6023	13297	11465	1285	844	23992	10181	9336,5
P+S	6582	6023	13297	11550	1285	844	41267	10265	9421,4
P+M	6582	6023	13297	11395	1285	844	30710	10111	9266,8
P+FG	6582	6023	13297	11337	1285	844	43186	10052	9208,1
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
PEXC	1,1	2,5	1,9	2,0	4,1	1,7	1,6	1,9	4,0
P+S	1,1	3,1	2,3	2,5	5,1	1,7	1,6	3,3	6,9
P+M	1,1	3,2	2,6	2,8	5,8	1,7	1,5	2,4	5,1
P+FG	1,1	2,8	2,2	2,3	4,8	1,7	1,5	3,4	7,2

P-precipitação (m³); I-irrigação (m³); ETr-evapotranspiração real (m³); RE-Receita (US\$); CV-Custos variáveis (US\$); CF-Custos fixos (US\$); CO-Custos de oportunidade (US\$); MB-Margem Bruta (US\$); ML-Margem líquida (US\$). Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva (PEXC); Palma-Sorgo (P-S), Palma-Milho (P-M) e Palma-Feijão-guandu (P-FG).

706 Para o custo variável (CV) (Tabela 5) (i.e., energia elétrica, mão de obra e manutenções
707 no sistema e depreciação dos componentes) e custo fixo (CF) (i.e., sucção, conjunto
708 motobomba, implantação da cultura e adubação) foram de 1285 e 844 US\$. Em referência ao
709 custo de oportunidade (CO), que concerne uma possível receita que o produtor poderia obter,
710 caso designasse o comércio dos cladódios para a implantação de novas áreas. Pôde-se observar
711 que os sistemas consorciados apresentaram os maiores CO, em que, destaca-se principalmente
712 os cultivos P-FG e P-S (43186 e 41267 US\$, respectivamente). O consórcio P-S externou a
713 maior margem bruta (10265 US\$), resultando-se do maior rendimento forrageiro e RE da palma
714 nesta condição. Acerca da margem líquida (ML), a consorciação P-S também se destacou
715 (9421,4 US\$), isto é advindo do rendimento da cultura e ausência de custo de plantio, tendo em
716 vista que a cultura já se encontra estabelecida em campo.

717 Para os índices hídricos avaliados, em especial o WUEc foi igualmente na eficiente no
718 aproveitamento da água em todos os tratamentos. Na generalidade os cultivos associados foram
719 os mais eficientes para os índices *WUEc, WPC, *WPC e WPI mesmo com similaridade entre
720 eles o consórcio P-M foi levemente superior com médias de 4,8; 3,9; 2,8 e 5,8 kg m³, já o
721 GEWPI foi igual em todos os cultivos com 1,7 US\$ m³. Para o índice NEWPI houve
722 proximidade entre os cultivos, no entanto a PEXC e P-S foram iguais e apresentaram a maior
723 eficiência (1,6 US\$ m³). A consorciação palma-feijão-guandu (P-FG) expressou maior
724 efetividade entre EWPC e EWPI, com 3,4 e 7,2 US\$ m³, respectivamente.

725

726 3.5.2 Segundo ciclo produtivo

727 A precipitação (P) e irrigação (I) foi de 8944 e 6227 m³, enquanto a evapotranspiração
728 real (ET_r) variou de 10.908 a 11.029 m³ sob os diferentes manejos. Sobre as maiores receitas,
729 observou-se entre os cultivos da PEXC e P-FG com 6842 e 6354 US\$, em sequência a P-S e
730 P-M (5285 e 4308 US\$), já para os CV e CF foram utilizados 1285 e 844 US\$ para todos os
731 sistemas avaliados.

732 Os sistemas consorciados obtiveram os maiores CO, isto é referente ao maior número
733 de raquetes dentro destas associações de culturas, com isso, possibilitando maior receita caso o
734 produto opte por vender suas raquetes para o plantio. Destaca-se a P-FG cujo CO foi de 24952
735 US\$, a seguir os sistemas P-M e P-S com 19194 e 17274 US\$. O cultivo da PEXC apresentou
736 MB superior (5514 US\$), advindo da maior incrementação forrageira e RE da cultura da palma
737 em monocultivo. Já em termo da ML a PEXC também se evidenciou com superioridade (4670
738 US\$), logo, evidencia-se o maior acúmulo forrageiro e a não necessidade de plantio, uma vez
739 que a cactácea já se encontra em campo.

740 Tabela 6. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
 741 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.

Tratamentos	P	I	ETr	RE	CV	CF	CO	MB	ML
PEXC	8944	6227	16327	6842	1328	844	15355	5514	4670
P+S	8944	6227	16327	5285	1328	844	17274	3958	3114
P+M	8944	6227	16327	4308	1328	844	19194	2980	2136
P+FG	8944	6227	16327	6354	1328	844	24952	5026	4182
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
PEXC	1,1	1,5	1,1	1,2	2,9	0,9	0,8	1,0	2,5
P+S	1,1	1,7	1,1	1,2	2,9	0,6	0,5	1,1	2,8
P+M	1,1	1,0	0,6	0,7	1,6	0,5	0,3	1,3	3,1
P+FG	1,1	1,2	0,8	0,9	2,2	0,8	0,7	1,6	4,0

P-precipitação (m³); I-irrigação (m³); ETr-*evapotranspiração real* (m³); RE-*Receita* (US\$); CV-*Custos variáveis* (US\$); CF-*Custos fixos* (US\$); CO-*Custos de oportunidade* (US\$); MB-*Margem Bruta* (US\$); ML-*Margem líquida* (US\$). Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva (PEXC); Palma-Sorgo (P-S), Palma-Milheto (P-M) e Palma-Feijão-guandu (P-FG).

742
 743 O WUEc foi idêntico em todos os tratamentos. Já para os índices *WUEc, WPc, *WPc
 744 e WPI, houve semelhança para o cultivo da PEXC e P-S cujas médias foram (2,35; 1,65; 1,20
 745 e 2,90 kg m³, respectivamente). Para o GEWPI as maiores eficiências foram para a PEXC e P-
 746 FG, com 0,9 e 0,8 \$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹, em seguida a P-S e P-M com 0,6 e 0,5 US\$ m³. O índice
 747 NEWPI foi mais próximo entre PEXC e P-FG com (0,8 e 0,7 US\$ m³, respectivamente). Os
 748 sistemas consorciados foram mais eficientes para EWPC e EWPI, porém destaca-se a associação
 749 P-FG com 1,6 e 4,0 US\$ m³, respectivamente.

750 751 3.6 Eficiência biológica

752 Na Tabela 5 são expostos os índices de eficiência biológica dos sistemas da palma-sorgo
 753 (P-S), palma-milheto (P-M) e palma-feijão-guandu (P-FG). Não foi constatada diferença
 754 significativa (p>0,05) para as variáveis: LER_a, LER_b, LER, RAET, CET e IPS durante o 1º
 755 ciclo. O uso eficiente da terra parcial da palma (LER_a) embora não se diferenciou, apresentou
 756 variação de 1,28 a 1,97, enquanto LER_b de 0,17 a 0,45. Com isso, observa-se que as
 757 configurações em consórcio demonstraram superioridade, em que, a LER foi > 1, RAET > 1 e
 758 CET acima 0,25 %, representando maior eficiência na consorciação das espécies em relação ao
 759 monocultivo em todas as configurações. Para o IPS, também foi observado vantagem em
 760 associar estas espécies, mas, o sistema P-FG teve um rendimento de 68,07 Mg MS ha⁻¹.

761 Tabela 7. Índices de eficiência biológica em diferentes cultivos da palma forrageira durante
762 dois ciclos produtivos.

Primeiro ciclo						
Tratamentos	LERa	LERb	LER	RAET	CET	IPS
P-S	1,31 a	0,30 a	1,61 a	1,83 a	0,37 a	31,63 a
P-M	1,97 a	0,17 a	2,14 a	3,02 a	0,32 a	41,39 a
P-FG	1,28 a	0,45 a	1,73 a	2,30 a	0,59 a	68,07 a
Segundo ciclo						
Tratamentos	LERa	LERb	LER	RAET	CET	IPS
P-S	0,73 a	0,70 a	1,43 a	1,54 a	0,51 a	26,47 b
P-M	0,57 a	0,79 a	1,36 a	4,03 a	0,44 a	67,26 ab
P-FG	0,97 a	0,69 a	1,66 a	1,97 a	0,64 a	124,79 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. LERa – Uso eficiente da terra parcial da palma forrageira; LERb – Uso eficiente da terra parcial do sorgo, milho e feijão-guandu; LER – Uso eficiente da terra total; RAET – Razão de área equivalente no tempo; CET – Coeficiente equivalente de terra; IPS – Índice de produtividade do sistema (Mg MS ha⁻¹).

763 Para o segundo ciclo, o consórcio também foi mais eficiente que o monocultivo em
764 todas as configurações, em que, a LER_a variou de 0,57 a 0,97 e LER_b de 0,69 a 0,79. A partir
765 disso, confirmando-se a superioridade em consorciar com a LER > 1, RAET > 1 e CET acima
766 0,25 % em todos os arranjos de cultivo. No entanto, houve diferença estatística (p<0,05) apenas
767 para o IPS entre a configuração P-FG em relação a P-S, com rendimento de 124,79 e 26,47 Mg
768 MS ha⁻¹, respectivamente.

769

770 3.7 Habilidade competitiva

771 Observa-se as médias dos índices de habilidade competitiva da palma em consórcio com
772 sorgo, milho e feijão-guandu (Tabela 8). Os coeficientes de adensamento da palma (CAR_{ab})
773 e culturas secundárias (CAR_{ba}) durante o primeiro ciclo, exibiram valores inferiores e
774 superiores a 1, respectivamente, mesmo não se diferenciando entre si (p>0,05). Todavia, foi
775 observado nesta pesquisa médias negativas para CAR_{ab}, indicando menor produtividade da
776 palma exclusiva em relação ao consorciado. Para o CAR, todos os valores ficaram abaixo de
777 uma unidade e não se diferiram entre os tratamentos. Para A_{ab} e A_{ba}, ressalta-se que a cultura
778 da palma foi dominante em todas as configurações sobre as culturas secundárias, confirmando-
779 se a partir da maior razão de competitividade da cactácea (RC_a>1). Analisando a PGAR_a, não
780 foi constatada diferença entre os cultivos, mas, pode-se afirmar que o desenvolvimento foi
781 satisfatório, resultando em valores superiores a 1,0 unidade e em média obteve-se 338,00. Já
782 para PGAR_b, houve diferença estatística entre P-FG em relação a P-M, todavia, todas as

783 condições foram vantajosas uma vez que os valores superaram 1. Em relação a PGAR, todas as
784 configurações apresentaram médias elevadas.

785

786 Tabela 8. Índices de habilidade competitiva da palma forrageira consorciada com uma
787 leguminosa e gramíneas, por dois ciclos produtivos.

Primeiro ciclo										
Tratamentos	CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
P-S	-0,85 a	0,31 a	-0,08 a	2,60 a	-2,60 a	6,35 a	0,19 b	310,05 a	50,24 ab	360,28 a
P-M	-35,51 a	0,11 a	-3,91 a	4,96 a	-4,96 a	20,27 a	0,10 b	521,62 a	25,35 b	546,97 a
P-FG	-0,49 a	2,51 a	-2,18 a	0,31 a	-0,31 a	1,37 a	0,94 a	181,28 a	150,70 a	331,99 a
Segundo ciclo										
Tratamentos	CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
P-S	4,88 a	1,87 a	9,60 a	0,53 a	-0,53 a	1,44 a	0,76 a	174,82 a	122,31 a	297,13 a
P-M	5,33 a	-0,11 a	-0,66 a	0,91 a	-0,91 a	2,73 a	0,60 a	198,00 a	107,03 a	305,03 a
P-FG	12,60 a	-22,93 a	55,54 a	-1,07 a	1,07 a	0,75 a	1,84 a	133,24 a	240,35 a	373,59 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CAR_{ab} – Coeficiente de adensamento relativo da palma sobre o sorgo, milheto e feijão-guandu; CAR_{ba} – Coeficiente de adensamento relativo do sorgo, milheto e feijão-guandu sobre a palma; CAR – Coeficiente de adensamento relativo; A_{ab} – Agressividade da palma sobre o sorgo, milheto e feijão-guandu; A_{ba} – Agressividade do sorgo, milheto e feijão-guandu sobre a palma; PGAR_a – Perda ou ganho atual de rendimento da palma; PGAR_b – Perda ou ganho atual de rendimento do sorgo, milheto e feijão-guandu; PGAR – Perda ou ganho atual de rendimento; RC_a – Razão de competitividade da palma; RC_b – Razão de competitividade do sorgo, milheto e feijão-guandu. P-S: palma-sorgo; P-M: palma-milheto e P-FG: palma-feijão-guandu.

788

789 Durante o segundo ciclo, CAR_{ab} e CAR_{ba} demonstraram resultados superiores e
790 inferiores (P-M e P-FG) a 1, respectivamente, mesmo não se diferenciando entre elas ($p > 0,05$).
791 Atribui-se que a palma CAR_{ab} conteve as maiores produtividade em condição exclusiva,
792 enquanto, que as culturas consortes como como milheto e feijão-guandu apresentaram na
793 condição consorciada, já o sorgo foi em monocultivo. O CAR só foi < 1 na configuração P-M,
794 para P-S e P-FG foram de 9,60 e 55,54. Para A_{ab}, a palma só foi inferior na condição P-FG,
795 enquanto, A_{ba} superior na mesma condição, demonstrando maior capacidade da leguminosa em
796 competir, confirmando-se com a RC_a < 1 e RC_b > 1 . Não foi constatada diferença ($p > 0,05$) entre
797 as variáveis PGAR_a, PGAR_a e PGAR, em que, todas as configurações foram superiores a um,
798 demonstrando complementariedade entre as espécies, mesmo afetando o rendimento individual
799 das culturas.

800

801 4. Discussão

802 4.1. Índices morfofisiológicos da palma forrageira

803 É possível observar que os sistemas da palma forrageira foram afetados em decorrência
804 do manejo adotado. Em que, a associação P-S durante o primeiro ciclo conteve a maior TCA,
805 enquanto no segundo foi a PEXC e P-FG. Já para a TCR durante a primeira época, constata-se

806 superioridade da P-FG e P-S, enquanto no segundo a PEXC foi melhor. Para a TAL e ACE, a
807 P-S e P-M apresentaram superioridade com mais frequência dentro dos ciclos avaliados.

808 Em relação a taxa de crescimento absoluto (TCA), a qual, indica intercorrência no
809 rendimento e crescimento de uma determinada espécie vegetal ao decorrer do seu ciclo
810 produtivo, e quanto ela pode armazenar em matéria seca por um determinado tempo (Nunes et
811 al., 2020). Diante dos destaques no desenvolvimento do cultivar Orelha de Elefante Mexicana
812 (OEM) em cultivos conjuntos, pode-se associar ao seu hábito de crescimento, tamanho e
813 disposição dos seus cladódios o que contribuem para a maior interceptação da radiação solar e
814 consequentemente maior aproveitamento do seu aparato fotossintético, devido ao menor auto
815 sombreamento, com isso, resultando em maior acúmulo de massa seca mesmo em consórcio,
816 uma vez que esta cactácea é extremamente competitiva e consegue contornar os efeitos das
817 culturas secundárias dentro do sistema (Araújo Júnior et al., 2021b).

818 A taxa de crescimento relativo (TCR), que representa o quanto de matéria seca (MS) é
819 produzido a partir da MS pré-existente em um determinado intervalo de tempo (Queiroz et al.,
820 2015). A TCR foi similar entre os ciclos, em que, os valores iniciais elevados atrelam-se a fase
821 de crescimento e desenvolvimento das estruturas celulares e expansão de novos tecidos e
822 promovendo ampliação da área foliar da cactácea (Jardim et al., 2021d). Em contrapartida, a
823 diminuição ao decorrer do ciclo pode estar associada a fatores como a maior demanda por
824 fotoassimilados para permanência das raquetes já estabelecidas, auto sombreamento dentro da
825 consorciação, diminuição na absorção de nutrientes e restabelecimento de novos tecidos
826 (Araújo Júnior et al., 2021b).

827 A taxa de assimilação líquida (TAL), a qual, representa a coexistência entre a área foliar
828 (área do cladódio-palma) e a produtividade de MS, indicando quão é eficiente os órgãos
829 fotossintetizantes desta cactácea (Nunes et al., 2020). Logo, valores elevados da TAL na fase
830 inicial dos ciclos experimentais correlacionam-se com a maior dedicação ao desenvolvimento
831 da área foliar e aumento de sua capacidade fotossintetizante (Queiroz et al., 2015). Ao passo
832 que, a diminuição na porção final dos ciclos, associa-se pelo surgimento de novas raquetes, que
833 por característica contém baixa capacidade em realizar fotossíntese em comparação aos mais
834 maduros (Jardim et al., 2021d).

835 O desenvolvimento da área do cladódio específico (ACE) é responsável por expressar a
836 conexão entre o rendimento de MS com o índice de área do cladódio, com isso, dimensionado
837 a disposição de MS em órgãos capazes de realizar fotossíntese (Queiroz et al., 2015). Espera-
838 se uma redução deste índice ao passar do ciclo da cultura, mesmo a OEM apresentando área do
839 cladódio elevado (Silva et al., 2015a), no entanto, a consorciação e configurações com

840 densidades de plantio alto podem ocasionar diminuição na emissão de novos cladódios, bem
841 como o desenvolvimento dos mesmos, por consequência do alto sombreamento.

842

843 *4.2 Fenofases e momento de corte*

844 Conhecer o comportamento das fases fenológicas da palma forrageira são de grande
845 importância para tomadas de decisão dentro da propriedade, com isso, observar a influências
846 das condições meteorológicas, cultivar e manejo de cultivos adotados (e.g. sequeiro, irrigação,
847 consorciação) sobre os padrões das fenofases e o reflexo sobre a capacidade da cultura em
848 fornecer alimento para os rebanhos (Amorim et al., 2017). Pôde-se observar que a quantidade
849 de fenofases da cactácea forrageira não foi afetada pela consorciação, apenas a emissividade e
850 momento de corte foram influenciados pela adoção dos diferentes sistemas, e de modo geral os
851 cultivos consorciados apresentaram as maiores emissões de cladódios nos dois ciclos avaliados.
852 Com isso, os efeitos dos consórcios sobre as variáveis analisadas já são esperados, tendo em
853 vista a interrelação e maior competitividade interespecífica entre as culturas por recursos
854 naturais, no entanto, a resiliência entre as espécies estudadas, promoveram maior
855 complementariedade e aproveitamento da área de cultivo, principalmente na configuração P-S
856 (Jardim et al., 2021d).

857 Devido a competição interespecífica entre as espécies nos consórcios, houve uma
858 antecipação do corte da palma na 1^o época, que em média foi aos 1227^o Cdia⁻¹, já na época dois
859 apenas o P-S aumentou o intervalo de corte (88^o C dia⁻¹), uma vez, que essa gramínea é mais
860 competitiva e capaz de provocar sombreamento na cactácea provocando um ambiente de cultivo
861 desfavorável e acorrentado em maior acumulo energético para alcançar o ponto de corte (Lima
862 et al., 2018). Além da competitividade, outro fator que pode ter contribuído para alongamento
863 do momento de corte da configuração P-S na 2^o época, foram as condições ambientais, onde a
864 evapotranspiração ao longo de todo experimento foi de 1632,72 mm (Fig. 2), com isso, acarreta
865 menor volume de água disponível no solo, o que potencializa ainda mais a competição entre as
866 culturas, necessitando que a cactácea tenha acesso a mais energia e demais recursos naturais
867 para atingir o momento do corte.

868

869 *4.3 Balanço de água no solo*

870 As variáveis DP e AC durante os dois ciclos em todas as condições de cultivo foram
871 baixas. O volume de água perdido foi mais expressivo a partir do escoamento superficial (~
872 32,4%), estas perdas ocorreram em totalidade quando foram evidenciadas precipitações com
873 alta expressividade, causando menor capacidade de infiltração e aumentando o escoamento.

874 Para o primeiro ciclo, observou-se que as condições exclusivas das gramíneas e leguminosa
875 apresentaram os maiores armazenamentos de água, e dentre os consórcios apenas o P-S e P-M.
876 A variável ETr, dentro dos consórcios conteve as maiores magnitudes, logo correlaciona-se
877 com o maior necessidade hídrica das espécies em associação (Alves et al., 2020). Onde, ao
878 longo dos quatro períodos avaliados, o solo apresentava água disponível (P e I), o que beneficia
879 a realização de fotossíntese e maiores perdas de água durante a transpiração, e diminuindo a
880 evaporação de água no solo devido o maior sombreamento das espécies (Machado et al., 2015).
881 Também, pode ter contribuído as diferenças nas exigências principalmente das culturas
882 secundárias (i.e., sorgo, milho e feijão-guandu), que de acordo com o desenvolvimento
883 fenológico das espécies, vai aumentando até a cultura atingir a sua maturidade e na porção final
884 do ciclo tende a reduzir (Carvalho et al., 2020).

885 Já no segundo ciclo experimental, apenas os sistemas com palma forrageira
886 apresentaram ΔA positivos, destacando-se a PEXC com 16,74 mm. Em relação a ETr, os
887 monocultivos das culturas secundárias (sorgo, milho e feijão-guandu), apresentaram as
888 maiores perdas de água, estes eventos podem estar correlacionados com o ciclo mais longo (308
889 dias), que durante esse tempo apresentou uma evapotranspiração de 1632,72 mm, ou seja,
890 devido as maiores temperaturas a menor capacidade do sombreamento do solo por parte dos
891 sistemas exclusivos das gramíneas e leguminosa, favoreceu o maior volume de água perdido
892 por evaporação ao invés de transpiração, quando comparado aos consórcios as ETr finais
893 representam sua maior porção pela transpiração.

894

895 *4.4 Rendimento forrageiro*

896 Durante o primeiro ciclo o cultivo P-S e no segundo ciclo PEXC e P-S, expressaram
897 tendências de aumento no aporte forrageiro para as variáveis MF e MS (Tabela 4). Dentre as
898 culturas secundárias, os rendimentos mais significativos foram os exclusivos, destacando-se em
899 ambos os ciclos o sorgo forrageiro. Embora o rendimento individual tenha diminuído, foi
900 possível principalmente observar na associação P-S as tendências positivas para o aumento de
901 MF e MS, isto está totalmente atrelado a complementaridade entre estas espécies, mesmo a
902 cactácea apresentando cerca de 10 % de matéria seca e 90% de H₂O em seus cladódios, quando
903 inserido a produtividade de MS do sorgo há aumento no rendimento devido a complementação entre
904 estas culturas. Isto ocorre a partir da habilidade biológica desta associação, e que são capazes de se
905 adequar a um novo ambiente de cultivo (Diniz et al., 2017).

906 Estudos como Diniz et al. (2017) relataram que a consorciação eleva a produção em
907 relação ao exclusivo, a partir da maior capacidade de utilizar a terra e dos recursos disponíveis,

908 em meio a complementação espaço-temporal. Assim como relatado por Jardim et al. (2021c),
909 Alves et al. (2022) avaliando a relação P-S, e observaram acréscimos na matéria seca quando
910 unida a produtividade das duas espécies, complementando a carência da palma forrageira, que
911 quando se pensa na nutrição de ruminantes obtém-se uma dieta mais equilibrada e com menor
912 necessidade de inclusão de concentrado e diminuição nas chances de ocorrer distúrbios
913 metabólicos nos rebanhos.

914 Além disso, destaca-se que a P-S apresentam metabolismos fotossintéticos distintos,
915 onde a cactácea contém o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) possibilitando-lhe alta
916 eficiência na utilização da água, uma vez que as trocas gasosas ocorrem durante a noite, com
917 temperaturas do ar mais amenas e reduzindo as perdas de água por transpiração, com isso,
918 armazenando volumes de água em suas raquetes e persistindo até mesmo por longos períodos
919 de estiagem (Scalisi et al., 2016). Já o sorgo com metabolismo C4, diferente da palma realiza
920 durante o dia, acarretando menor competitividade e por consequência ambos se beneficiam,
921 além da gramínea ser capaz de realizar modificações que possibilitar persistir em condições
922 com déficit hídrico (Lima et al., 2018; Santos et al., 2020).

923

924 *4.5 Índices hídricos e receita*

925 Durante o primeiro ciclo a receita (RE) foi de 11550 US\$ para o cultivo P-S, para o
926 segundo ciclo obteve-se 6842 e 6354 US\$ para os sistemas PEXC e P-FG, respectivamente. O
927 maior desenvolvimento da palma a partir do segundo ciclo é inerente a cultura, uma vez
928 estabelecida e armazenados os cladódios primários posteriormente a primeira colheita, há uma
929 maior superfície fotossintética e, também de reservas energéticas que auxiliam para o maior
930 números de cladódios emitidos e, por consequência, um maior acúmulo de forragem por área
931 (Araújo Júnior et al., 2021a). De modo geral, para todos os índices avaliados os sistemas
932 consorciados foram os mais eficientes na utilização dos recursos hídricos, além disso, uma
933 maior lucratividade que corrobora para os maiores índices nesses sistemas, para a venda em
934 forragem ou das raquetes como sementes para plantio de novas áreas.

935

936 *4.6 Eficiência biológica*

937 O LER é empregado para avaliar a utilização da terra nos sistemas exclusivos e
938 consorciados, com isso, determinar quanto a mais uma cultura em monocultivo necessita de
939 área para obter equivalência em produtividade de uma associação entre plantas (Amanullah et
940 al., 2020; LI et al., 2020). Pôde-se observar uma alternância entre os sistemas, no entanto, isso
941 se deve as características das espécies, como o número e durabilidade dos ciclos. Durante o

942 primeiro e segundo ciclo, os tratamentos apresentaram em média 1,83 e 1,48, indicando que os
943 sistemas exclusivos necessitariam de 83 e 48 % a mais de área (i.e., 0,83 e 0,48 ha⁻¹,
944 respectivamente) para atingir a mesma produtividade (Sadeghpour et al., 2013; Yilmaz et al.,
945 2014).

946 De modo geral, a RAET foi > 1 em todos os ciclos e sistemas (média = 2,38 e 2,51)
947 demonstrando maior eficiência biológica na utilização da área de cultivo e no tempo, assim
948 como a CET (média= 0,43 e 0,53 %) entre as épocas avaliadas, refletindo em superioridade da
949 consorciação em relação ao monocultivo (Diniz et al., 2017). O IPS expressa a compensação
950 entre a produtividade da espécie secundária (sorgo, milheto e feijão-guandu) em relação a palma
951 forrageira (principal) (Jardim et al., 2021b). Nesta pesquisa, todas as configurações em
952 consórcio foram positivas, todavia, ocorreu maior estabilidade no sistema P-FG.

953 *4.7 Habilidade competitiva*

954 Os resultados do CAR em negativo representam maior produtividade na consorciação
955 em relação ao cultivo exclusivo, indicando maior competitividade interespecífica do que a
956 intraespecífica. A palma forrageira foi mais agressiva na maioria dos casos, principalmente
957 sobre as gramíneas (sorgo e milheto), onde, em um estudo semelhante realizado por Diniz et al.
958 (2017), retrataram a dominância da palma sobre o sorgo no semiárido brasileiro. No entanto,
959 no segundo ciclo o feijão-guandu conseguiu ser superior a cactácea, em termo de agressividade.
960 Logo, a dominância de uma determinada espécie associa-se em sua maior capacidade de
961 competir pelos recursos naturais, e a inter-relação reflete no desempenho e produtividade dos
962 sistemas (Morais et al., 2018). As consorciações retrataram as maiores PGAR (i.e., todos >1),
963 onde as culturas do milheto e sorgo foram os mais vulneráveis em relação a palma (PGAR_a >
964 PGAR_b), mas a configuração P-FG, apresentou uma resposta diferente no segundo ciclo, em
965 que, a leguminosa superou a cactácea (PGAR_a < PGAR_b), o que pode ter sido favorecido ao
966 sistema radicular profundo e bem desenvolvido do feijão-guandu, conseguindo obter maior
967 absorção de água e nutrientes em porções mais subsuperficiais do solo (Sewrsaran et al., 2019;
968 Yilmaz et al., 2014).

969

970 **5. Conclusões**

971 Os números de fenofases e taxas de crescimento da palma forrageira não foram
972 influenciados pela adoção de sistemas consorciados, apenas o momento de corte foi prolongado
973 ou antecipado em decorrência da maior competitividade.

974 Embora tenha ocorrido redução no rendimento das culturas em detrimento a maior
975 competição na associação das culturas, a complementação entre as espécies possibilitou maior

976 utilização da água, produtividade, eficiência biológica, habilidade competitiva e retorno
977 econômico, principalmente na configuração Palma-Feijão-guandu.

978 Todavia, ainda são necessários mais estudos com a inserção de outras espécies
979 potenciais, assim como, testar águas com maiores níveis salinos, tendo em vista, a grande
980 variabilidade dos teores de sais das fontes de água no semiárido, e quais as mudanças no
981 comportamento das culturas em outras configurações de cultivo e condições ambientais.

982

983 **6. Referências**

- 984 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for
985 computing crop requirements. FAO. Irrig. Drain. Pap. 56.
- 986 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G., 2013.
987 Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–728.
988 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- 989 Alves, C.P., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L.S.B., Araújo, G.G.L.,
990 Souza, C.A.A. de, Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F. da,
991 2022. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped
992 system: planting configurations, density and orientation. Ind. Crops Prod. 184, 1–13.
993 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- 994 Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Cruz
995 Neto, J.F. da, Santos, J.P.A. de S., 2020. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação:
996 balanço de água no solo e coeficientes da cultura. Agrometeoros 27, 347–356.
997 <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- 998 Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M.M. da R.F., Souza, L.S.B., Araujo Júnior, G. do N., Alves, C.P.,
999 Araújo, G.G.L., Neto, A.J.S., Salvador, K.R. da S., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F., 2022.
1000 Integrated management of agronomic practices in the forage cactus: maximizing
1001 productivity, biological efficiency and economic profitability. J. Prof. Assoc. Cactus Dev.
1002 24, 307–329. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.514>
- 1003 Amorim, D.M., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Souza, L.S.B. de, Minuzzi, R.B., 2017.
1004 Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems.
1005 Pesqui. Agropecuária Trop. 47, 62–71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- 1006 Araújo Júnior, G. do N., Queiroz, M.G. de, Jardim, A.M. da R.F., Araujo, J.F.N. de, Silva,
1007 T.G.F. da, 2017. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado
1008 com o sorgo. XX Congr. Bras. Agrometeorol. V Simpósio Mudanças Climáticas e
1009 Desertif. do Semiárido Bras. 2017, Anais... Juazeiro BA/Petrolina-PE SBAGRO 1–6.

- 1010 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Bastos, L.S., Souza, D., Souza, M. de S., Araújo,
1011 G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Santos, J.P.A. de S., Jardim, A.M. da R.F., Alves, C.P.,
1012 Alves, H.K.M.N., 2021a. Productivity, bromatological composition and economic benefits
1013 of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid
1014 environment. *Bragantia* 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- 1015 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B.
1016 de, Alves, C.P., Salvador, K.R. da S., Souza, C.A.A. de, Montenegro, A.A. de A., Silva,
1017 M.J. da, 2021b. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of
1018 the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *J. Arid Environ.*
1019 *jo* 190, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- 1020 Araújo Primo, J.T. de, Silva, T.G.F. da, Silva, S.M.S. e, Moura, M.S.B. de, Souza, L.S.B. de,
1021 2015. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação. *Rev. Ceres* 62,
1022 20–29. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>
- 1023 Carvalho, I.C.B. de, Brito, A. dos S., Nascimento, D. de A., Peixoto, L.S., Faria, H.H.N., 2020.
1024 Eficiência De Uso Da Água De Mamoneiras Nas Condições Agroecológicas Do
1025 Semiárido. *Brazilian J. Dev.* 6, 73354–73373. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-698>
- 1026 Diniz, W.J. da S., Silva, T.G.F. da, Ferreira, J.M. da S., Santos, D.C. dos, Moura, M.S.B. de,
1027 Araújo, G.G.L. de, Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different
1028 irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 52, 724–
1029 733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- 1030 Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M. V., 2020.
1031 Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study
1032 of a super high density olive tree orchard. *Agric. Water Manag.* 237, 1–13.
1033 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- 1034 Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism
1035 biology. *New Phytol.* 204, 738–740. <https://doi.org/10.1111/nph.13127>
- 1036 Jardim, A.M. da R.F., Santos, H.R.B., Alves, H.K.M.N., Ferreira-Silva, S.L., Souza, L.S.B. de,
1037 Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Souza, C.A.A. de, Silva,
1038 T.G.F. da, 2021a. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and
1039 organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid
1040 environment. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 421–430.
1041 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- 1042 Jardim, A.M. da R.F., Silva, Thieres George Freire da Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do
1043 N., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021b.

- 1044 Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological
1045 efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.*
1046 188, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 1047 Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves,
1048 H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021c. Intercropping
1049 forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and
1050 competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.* 188, 1–11.
1051 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 1052 Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B., Alves, C.P., Araújo, J.F.N., Souza, C.A.A., Pinheiro,
1053 A.G., Araújo, G.G.L., Campos, F.S., Tabosa, J.N., Silva, T.G.F., 2021d. Intercropping
1054 forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus.
1055 *African J. Range Forage Sci.* 12. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- 1056 Khoury, C.K., Castañeda-Alvarez, N.P., Achicanoy, H.A., Sosa, C.C., Bernau, V., Kassa, M.T.,
1057 Norton, S.L., van der Maesen, L.J.G., Upadhyaya, H.D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A.,
1058 Struik, P.C., 2015. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]:
1059 Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress
1060 tolerance. *Biol. Conserv.* 184, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.032>
- 1061 Li, Y., Hu, A., Wang, X., Zheng, J., 2019. Physicochemical and in vitro digestion of millet
1062 starch: Effect of moisture content in microwave. *Int. J. Biol. Macromol.* 134, 308–315.
1063 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>
- 1064 Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Morais, J.E.F. de, Assis, M.C. de Sá, 2018.
1065 Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated
1066 with saline water. *Rev. Caatinga* 31, 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- 1068 Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., SOUZA, E., Ribeiro, A., Firmino, F., 2015.
1069 Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú,
1070 Pernambuco. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 20, 731–740.
1071 <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- 1072 Nunes, J. da S.L., Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N.,
1073 Carvalho, A.A. de, Souza, L.S.B. de, Montenegro, A.A. de A., Silva, T.G.F. da, 2020.
1074 Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias
1075 hídricas na bacia do Rio Pajeú. *J. Environ. Anal. Prog.* 5, 128–139.
1076 <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>
- 1077 Pereira, P.C., Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Morais, J.E.F. de, Santos, D.C. dos, 2015.

- 1078 Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Rev. Caatinga* 28, 184–195.
1079 <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- 1080 Pessoa, D.V., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Teodoro, A.L., Santos, D.C. dos, Araújo,
1081 G.G.L., Medeiros, A.N., Nascimento, D.B., Valença, R. de L., Cardoso, D.B., 2020.
1082 Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional
1083 value. *J. Arid Environ.* 181, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>
- 1084 Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Sousa Carvalho, H.F., Santos, J.E.O., Morais, J.E.F., Zolnier, S.,
1085 Santos, D.C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características
1086 morfológicas e produtivas da palma forrageira. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 49, 939–947.
1087 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- 1088 Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Lima, L.R., Alves, J. de O.,
1089 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
1090 lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 931–938.
1091 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- 1092 Queiroz, M.G. DE, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Souza, C.A.A. de, Carvalho,
1093 H.F. de S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
1094 Ambiente Semiárido. *Irriga* 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- 1095 Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, *Soil Science*
1096 *Society of America Journal.* <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- 1097 Sabino, F. da C., Souza, L.S.B., Souza, M.A.G., Barros, J.P.A., Lucena, L.R.R., Jardim, A.M.
1098 da R.F., Rocha, A.K.P., Silva, T.G.F., 2021. Morphological characteristics, biomass
1099 accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid
1100 Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress* 2, 1–7.
1101 <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- 1102 Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M., 2013. Forage yield,
1103 quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid
1104 conditions: Additive series. *F. Crop. Res.* 148, 43–48.
1105 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- 1106 Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro,
1107 A.G., Pereira, R.C.G., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2021. Intensificação de sistemas
1108 de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas,
1109 leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2369–2390.
- 1110 Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.Á. de, Lumbrreras, J.F.,
1111 Coelho, M.R., Almeida, J.A. de, Filho, J.C. de A., Oliveira, J.B. de, Cunha, T.J.F., 2018.

- 1112 Sistema brasileiro de classificação de solos, 5th ed, Embrapa. Revista e ampliada, Brasília,
1113 DF.
- 1114 Santos, N.S., Pereira, W.S., Melo, R., Lima, K.V. De, Lima, D.O., Almeida, S. De, 2020.
1115 Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. Rev.
1116 Craibeiras Agroecol. 5, 1–8.
- 1117 Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia*
1118 *ficus-indica* under drought. *Environ. Exp. Bot.* 122, 158–167.
1119 <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- 1120 Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., John, K., 2019. Resistance screening of 14 *Cajanus cajan*
1121 (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *J. Stored*
1122 *Prod. Res.* 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- 1123 Silva, G.I.N. da, Jardim, A.M. da R.F., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Souza, C.A.A.,
1124 Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro, A.G., Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C.,
1125 Costa, S.A.T. da, Silva, M.J. da, Silva, T.G.F. da, 2020. Cultivo de plantas forrageiras de
1126 apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas
1127 agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Res. Soc. Dev.* 9, 1–39.
- 1128 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Morais, J.E.F. de, Diniz, W.J. da S., Souza, C.A.A. de, Silva,
1129 M. da C., 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido
1130 e relações com variáveis meteorológicas. *Rev. Caatinga* 28, 10–18.
- 1131 Silva, T.G.F., Miranda, K.R., Santos, D.C., Queiroz, M.G., Silva, M.C., Cruz Neto, J.F., Araújo,
1132 J.E.M., 2014. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E
1133 Aplicabilidade. *Rev. Bras. Ciencias Agrar.* 9, 633–641.
1134 <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- 1135 Silva, T.G.F., Primo, J.T.A., Moura, M.S.B., Silva, Sérvulo Mercier Siqueira Morais, J.E.F.,
1136 Caldas Pereira, P., Souza, C.A.A., 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of
1137 forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 515–525.
1138 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- 1139 Sousa, P.G.R., De Araújo Viana, T.V., De Carvalho, C.M., Campos, K.C., Da Silva, F.L., De
1140 Azevedo, B.M., 2019. Avaliação financeira do sorgo forrageiro no semiárido cearense.
1141 *Rev. em Agronegocio e Meio Ambient.* 12, 1465–1485. [https://doi.org/10.17765/2176-](https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485)
1142 [9168.2019v12n4p1465-1485](https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485)
- 1143 Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M., Erayman, M., 2014. Effects of seeding rates on competition
1144 indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. *Turkish J.*
1145 *Agric. For.* 39, 135–143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>

1146 Zhang, Y., Yin, J., Guo, Z., Li, J., Wang, R., 2022. Simulation of soil water balance and crop
1147 productivity of long-term continuous maize cropping under high planting density in
1148 rainfed agroecosystems. *Agric. For. Meteorol.* 312, 1–15.
1149 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108740>

1150

1151

1152

1153

1154

1 **CAPÍTULO 4 - CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE DE FORRAGEM,**
2 **COMPETIÇÃO E UTILIZAÇÃO DA ÁGUA NO CONSÓRCIO PALMA-MILHO COM**
3 **COBERTURA MORTA**
4

5 **RESUMO:** As condições edafoclimáticas das regiões semiáridas, dificultam o
6 desenvolvimento da agropecuária local, tornado necessário a inserção de culturas adaptadas a
7 estas limitações impontas, assim como manejos resilientes (consorciação, irrigação e cobertura
8 morta), que podem assegurar maior sustentabilidade produtiva para os rebanhos. Logo, foi
9 avaliado o crescimento, rendimento de forragem, balanço de água no solo, índices hídricos,
10 eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico do consórcio palma-milho
11 com e sem cobertura morta. O experimento foi conduzido em Serra Talhada - PE, Brasil,
12 durante os anos de 2020 a 2022. Os materiais vegetais utilizados foram o clone de palma Orelha
13 de Elefante Mexicana-OEM e milho (cv. FERROZ VIP). Adotou o delineamento em blocos
14 casualizados com quatro repetições, em que se consistiram em: palma forrageira e milho
15 exclusiva com e sem cobertura, assim como a associação das duas espécies com e sem cobertura
16 morta. O crescimento foi acompanhado por biometrias e produtividade por biomassas, esses
17 dados subsidiaram a determinação dos índices morfofisiológicos, fenologia, momento de corte,
18 eficiência biológica e habilidade competitiva. Foram monitoradas as umidades do solo e
19 quantificado o balanço de água no solo, assim como os índices hídricos e retorno econômico.
20 O consórcio e a cobertura influenciaram as taxas de crescimento, a produtividade dos sistemas,
21 mas não as fenofases da palma. A cobertura morta promoveu maior armazenamento de água no
22 solo. A ETr média variou de -1011,46 a -1021,93 mm (1° ciclo) e de -872,62 a -887,82 mm (2°
23 ciclo), sendo maiores nos sistemas sem cobertura. Os cultivos da palma: PECC, PESCC, PMCC
24 e PMSC, foram os mais produtivos em relação ao monocultivo do milho. A associação do
25 consórcio com o uso da cobertura morta, promove maior eficiência no uso dos recursos naturais
26 e aumentando a sustentabilidade dos sistemas, com maior quantidade de forragem e dieta mais
27 balanceadas para os animais.

28
29
30 **Palavras-Chave:** balanço hídrico, cobertura morta, eficiência na utilização da água
31
32
33
34

35 **ABSTRACT:** The edaphoclimatic conditions of the semi-arid regions hinder the development
36 of local agriculture and cattle-raising, making it necessary to introduce crops adapted to these
37 limitations imposed, as well as resilient managements (intercropping, irrigation and mulching),
38 which can ensure greater productive sustainability for livestock. Therefore, the growth, forage
39 yield, soil water balance, water indices, biological efficiency, competitive ability and economic
40 benefit of the forage cactus-maize intercropping with and without mulching were evaluated.
41 The experiment was conducted in Serra Talhada - PE, Brazil, during the years 2020 to 2022.
42 The plant materials used were the forage cactus clone Orelha de Elefante Mexica-OEM and
43 maize (cv. FERROZ VIP). Adopted the randomized block design with four repetitions, in which
44 consisted of: exclusive forage cactus and maize with and without mulch, as well as the
45 association of the two species with and without mulch. The growth was monitored by
46 biometrics and biomass productivity, these data subsidized the determination of
47 morphophysiological indices, phenology, cutting moment, biological efficiency and
48 competitive ability. Soil moisture was monitored and the water balance in the soil was
49 quantified, as well as water indices and economic return. Intercropping and mulching
50 influenced the growth rates, productivity of the systems, but not the palm phenophases.
51 Mulching promoted higher soil water storage. Mean ETr ranged from -1011.46 to -1021.93 mm
52 (1st cycle) and from -872.62 to -887.82 mm (2nd cycle), being higher in the systems without
53 mulch. The forage cactus crops: PECC, PESc, PMCC and PMSC, were the most productive in
54 relation to maize monoculture. The association of intercropping with the use of mulching
55 promotes greater efficiency in the use of natural resources and increases the sustainability of
56 the systems, with a greater quantity of forage and a more balanced diet for the animals.

57

58

59 **Keywords:** water balance, mulch, water use efficiency

60

61

62

63

64

65

66

67 1. Introdução

68 A limitação hídrica associada a altas temperaturas do ar em ambientes semiáridos
69 dificultam as cadeias produtivas, tornando-as mais susceptíveis e dificultando o atendimento
70 do aumento demanda global por alimentos, em que, os produtores familiares são os mais
71 vulneráveis as flutuações climáticas, afetando o seu rendimento e retorno econômico (Costa et
72 al., 2021; Moraes et al., 2019; Sabino et al., 2021).

73 Por estes motivos, deve-se utilizar culturas forrageiras adaptadas a estas limitações da
74 região, possibilitando maior aporte forrageiro para os rebanhos. Logo, a inserção da palma
75 forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é de suma importância, uma vez que a ingestão da cactácea
76 fornece grandes volumes de água (~90%), sendo importantíssima durante os períodos de
77 estiagem. Além disso, contém altos teores de carboidratos não fibrosos, vitaminas, minerais, no
78 entanto, baixo valor proteico e de fibras (Araújo Júnior et al., 2021a; Moraes et al., 2019; Scalisi
79 et al., 2016).

80 Buscando-se aumentar o aporte forrageiro e complementar a dieta animal, a inserção de
81 variedades de milho com maior plasticidade para as adversidades climáticas do semiárido,
82 podem possibilitar maiores produtividades e equilíbrio nutricional, a partir do fornecimento da
83 silagem do milho em conjunto com a palma, com isso, garantindo maior desempenho animal e
84 redução de custos com alimentos concentrados (Araújo Júnior et al., 2021b; Tiammee and
85 Likasiri, 2020).

86 Diante da importância da cactácea e gramínea para a pecuária no semiárido, a
87 consorciação entre elas podem promover uma maior resiliência no sistema, a partir da otimizar
88 dos recursos naturais e garantir maior produtividade, mesmo sabendo-se da maior
89 competitividade entre as espécies associadas, onde espera-se que uma cultura se sobressaia em
90 relação a outra, mas ao final o rendimento seja superior ao monocultivo (Raseduzzaman and
91 Jensen, 2017). Em estudos conduzidos por Jardim et al. (2021a), Lima et al. (2018) o consórcio
92 palma-sorgo e Alves et al. (2022) palma-milheto, foram constatados os benefícios citados
93 anteriormente, no entanto, embora muito empregada na agricultura familiar, a inter-relação
94 entre palma-milho é pouco difundida na literatura, bem como sob manejo de irrigação e
95 cobertura morta.

96 Outra ferramenta que pode ser utilizada para avaliar os consórcios, são os índices de
97 eficiência biológica e habilidade competitiva, eles conseguem detalhar as interações entre as
98 espécies, facilitando as tomadas de decisão e quais arranjos, densidades ou espécies são mais
99 indicadas para consorciação, além de denominar possíveis lucros para o produtor (Alves et al.,
100 2022; Diniz et al., 2017).

101 Embora a utilização de espécies adaptadas e sistemas consorciados sejam
102 importantíssimos para os produtores, a utilização de irrigação estratégica e cobertura morta são
103 imprescindíveis para a redução dos efeitos da sazonalidade no aporte de forragem, e garantir
104 maior eficiência na utilização da água pelas plantas e proporcionar maiores produtividade
105 mesmo em períodos de déficit hídrico (Nunes et al., 2020; Queiroz et al., 2016). Além disso, é
106 de grande necessidade a utilização de ferramentas para gerenciar os recursos hídricos nos
107 sistemas de cultivos, como, por exemplo, o balanço de água no solo (BAS) e índices hídricos,
108 auxiliam no entendimento da dinâmica do solo-planta-atmosfera e determinado os melhores
109 cultivos a partir da maior eficiência na utilização da água (Fernández et al., 2020; Zhang et al.,
110 2022).

111 Outra forma de avaliar as práticas adotadas sobre as culturas é os índices
112 morfofisiológicos, como a taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo
113 (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área do cladódio específico (ACE), onde são
114 correlacionados informações ao longo do crescimento da espécie e seu rendimento de matéria
115 seca, a partir disso projeta-se por meio de modelos qual o momento ideal para realizar o corte
116 da cultura e possíveis efeitos dos sistemas sobre o rendimento final (Araújo Júnior et al., 2021b;
117 Jardim et al., 2021b; Nunes et al., 2020).

118 Diante disto, a hipótese é que a utilização de cobertura morta proporciona maior
119 estabilidade produtiva nos sistemas, bem como maior eficiência na utilização da água e retorno
120 econômico. Com isso, foi avaliado o crescimento, rendimento de forragem, balanço de água no
121 solo, índices hídricos, eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico do
122 consórcio palma-milho com e sem cobertura morta.

123

124 **2. Material e métodos**

125 *2.1 Localização e especificação do experimento*

126 O experimento foi conduzido no “Centro de Referência Internacional de Estudos
127 Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras” (Fig. 1), localizado na
128 Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada
129 (UFRPE/UAST), no município de Serra Talhada, PE, Brasil (Latitude: 7°59’S, Longitude:
130 38°15’O e Altitude: 499 m).

131

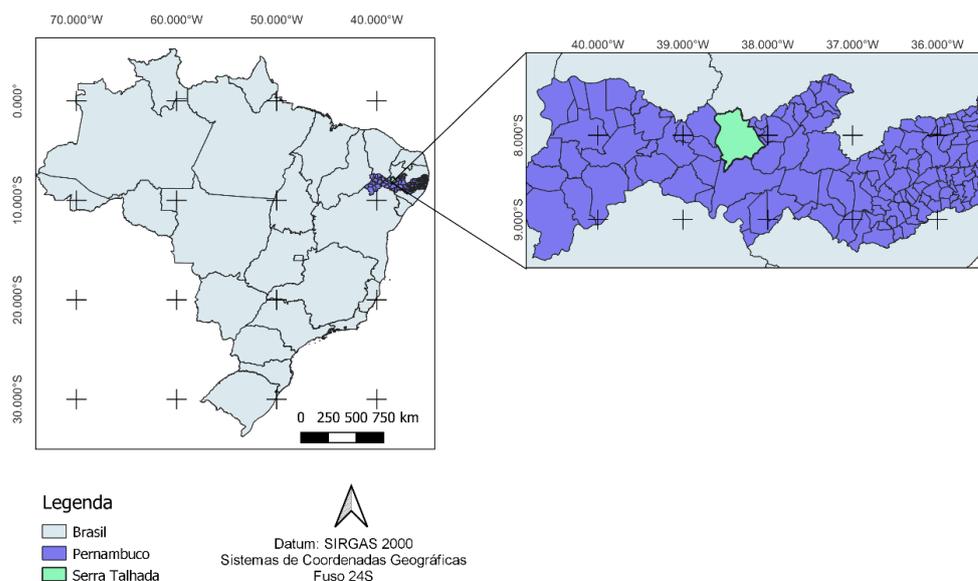


Fig. 1. Localização da área experimental, Serra Talhada-PE, Brasil.

132

133 Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo BSw^h, com estação seca
 134 prolongada durante maio a dezembro, com chuvas no verão (Alvares et al., 2013). A
 135 temperatura média do ar é de 26,5 °C, umidade relativa do ar de 62,7%, precipitação pluvial
 136 média de 642 mm ano⁻¹ e evapotranspiração potencial de 1.800 a 2.000 mm ano⁻¹, o que provoca
 137 balanço hídrico negativo em grande parte do ano (Pereira et al., 2015; Silva et al., 2015a). Após
 138 análise laboratorial na EMBRAPA Semiárido, o solo foi classificado como Cambissolo Háplico
 139 Ta Eutrófico típico, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al.,
 140 2018).

141 As características físico-químicos do solo em profundidade até 0,20 m, foram:
 142 densidade do solo = 1,45 g dm⁻³; porosidade total do solo = 42,27 %; Areia = 828,60 g kg⁻¹;
 143 Silte = 148,23 g kg⁻¹; Argila = 23,1 g kg⁻¹; pH(água) = 5,95; CEes = 0,32 dS m⁻¹; P = 168,96
 144 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 3,45 cmolc dm⁻³; K⁺ = 13,8 cmolc dm⁻³; Na⁺ = 1,09 cmolc dm⁻³ e Saturação
 145 por bases = 97,15%.

146 A primeira época de cultivo da palma forrageira conteve um somatório da precipitação
 147 pluviométrica (P) e irrigação (I) durante outubro de 2020 a agosto de 2021 de, 658,20 e 624,92
 148 mm (Fig. 2), enquanto a ET₀ ao final do ciclo foi em torno de 1532,04 mm, com média e
 149 máxima de 4,80 e 6,96 mm dia⁻¹. Durante o segundo ciclo (agosto de 2021 a junho de 2022), a
 150 P e I foram de 894,40 e 625,73 mm, já a ET₀ total foi igual a 1642,88 mm, enquanto a média e
 151 máxima foi de 5,17 e 7,27 mm dia⁻¹.

152

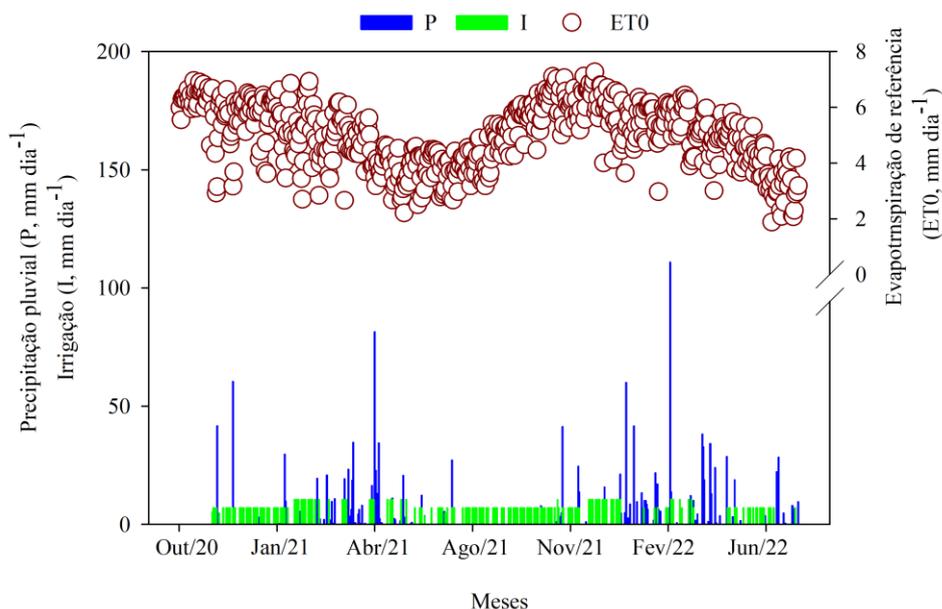


Fig. 2. Condições ambientais e disponibilidade hídrica via irrigação de outubro de 2020 a junho de 2022, no município de Serra Talhada - PE, Brasil.

153

154 2.2 Tratamentos e manejos adotados

155 O experimento foi composto pelo cultivo da palma forrageira cultivar Orelha de
 156 Elefante Mexicana, a qual foi plantada em julho de 2016, com um espaçamento de 1,6 x 0,2 m
 157 (31.250 plantas por hectare). O primeiro ciclo avaliado da palma corresponde ao corte de
 158 uniformização em setembro de 2020 a agosto de 2021, durante este período houve dois ciclos
 159 de milho (26/10/2020 a 18/01/2021; 08/02/2021 a 15/05/2021), e segundo ciclo da cactácea
 160 foi de agosto de 2021 a junho de 2022, onde também ocorreu a avaliação de dois ciclos de milho
 161 (28/09/2021 a 30/12/2021; 07/02/2022 a 12/05/2022). Utilizou-se o milho híbrido (*Zea mays*
 162 L.) (cultivar Feroz VIP), onde o desbaste ocorreu entre 15 e 20 dias após a semeadura (DAS),
 163 conservando-se cinco plantas por metro linear (31.250 plantas por hectare). Os tratamentos
 164 adotados foram: palma exclusiva com e sem cobertura (PECC e PESC, respectivamente), milho
 165 exclusivo com e sem cobertura (MECC e MESC, respectivamente), e o consórcio palma+milho
 166 com e sem cobertura morta (PMCC e PMSC), as parcelas contém 25,6 m² (Fig. 3). No
 167 consórcio, a cultura do milho foi semeada a 0,3 m das fileiras da palma. A cobertura morta
 168 utilizada (19,6 t ha⁻¹, em base seca), com predominância de capim-corrente (*Urochloa*
 169 *mosambicensis*).

170 No dia 01 de outubro de 2020 foi feita adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e
 171 potássio (K), considerando as características já existentes no solo experimental e exigência

172 nutricional da palma forrageira, baseando-se na recomendação do Instituto Agrônomo de
 173 Pernambuco (IPA).

174

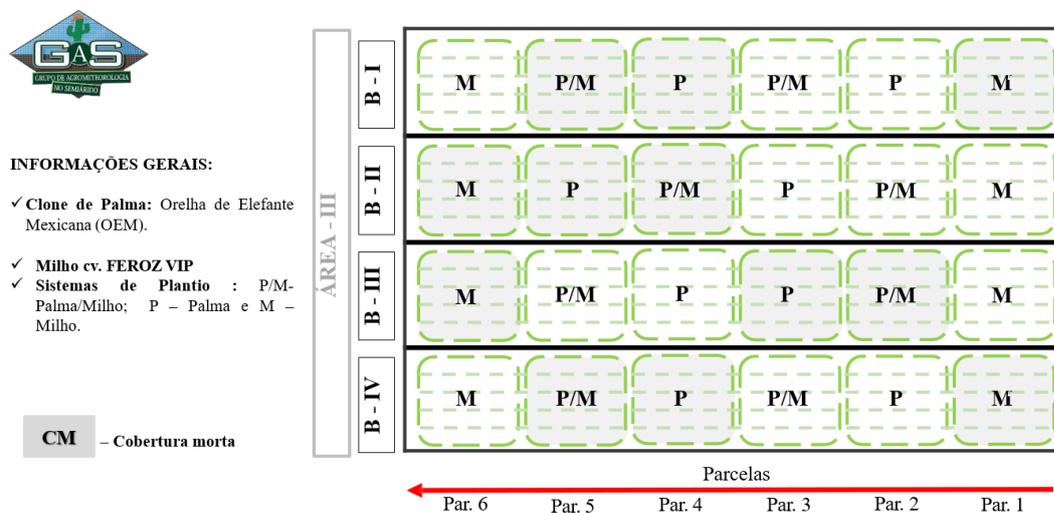


Fig. 3. Croqui da área experimental durante os dois ciclos da palma.

175

176 O manejo de irrigação foi realizado em três dias da semana, nas segundas, quartas e
 177 sextas-feiras no período da manhã, por um sistema de gotejamento com gotejadores espaçados
 178 a 0,2 m, vazão de 1,57 L h⁻¹, coeficiente de uniformização de aplicação de água de 92% e
 179 pressão de 1 atm. O total de água aplicada durante as duas épocas experimentais foram de
 180 624,91 mm e 625,73 mm. A água utilizada para a irrigação das culturas, é advinda de um poço
 181 artesiano, com condutividade elétrica de 1,62 dS m⁻¹ e pH de 6,84, classificada com C₃ (alta
 182 salinidade) segundo a classificação de Richards, (1954). Para a determinação da
 183 evapotranspiração de referência (ET₀), utilizou-se o método de Penman-Monteith,
 184 parametrizado no Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998). Os dados meteorológicos foram
 185 obtidos a partir de uma estação meteorológica automatizada, localizada a ~40 m da área
 186 experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

187

188 Antes da realização das irrigações, eram monitoradas a umidade do solo com auxílio de
 189 uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltd., Austrália). A mesma foi calibrada para
 190 as condições locais, conforme o fabricante e a metodologia proposta por Araújo Primo et al.
 191 (2015). Foi monitorado 18 tubos de acesso com 0,70 m de profundidade, sendo os mesmos
 192 espaçados a 0,10 m da fileira da palma e dos consórcios.

192

193 2.3 Crescimento e produtividade da palma forrageira e milho

194 2.3.1 Palma forrageira

195 As análises biométricas e de biomassa foram realizadas no momento da colheita final.
 196 Inicialmente selecionou-se uma planta representativa dentro da parcela útil de cada parcela
 197 experimental, com a obtenção destes dados pode-se quantificar os índices morfofisiológicos,
 198 fases fenológicas e momento de corte da palma. A partir do subsídio de uma fita métrica
 199 mensurou-se a altura da planta (AP - cm) e largura da planta (LP - cm), número total de
 200 cladódios (NTC - unidades), assim como o número de cladódios de ordens subsequentes (NC1,
 201 NC2, assim sucessivamente). Para cada réplica selecionada, designou-se uma ramificação e
 202 obtendo-se o comprimento (CC - cm), largura (LC - cm), perímetro (PC - cm) e espessura (EC
 203 - cm) dos cladódios. Com estas variáveis determinou-se a área do cladódio (AC, cm²), pela
 204 ordem de surgimento das raquetes conforme a equação 1 (Silva et al., 2014), em sequência
 205 realizou-se o cálculo do índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²), seguindo a equação 2
 206 (Pinheiro et al., 2014), levando em consideração a razão entre a área do cladódio e o
 207 espaçamento do cultivo.

208

$$209 \quad AC_{OEM} = 0,7086 * \frac{(1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC))}{0,000045765} \quad (1)$$

210

$$211 \quad IAC = \frac{(\sum_n^{i=1} AC)}{\frac{10000}{E1 * E2}} \quad (2)$$

212

213 Em que, área do cladódio (AC - cm²); perímetro do cladódio (PC - cm); comprimento do
 214 cladódio (CC - cm); largura do cladódio (LC - cm); índice de área do cladódio (IAC - m² m⁻²);
 215 fator de conversão de cm² para m² que é = 10000; espaçamento entre fileira (E1 - m);
 216 espaçamento entre plantas (E2 - m).

217 A determinação da produtividade da palma iniciou-se na corte final da cultura,
 218 conservando-se apenas os cladódios basais e de primeira ordem referentes as plantas da área
 219 útil, os demais seguiram para pesagem, com isso, obtendo-se o peso fresco total das plantas
 220 (kg). Posteriormente, foram escolhidos dois cladódios representativos de cada parcela, onde
 221 foram cortados, acondicionados em sacos de rafia, identificados e levados a estufa de circulação
 222 forçada de ar, com temperatura de 55 °C, até alcançar peso seco constante.

223 O rendimento de matéria fresca (MF) (Mg ha⁻¹) foi estimado a partir da consideração do
 224 peso fresco de cinco plantas da parcela, com a densidade final de plantas, contabilizada na área

225 útil da parcela. Para estimativa de matéria seca (Mg ha^{-1}), considerou-se a matéria fresca das
226 plantas e os teores de massa seca dos cladódios.

227

228 2.3.2 Milho

229 Os dados biométricos de duas plantas representativas foram coletados na ocasião da
230 colheita. A aquisição dos dados finais para obtenção da produtividade, inicia-se com a
231 contagem do número de plantas totais em 2 metros lineares, em duas fileiras da parcela útil,
232 com isso possibilita-se realizar a estimativa da densidade final de plantas por hectare.
233 Posteriormente, selecionamos 10 plantas representativas dentro da parcela útil, dessas,
234 escolheu-se duas plantas para obtenção dos dados biométricos, enquanto as demais
235 encaminharam-se para a determinação da matéria fresca da parcela e, posteriormente, a
236 estimativa da produtividade em matéria verde (MV) por hectare. Para a obtenção da
237 produtividade de matéria seca (MS) foi realizado o fracionamento das duas plantas da biometria
238 em folhas vivas e mortas, colmo e espiga. Logo em seguida as frações foram colocadas em uma
239 estufa de circulação forçada de ar, com temperatura constante de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, até as amostras
240 apresentarem peso constante.

241

242 2.4 Índices morfofisiológicos, fenofases e ponto ideal de corte da palma forrageira

243 A determinação dos índices morfofisiológicos inicia-se pelas análises de regressão entre
244 os valores de matéria seca e o índice de área do cladódio, os quais estão correlacionados com a
245 variável independente, graus dias acumulados (GDA). O GDA foi determinado pela soma da
246 diferença entre a temperatura média do dia, com a temperatura base da palma (22°C) (Araújo
247 Júnior et al., 2017). Posteriormente foram ajustados os modelos matemáticos sigmóides com
248 coeficientes de determinação superior a 0,85, onde foram derivados para os cálculos das taxas
249 diárias para o acúmulo de massa seca, que reflete na taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg
250 $\text{ha}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), além da TCA obteve-se as taxas de crescimento relativo (TCR, $\text{Mg Mg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$),
251 identificando o acúmulo de biomassa seca a contar de biomassa pré-existente; taxa de
252 assimilação líquida (TAL, $\text{Mg ha}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), mostrando a eficiência de assimilação de CO_2 e
253 conversão de matéria seca; área do cladódio específico (ACE, $\text{ha Mg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), refletindo a área
254 de cladódios da planta com base no peso seco e momento de corte (Jardim et al., 2021b; Nunes
255 et al., 2020; Queiroz et al., 2015).

256 Para as fases fenológicas, as delimitações foram determinadas por meio de regressões e
257 utilizando-se modelos sigmóides com três parâmetros, correlacionando-se com GDA, e
258 quantidade de cladódios por ordem de emissão. As equações que obtiveram R^2 acima de 0,90

259 e parâmetros significativos ($p < 0,05$), foram derivadas e determinados as taxas de emissão diária
 260 de raquetes. Considerou-se uma nova fase vegetativa quando a taxa de emissão de cladódio foi
 261 superada por uma nova taxa de emissão de cladódio da ordem subsequente. Já o momento de
 262 corte da palma forrageira foi determinado com base no rendimento de massa seca. Em que, o
 263 respectivo GDA que atingiu os 25% da taxa máxima do acúmulo de massa seca, configura-se
 264 no momento de corte ideal da palma (Amorim et al., 2017).

265

266 2.5 Balanço de água no solo

267 O balanço de água no solo foi mensurado a partir do método de Libardi (2005),
 268 baseando-se na conservação da massa da água em um volume de solo determinado, seguindo a
 269 Equação 3:

270

$$271 \pm \Delta h_L = P + I \pm R \pm Q - ET \quad (3)$$

272

273 No qual: Δh_L – variação do armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação (mm); I –
 274 irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo vertical de água no solo (mm),
 275 quando for negativo ocorre drenagem interna e positivo ascensão capilar; e ET –
 276 evapotranspiração real (mm).

277

278 A variação do armazenamento de água no solo (Δh_L) foi determinada pela diferença dos
 279 valores finais e iniciais do armazenamento de água no solo. Os valores obtidos por meio de
 280 leituras com a sonda capacitiva (Diviner 2000®), para camadas a cada 0,10 m, conforme
 281 Equação 4:

282

$$283 \Delta h_L = (\theta_f - \theta_i)L \quad (4)$$

284

285 No qual: θ_f e θ_i – refere-se ao conteúdo de água volumétrico final e inicial, respectivamente; L
 286 – profundidade de interesse, análise do sistema radicular (mm).

287

288 A precipitação pluviométrica (P) foi monitorada a partir de um pluviômetro situado em
 289 uma estação meteorológica automática que pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia –
 290 INMET, situada nas proximidades da área experimental. Após obtenção dos dados, os valores
 291 foram integrados para um determinado intervalo em dias, conforme Equação (5):

292

$$293 \int_{t_i}^{t_j} p dt = P \quad (5)$$

294

295 No qual: p – intensidade da precipitação (mm dia⁻¹); t – tempo.

296

297 O total da água de irrigação (I) desenvolveu-se a partir da integração de todos os valores
298 dos eventos de irrigação que ocorrerão durante a condução dos experimental Equação (6):

299

$$300 \int_{t_i}^{t_j} i dt = I \quad (6)$$

301

302 No qual: i – intensidade de irrigação (mm dia⁻¹).

303

304 O escoamento (R), foi determinado pela coleta de água escoada durante os eventos de chuva,
305 ajustou-se uma curva de segundo grau da água precipitada com a água escoada, estes dados foram
306 obtidos de uma calha cuja área equivalente a 1 m².

307

308 O fluxo vertical de água no solo (Q) foi obtido através da base limite inferior do perfil
309 do solo (0,60 m de profundidade) utilizando-se dados do potencial total de água da camada logo
310 acima (0,5 m) e abaixo (0,7 m), com a equação Buckingham-Darcy (Libardi, 2005), onde pôde-
311 se determinar ascensão capilar (AC) quando valores positivos e drenagem profunda (DP)
312 valores negativos. A densidade do fluxo (q) é advindo da quantificação por meio da equação
313 proposta por Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), Equação 7:

314

$$315 q = - K(\theta) \frac{\Delta \psi_t}{\Delta z} \quad (7)$$

316

317 No qual: q – densidade de fluxo de água no solo (mm dia⁻¹) na profundidade de controle; K(θ)
318 – condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia⁻¹); Δψ_t/Δz –
319 gradiente do potencial de água no solo, entre as camadas abaixo e acima da profundidade
320 estabelecida.

321

322 A condutividade hidráulica do solo foi determinada em função da umidade $K(\theta)$,
 323 utilizando-se o método do perfil instantâneo descritos por Libardi (2005), Equação 8:

324

$$325 \quad K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta-\theta_0)} \quad (8)$$

326

327 No qual: $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo (mm dia^{-1}); K_0 – condutividade hidráulica no
 328 solo saturado (mm dia^{-1}); γ – é o coeficiente angular da equação linear de $\ln(K)$ em função do
 329 conteúdo de água no solo (θ); θ_0 – conteúdo de água no solo no tempo zero de redistribuição,
 330 sendo assim, adotados os seguintes coeficientes, $\gamma = 67,8947$, $K_0 = 0,0001 \text{ m h}^{-1}$, e $\theta_0 = 0,3105$
 331 $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Silva et al., 2015b).

332

333 Segundo Araújo Primo et al. (2015) o gradiente do potencial total de água no solo
 334 ($\Delta\psi_t/\Delta z \text{ m m}^{-1}$), em camada de 0,50 e 0,70 m, pode-se ser estimado pela Equação 9:

335

$$336 \quad \psi_t = \alpha e^{-\beta\theta} \quad (9)$$

337

338 No qual: α e β são coeficientes adimensionais que serão ajustados, por meio do método do perfil
 339 instantâneo, para as camada de 0,50 m (249,9288 e -20,2236) e 0,70 m (789,0253 e -
 340 19,1510)(Silva et al., 2015a).

341 A quantificação da evapotranspiração (ET, mm), foi por meio do resíduo da equação do
 342 balanço de água no solo (Equação 3), para intervalos de 7 dias.

343

344 2.6 Índices hídricos

345 Os índices foram determinados por meio do incremento de matéria fresca e seca da
 346 cultura, relacionando-se com a água via precipitação (P) e irrigação (I), e evapotranspiração
 347 real (ETr). A eficiência do uso da água (WUE) é discernimento da água utilizada pela cultura
 348 sob uma quantidade de água aplicada no sistema de cultivo. Com isso, a eficiência do uso da
 349 água da cultura (WUEc) foi estabelecida pela ligação da evapotranspiração real (ETr) e a
 350 quantidade de água aplicada (P+I), seguindo a metodologia de Fernández et al. (2020) (Equação
 351 10):

352

$$353 \quad WUEc = \frac{\Sigma ETr}{\Sigma P+I} \quad (10)$$

354

355 Em que: WUEc – eficiência do uso da água da cultura (adimensional); ETr – evapotranspiração
 356 real (m³); P - precipitação (m³); I – irrigação (m³).

357

358 A eficiência do uso da água da cultura (*WUEc) é a relação entre a biomassa total de
 359 uma determinada cultura e a evapotranspiração real (ETr) (Fernández et al., 2020) (Equação
 360 11):

361

$$362 \quad *WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{\Sigma ETr} \quad (11)$$

363

364 Em que, *WUEc – eficiência do uso da água da cultura (kg m³); Biomassa – Biomassa seca
 365 total de uma cultura (kg ha⁻¹); ETr – evapotranspiração real da cultura (m³).

366

367 O cálculo para determinar a produtividade da água da cultura (WPC) (Equação 12) foi
 368 por meio da relação entre o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e a
 369 evapotranspiração real da cultura (ETr) (Fernández et al., 2020):

$$370 \quad WPC = \frac{Y}{\Sigma ETr} \quad (12)$$

371

372 Em que, WPC – produtividade da água da cultura (kg m³); Y – rendimento de matéria seca (kg
 373 ha⁻¹); ETr - evapotranspiração real (m³).

374

375 A produtividade da água da cultura (*WPC) também foi calculada sendo a relação entre
 376 o rendimento de matéria seca final da cultura (Y) e o total de água envolvida na produção
 377 durante todo o ciclo (P+I) (Fernández et al., 2020) (Equação 13):

$$378 \quad *WPC = \frac{Y}{P+I} \quad (13)$$

379

380 Em que, *WPC – produtividade da água da cultura (kg m³); Y – rendimento de matéria seca (kg
 381 ha⁻¹); P – precipitação (m³); I – irrigação (m³).

382

383 A produtividade da água de irrigação (WPI) foi obtida pelo rendimento da cultura sobre
 384 a quantidade de água aplicada via irrigação (I) (Fernández et al., 2020) (Equação 14):

385

$$386 \quad WP_i = \frac{Y}{\Sigma I} \quad (14)$$

387

388 Em que, WP_i – produtividade da água irrigação (kg m^3); Y – rendimento de matéria fresca e
 389 seca (kg ha^{-1}); I – irrigação (m^3).

390

391 A produtividade econômica bruta da água via irrigação ($GEWP_i$) foi calculada a partir
 392 da associação da margem bruta (Margem bruta = Receitas - Custos variáveis), Receita =
 393 rendimento de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21 reais) e
 394 Custos variáveis = soma do custo com energia, mão-de-obra e depreciação dos componentes.
 395 Neste estudo, os cálculos foram fundamentados a parit do dólar americano, em razão da
 396 irrigação aplicada durante o ciclo experimental (Fernández et al., 2020) (Equação 15):

397

$$398 \quad GEWP_i = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad (15)$$

399

400 $GEWP_i$ – produtividade da água irrigação ($\text{US\$ m}^3$); Margem bruta ($\text{US\$}$); I – irrigação (m^3).

401

402 A produtividade econômica líquida da irrigação foi calculada sendo a relação entre a
 403 margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis), Receita = rendimento
 404 de massa fresca x 150 (preço da tonelada em R\$)/preço do dólar (5,21 reais), Custos fixos =
 405 conjunto moto bomba, recalque e implantação da cultura e Custos variáveis = soma do custo
 406 com energia, mão-de-obra e depreciação dos componentes. e a lâmina de irrigação acumulada
 407 de todo o período experimental (Fernández et al., 2020) (Equação 16):

408

$$409 \quad NEWP_i = \frac{\text{Margem Líquida}}{\Sigma I} \quad (16)$$

410

411 Em que, $NEWP_i$ - produtividade econômica líquida da irrigação ($\text{US\$ m}^3$); Margem líquida
 412 ($\text{US\$}$); I - irrigação (m^3).

413

414 Os cálculos para a produtividade econômica da água da cultura ($EWPC$) levou-se em
 415 consideração o lucro da cultura (receita variável, custos fixos e de oportunidade) pelo montante
 416 de água aplicada no experimento (Fernández et al., 2020) (Equação 17):

417

$$418 \quad \text{EWPc} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad (17)$$

419
 420 Em que, EWPc - produtividade econômica da água da cultura (US\$ m³); Profit – lucro (US\$);
 421 P – precipitação (m³); I - irrigação (m³).
 422

423 Calculou-se a produtividade econômica da água de irrigação (EWPI) por meio do valor
 424 da Profit e a lâmina de irrigação aplicada (Fernández et al., 2020) (Equação 18):
 425

$$426 \quad \text{EWPI} = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad (18)$$

427
 428 Em que, EWPI – produtividade econômica da água de irrigação (US\$ m³); Profit – lucro
 429 (US\$); I - irrigação (m³).
 430

431 2.7 Eficiência biológica

432 Foi determinado os seguintes índices de eficiência biológica do consórcio palma-milho:
 433 a taxa equivalente da terra (LER), razão de área equivalente no tempo (RAET), coeficiente
 434 equivalente de terra (CET) e índice de produtividade do sistema (IPS), conforme as equações
 435 19, 20, 21 e 22.
 436

$$437 \quad \text{LER} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad (19)$$

438
 439 Na qual, os parâmetros Y_{ab} e Y_{ba} = referem-se ao rendimento da palma e milho em sistema
 440 consorciado, enquanto Y_{aa} e Y_{bb} indica o cultivo exclusiva e ambas as culturas, na mesma
 441 sequência, respectivamente. Se $\text{LER} > 1$, há vantagem em consorciar, quando comparado ao
 442 exclusivo, porém, $\text{LER} = 1$, configura desvantagem produtiva, e se a $\text{LER} < 1$, não se recomenda
 443 a consorciação (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017; Yilmaz et al., 2014).
 444

$$445 \quad \text{RAET} = \frac{(\text{LER}_a \times t_a) + (\text{LER}_b \times t_b)}{T_{ab}} \quad (20)$$

446
 447 Na qual, LER_a e LER_b correspondem a utilização eficiente da terra parcial pela palma forrageira
 448 e milho. A t_a e t_b retratam a duração do ciclo da palma e gramínea, respectivamente. Para a T_{ab}

449 = duração total da consorciação em campo. Representa vantagem no consórcio, quando a RAET
 450 > 1, já quando a RAET = 1 ou RAET < 1, não há vantagem no rendimento e desvantagem
 451 produtiva, respectivamente.

452

$$453 \text{ CET} = \text{LER}_a \times \text{LER}_b \quad (21)$$

454

455 Na qual, CET > 0,25 ocorre vantagem produtiva em sistemas associados, em que, o mínimo
 456 aceitável é de 25% (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

457

$$458 \text{ IPS} = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} \right) Y_{ba} + Y_{ab} \quad (22)$$

459 No qual, o IPS é utilizado para padronizar a cultura secundária (milho), acerca da espécie
 460 principal (palma forrageira) (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

461

462 2.8 Habilidade competitiva

463 Os índices de habilidade competitiva quantificados na associação palma-milho foram:
 464 coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade (A), perda ou ganho atual de
 465 rendimento (PGAR) e razão de competitividade (RC), de acordo com as equações 23, 24, 25 e
 466 26 (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

467

$$468 \text{ CAR}_{ab} = \frac{Y_{ab} \times X_{ba}}{Y_{aa} - Y_{ab}} \times X_{ab} \quad (23)$$

469

470 No qual, X_{ab} = proporção do plantio da palma em consórcio com o milho e X_{ba} = indica a
 471 proporção do plantio do milho em consorciação com a palma. Quando o $\text{CAR} > 1$, há vantagem
 472 produtiva nos sistemas consorciados em relação ao exclusivo, já o $\text{CAR} = 1$, não há vantagem
 473 produtiva, e $\text{CAR} < 1$, desfavorável consorciar. Se o $\text{CAR}_{ab} > \text{CAR}_{ba}$, indica supremacia da
 474 palma em competitividade em relação ao milho (Alves et al., 2022; Diniz et al., 2017).

475

$$476 \text{ A}_{ab} = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa} \times X_{ab}} - \frac{Y_{ba}}{Y_{bb} \times X_{ba}} \quad (24)$$

477

478 No qual, $A_{ab} = 0$, a palma e milho tem a mesma capacidade de competir, no entanto, se $A_{ab} >$
 479 0 (valores positivos) a palma sobressai-se em relação ao milho, e $A_{ab} < 0$, o milho é mais
 480 competitivo (Alves et al., 2022; Sadeghpour et al., 2013). O entendimento é o mesmo para A_{ba} .
 481

$$482 \quad \text{PGAR} = \left(\text{LER}_a \times \left[\frac{100}{X_{ab}} \right] - 1 \right) + \left(\text{LER}_b \times \left[\frac{100}{X_{ba}} \right] - 1 \right) \quad (25)$$

483
 484 No qual, o $\text{PGAR} > 0$ (valores positivos) a consorciação é vantajosa em relação ao exclusivo,
 485 no entanto, se $\text{PGAR} < 0$ (valores negativos), há desvantagem em consorciar (Alves et al.,
 486 2022; Diniz et al., 2017).

$$487 \quad \text{RC}_a = \frac{\text{LER}_a}{\text{LER}_b} \times \frac{X_{ba}}{X_{ab}} \quad (26)$$

489
 490 No qual, $\text{RC}_a < 1$, há benefício em consorciar, permitindo a associação das espécies, todavia,
 491 quando a $\text{RC}_a > 1$, indica competitividade alta entre as espécies, indicando a não consorciação
 492 das culturas (Alves et al., 2022; Sadeghpour et al., 2013).

493

494 2.9 Análise estatística

495 Os dados de produtividade de massa fresca e seca foram submetidos a análise de
 496 variância ($p < 0,05$), teste de normalidade e homogeneidade. Quando as médias foram
 497 significativas utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para todas as análises, o
 498 programa estatístico utilizado foi o R (R Core Team, 2018). Para ajustar as curvas de regressão
 499 e confecção dos gráficos das fenofases, taxas de crescimento, acúmulo de massa seca e
 500 momento de corte foi utilizado o SigmaPlot (versão 14.0).

501

502 3. Resultados

503 3.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

504 3.1.1 Taxas do primeiro ciclo palma forrageira

505 O cultivo da palma exclusiva com cobertura morta (PECC) e consorciação palma-milho
 506 com cobertura morta (PMCC) obtiveram os maiores acúmulos na taxa de crescimento absoluto
 507 (TCA) (Fig. 4A), com 0,013 e 0,012 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$, para os sistemas palma-milho sem
 508 cobertura morta (PMSC) e palma exclusiva sem cobertura morta (PESC) as máximas foram
 509 0,011 e 0,009 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{Cdia}^{-1}$. O pico da TCA ocorreu ~ 250 a 500 $^\circ\text{Cdia}^{-1}$.

510

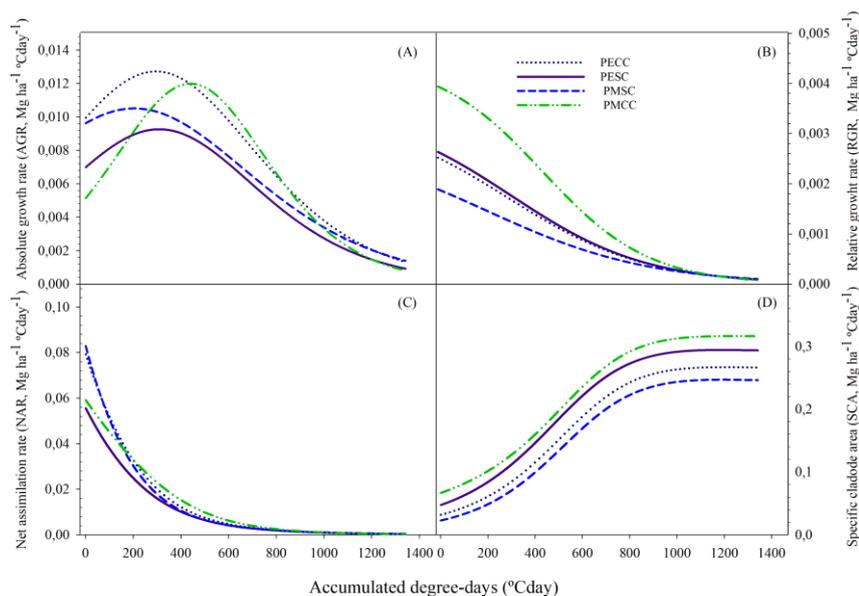


Fig. 4. Taxas de crescimento do primeiro ciclo produtivo da palma forrageira irrigada e com cobertura morta no semiárido. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha⁻¹ °Cdia).

511

512 A taxa de crescimento relativo (TCR) (Fig. 4B) demonstra uma tendencia similar entre
 513 os tratamentos, em que, verifica-se a TCR máxima no início do ciclo, em sequência uma queda
 514 acentuada entre 200 e 800 °Cdia, e por fim, uma estabilização até o final do ciclo experimental
 515 (1342°Cdia), demonstrando desprovimento de crescimento relativo. Porém, o cultivo da PMCC
 516 foi responsável pela maior TCR, resultando em de 0,0039 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, em seguida os
 517 sistemas PESC, PECC e PMSC com 0,0026; 0,0025 e 0,0019 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹.

518 A respeito da taxa de assimilação líquida (TAL) (Fig. 4C), o início do ciclo apresentou
 519 as maiores taxas, destacando-se os sistemas PMSC e PECC, com TAL de 0,082 e 0,079 Mg ha⁻¹
 520 °Cdia⁻¹. Preeminente, a TAL foi decrescendo após 300 graus dias acumulados (GDA) e
 521 normalizou-se entre ~600 a 1342 GDA. A área do cladódio específico (ACE) foi aumentando
 522 em decorrência ao desenvolvimento da palma forrageira (Fig. 5D), ou seja, seguindo o ritmo
 523 do surgimento de novas raquetes. Assim, a ACE máxima ocorreu nos sistemas PMCC e PESC
 524 (0,3164 e 0,2942 ha Mg⁻¹) ao redor dos ~800 a 1000 GDA, logo em seguida sucedeu-se a
 525 estabilização em todos os tratamentos.

526

527 3.1.2 Taxas de crescimento da palma forrageira segundo ciclo

528 O cultivo PECC apresentou a maior taxa de crescimento absoluto (TCA) (Fig. 5A), com
 529 0,014 °Cdia⁻¹, em sequência os tratamentos PESC, PMCC e PMSC obtiveram 0,008; 0,007 e
 530 0,005 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹, respectivamente. O intervalo do pico entre os sistemas avaliados foi entre
 531 200 e 500 °Cdia⁻¹.
 532

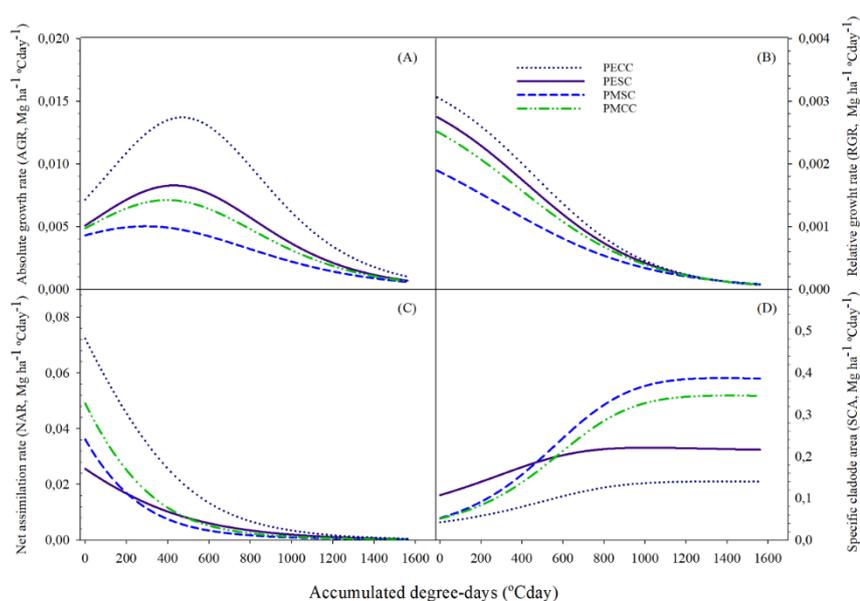


Fig. 5. Taxas de crescimento segundo ciclo produtivo da palma forrageira. (A) taxa de crescimento absoluto (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia); (B) taxa de crescimento relativo (TCR, Mg ha⁻¹ °Cdia), (C) taxa de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia) e (D) área do cladódio específico (ACE, Mg ha⁻¹ °Cdia).

533
 534 Na Fig. 5B observa-se o comportamento da TCR, em que, as maiores taxas são
 535 evidenciadas na fase inicial do ciclo em todas as condições experimentais. Após o pico ocorre
 536 uma redução significativa entre os 400 a 1000 °Cdia e estabilizando-se até a finalização do
 537 experimento (1562°Cdia), representando a inexistência de crescimento relativo. Os sistemas
 538 exclusivos se destacaram, onde o cultivo PECC e PESC obtiveram 0,0030 e 0,0027 Mg ha⁻¹
 539 °Cdia⁻¹, em seguida PMCC e PMSC com 0,0025 e 0,0019 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹.

540 A taxa de assimilação líquida (TAL) (Fig. 5C) foi expressa em maior magnitude no
 541 início do ciclo, em que, o monocultivo da palma forrageira com cobertura morta se sobressaiu
 542 exibindo uma TAL de 0,072 Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹. Também pôde-se observar a redução demasiada
 543 da TAL a partir dos 400 GDA e estabilizando-se dos ~600 a 1562 GDA. A ACE foi aumentando
 544 ao longo do ciclo da palma forrageira (Fig. 5D), no qual, os sistemas PMSC e PMCC se

545 destacaram com 0,3870 e 0,3451 ha Mg⁻¹. A máxima área foi ocupada em torno dos 800 a 1000
 546 GDA, posteriormente estabilização em todos os tratamentos.

547

548 *3.2 Fenofases, acúmulo de massa seca e momento de corte da palma*

549 *3.2.1 Crescimento primeiro ciclo da palma forrageira*

550 Foi constatado apenas a presença de uma fenofase em todas as condições de cultivos da
 551 palma forrageira (Fig. 6A, 6B, 6C e 6D). A fenofase 2 atingiu a máxima emissão nas condições
 552 PMSC e PECC, com 0,021 e 0,019 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 6C e B), em seguida, os sistemas PMCC
 553 e PESC com 0,018 e 0,14 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 6D e A).

554

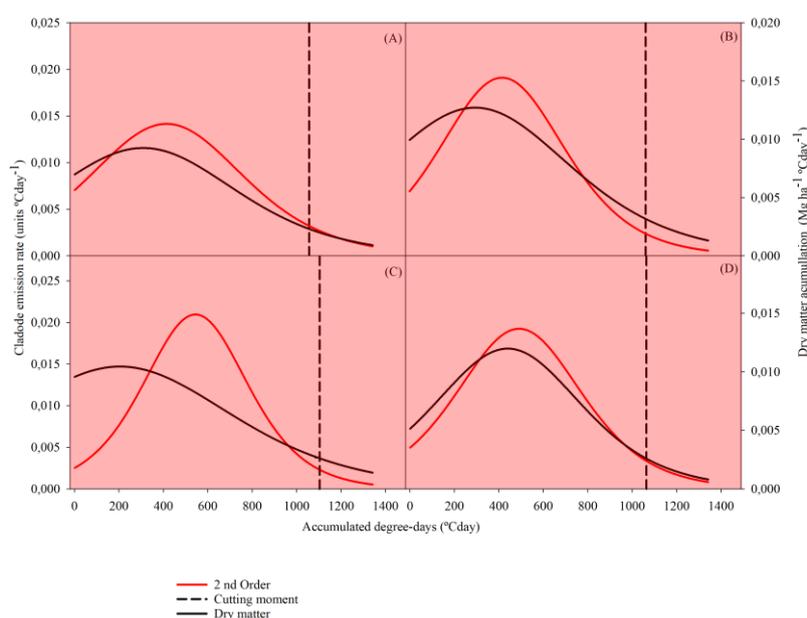


Fig. 6. Fases fenológicas e momento de corte do primeiro ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva sem cobertura (PESC); (B) palma exclusiva com cobertura (PECC), (C) Palma-Milho sem cobertura (PMSC) e (D) Palma-milho com cobertura (PMCC).

555

556 O pico da fenofase 2 ocorreu entre 400 °Cdia para PESC e PECC, enquanto os sistemas
 557 consorciados PMSC e PMCC obtiveram em ~550 °Cdia. Para o momento ideal de corte houve
 558 semelhança entre os sistemas PESC, PECC e PMCC, que em média alcançaram aos 1060 °Cdia.
 559 No entanto a PMSC necessitou de 1103 °Cdia para atingir o corte, isso representa um aumento
 560 de 43 °Cdia (~2 dias) de manutenção da cultura em campo.

561

562 3.2.2 Crescimento segundo ciclo da palma forrageira

563 Houve apenas uma fenofase em todas as condições de cultivos da palma forrageira (Fig.
 564 7A, 7B, 7C e 7D). O ponto máximo da emissividade da fenofase 2 foi PMCC e PMSC, com
 565 0,017 e 0,014 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 7C e B), em seguida, os sistemas PECC e PESC com 0,011 e
 566 0,009 unid. °Cdia⁻¹ (Fig. 7D e A). O pico da fenofase 2 ocorreu ~ 600 °Cdia em todas as
 567 condições de cultivo, para o momento de corte os consórcios (PMSC e PMCC, média = 1234)
 568 foram levemente mais longos quando comparado aos exclusivos (PECC e PESC, média =
 569 1203,5).
 570

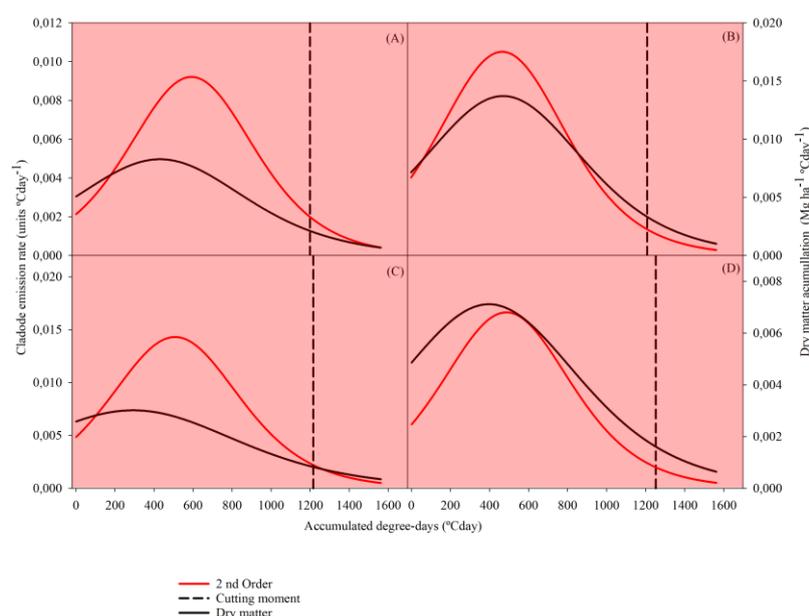


Fig. 7. Fases fenológicas e momento de corte do segundo ciclo da palma forrageira, em cultivo exclusivo e consorciado em ambiente semiárido. (A) Palma exclusiva sem cobertura (PESC); (B) palma exclusiva com cobertura (PECC), (C) Palma-Milho sem cobertura (PMSC) e (D) Palma-milho com cobertura (PMCC).

571

572 3.3 Balanço de água no solo 1º ciclo

573 3.3.1 Primeiro ciclo

574 Observa-se os elementos do balanço de água no solo em seis sistemas de cultivo: MESC,
 575 MECC, PESC, PECC, PMSC e PMCC, no decorrer de 2020 a 2021 (Tabela 1).

576

577

578

579 Tabela 1. Balaço de água no solo em cultivo exclusivo e consorciado da palma e milho, com
580 ou sem cobertura morta no semiárido brasileiro.

Milho exclusivo sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	-9,58	-199,10
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-8,93	-303,20
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	-6,34	-258,70
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-14,79	-260,92
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-39,64	-1021,93
Milho exclusivo com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	0,20	-189,32
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-10,79	-305,07
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	-12,04	-264,41
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-6,54	-252,67
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-29,18	-1011,46
Palma exclusiva sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	-1,45	-190,97
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-9,93	-304,20
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	3,11	-249,25
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-9,26	-255,38
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-17,53	-999,81
Palma exclusiva com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	-6,64	-196,16
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-4,46	-298,73
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	-0,73	-253,10
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-6,38	-252,51
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-18,21	-1000,50
Palma_Milho sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	1,44	-188,09
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-9,45	-303,73
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	-10,45	-262,81
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-1,86	-247,98
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-20,33	-1002,61
Palma_Milho com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
11/11/2020	13/01/2021	1	70	12,70	205,03	0,00	0,00	-28,20	-3,84	-193,36
20/01/2021	24/03/2021	2	70	208,50	201,55	0,00	0,00	-115,78	-7,89	-302,17
31/03/2021	02/06/2021	3	70	347,90	101,01	0,00	0,00	-196,54	-8,07	-260,44
09/06/2021	11/08/2021	4	70	239,20	90,35	0,00	0,00	-83,42	-5,70	-251,83
Soma			280	808,30	597,93	0,00	0,00	-423,94	-25,51	-1007,80

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

581
582 O período experimental foi de 280 dias, com entrada de água via P+I foi 1406,23 mm,
583 os maiores eventos com precipitação foram durante o 2º, 3º e 4º período (i.e., 20/01/2021 a
584 11/08/2021), em que, a média obtida foi de 265,2 mm (Tabela 1). A lâmina de irrigação
585 aplicada variou de 90,35 a 205,03 mm em períodos com 70 dias. Em relação as percas de água,
586 observa-se que a DP foram baixar, destacando-se as maiores perdas por meio do escoamento

587 superficial, alcançando-se no 3º período um acumulado de -196,54 mm nas diferentes
588 condições de cultivo. A respeito do armazenamento de água no solo, todos os cultivos
589 apresentaram valores acumulados negativos, no entanto, as condições com a presença de
590 cobertura morta no sistema foram levemente menores (média = -24,3 mm), enquanto, os
591 sistemas sem cobertura (média = -25,83 mm). Só houve ΔA positivos em três configurações
592 de cultivo, o MECC (1º período), PESC (3º período) e PMSC (1º período), com 0,20; 3,11 e
593 1,44 mm, respectivamente.

594 Foi verificado R em todos os períodos e condições de cultivo. Os maiores eventos
595 acompanharam as altas da precipitação pluviométrica, com isso, os maiores escoamentos foram
596 durante o 2º e 3º período com -115,78 e -196,54 mm, respectivamente. A ETr variou de -999,01
597 a -1021,23 mm durante todo o ciclo experimental (280 dias). Ressalta-se que os cultivos PMSC
598 e PMCC apresentaram as maiores ETr, com -1021,93 e -1011,46 mm, em sequência os cultivos
599 consorciados PMCC e PMSC com -1007,80 e 1002,61 mm. As menores evapotranspirações
600 foram nos cultivos da PECC e PESC (-1000,50 e 999,81 mm).

601

602 3.3.2 Segundo ciclo

603 Na Tabela 2 estão expostas as variáveis que compõem o balanço de água no solo nos
604 cultivos: MESC, MECC, PESC, PECC, PMSC e PMCC, ao longo de 2021 a 2022. A duração
605 do ciclo experimental foi 308 dias, com o somatório da precipitação pluviométrica e irrigação
606 alcançando 1314,68 mm, os volumes mais proeminentes de chuva ocorreram durante os
607 períodos 2º, 3º e 4º período (i.e., 03/11/2021 a 15/06/2022), cujo a média foi 271,5 mm. A
608 água adicionada ao sistema por meio da irrigação, variou entre 83,40 a 205,03 mm em períodos
609 com duração de 77 dias.

610 Em respeito da DP, foi observado que as perdas foram baixas e os maiores volumes
611 ocorreram por meio do escoamento superficial, atingindo um acúmulo de máximo de -221,02
612 mm no 3º período em todos os cultivos. Para o ΔA , todos os cultivos apresentaram valores
613 acumulados positivos, em que, os cultivos PMCC e PMSC obtiveram os maiores
614 armazenamentos (16,15 e 14,37 mm, respectivamente). Em sequência os sistemas PECC = 9,80
615 mm e PESC = 8,88 mm, os menores ΔA foram da PMSC e PMCC com 6,46 e 8,56 mm,
616 respectivamente. Houve escoamento superficial em todos os períodos e sistemas, em que, as
617 magnitudes mais elevadas acompanharam os eventos pluviométricos, e durante os períodos 2
618 e 3 foram superiores com -122,31 e -221,02 mm, respectivamente. Enquanto, a ETr apresentou
619 variabilidade -872,62 a -887,82 mm ao longo de 308 dias. As maiores ETr ocorreram nos
620 cultivos sem a presença da cobertura morta (média = -881,51 mm), já com cobertura, foi em

621 média -877,57 mm. Em respeito da DP, foi observado que as perdas foram baixas e os maiores
 622 volumes ocorreram por meio do escoamento superficial, atingindo um acúmulo de máximo de
 623 -221,02 mm no 3º período em todos os cultivos.

624

625 Tabela 2. Balaço de água no solo em cultivo exclusivo e consorciado da palma e milho, com
 626 ou sem cobertura morta no semiárido brasileiro.

Milho exclusivo sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	5,43	-204,70
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	13,76	-245,39
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-13,88	-318,96
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	9,06	-105,35
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	14,37	-874,40
Milho exclusivo com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	12,24	-197,89
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	8,05	-251,09
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-15,89	-320,97
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	11,75	-102,67
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	16,15	-872,62
Palma exclusiva sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	-0,40	-210,00
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	8,27	-257,99
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-10,88	-312,23
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	11,90	-107,61
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	8,88	-887,82
Palma exclusiva com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	-0,44	-210,53
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	6,10	-250,88
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-10,08	-315,96
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	14,22	-102,52
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	9,80	-879,89
Palma_Milho sem cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	2,70	-207,43
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	5,50	-253,65
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-10,42	-315,50
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	8,68	-105,73
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	6,46	-882,31
Palma_Milho com cobertura										
Início	Final	Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
18/08/2021	27/10/2021	1	77	62,20	205,03	0,00	0,00	-57,09	6,77	-203,37
03/11/2021	12/01/2022	2	77	231,80	149,66	0,00	0,00	-122,31	3,79	-255,36
19/01/2022	30/03/2022	3	77	442,70	83,40	0,00	0,00	-221,02	-10,20	-315,28
06/04/2022	15/06/2022	4	77	139,90	0,00	0,00	0,00	-25,49	8,20	-106,21
Soma			308	876,60	438,08	0,00	0,00	-425,91	8,56	-880,21

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

627

628 Para o ΔA , todos os cultivos apresentaram valores acumulados positivos, em que, os
629 cultivos PMCC e PMSC obtiveram os maiores armazenamentos (16,15 e 14,37 mm,
630 respectivamente). Em sequência os sistemas PECC = 9,80 mm e PESC = 8,88 mm, os menores
631 ΔA foram da PMSC e PMCC com 6,46 e 8,56 mm, respectivamente. Houve escoamento
632 superficial em todos os períodos e sistemas, em que, as magnitudes mais elevadas
633 acompanharam os eventos pluviométricos, e durante os períodos 2 e 3 foram superiores com -
634 122,31 e -221,02 mm, respectivamente. Enquanto, a ETr apresentou variabilidade -872,62 a -
635 887,82 mm ao longo de 308 dias. As maiores ETr ocorreram nos cultivos sem a presença da
636 cobertura morta (média = -881,51 mm), já com cobertura, foi em média -877,57 mm.

637

638 *3.4 Rendimento forrageiro da palma em diferentes condições de cultivo*

639 A produtividade individual da palma forrageira em massa fresca (MS-Mg ha⁻¹) e massa
640 seca (MS-Mg ha⁻¹) não se diferenciaram ($p > 0,05$) entre os monocultivos e associações das
641 espécies durante o primeiro ciclo (Tabela 3). Na mesma época, observou-se diferença
642 significativa ($p < 0,05$) no rendimento individual do milho, onde o milho exclusivo com
643 cobertura obteve maior produtividade em massa fresca e seca (32,57 e 9,18 Mg ha⁻¹,
644 respectivamente). Para o somatório do rendimento final dos cultivos, os sistemas da PECC,
645 PESC, PMCC e PMSC foram os mais produtivos em termo de MF e MS, com média 171,32 e
646 22,56 Mg ha⁻¹. Em seguida os cultivos do MECC e MESC com rendimento médio de 26,62 e
647 7,45 Mg ha⁻¹ de MF e MS.

648 No segundo ciclo, o rendimento individual da palma em MF e MS não se diferiram
649 ($p > 0,05$) entre os consórcios e cultivo exclusivo (Tabela 3). Para a cultura do milho, o cultivo
650 exclusivo foi mais produtivo e diferenciou-se ($p < 0,05$) do consórcio apenas em termo de MF
651 (média = 12,99 Mg ha⁻¹). Considerando-se a soma do rendimento das espécies, os cultivos da
652 PECC, PESC, PMCC e PMSC obtiveram os maiores retornos produtivos para MF e MS, que
653 em média foi de 124,52 e 11,38 Mg ha⁻¹. Em sequência fica os cultivos MECC e MESC com
654 rendimento médio de 12,99 e 3,63 Mg ha⁻¹ de MF e MS.

655

656

657

658

659

660

661

662 Tabela 3. Produtividade da palma forrageira exclusiva e consorciada com milho.

Primeiro ciclo				
Condição	Palma forrageira			
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
PECC	168,52 a		22,79 a	
PESC	167,45 a		16,66 a	
PMCC	152,99 a		16,62 a	
PMSC	167,48 a		20,92 a	
Cultura secundária				
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
	MCC	MSC	MCC	MSC
Exclusivo	32,57 a	20,66 a	9,18 a	5,72 a
Consoiciado	16,37 b	12,48 a	4,71 b	3,54 a
Somatório dos sistemas				
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
PECC	168,52 a		22,79 ab	
PESC	167,45 a		16,66 ab	
PMCC	169,36 a		21,33 ab	
PMSC	179,96 a		24,46 a	
MECC	32,57 b		9,18 bc	
MESC	20,66 b		5,72 c	
Segundo ciclo				
Condição	Palma forrageira			
	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
PECC	139,16 a		15,15 a	
PESC	129,63 a		9,77 a	
PMCC	113,80 a		8,85 a	
PMSC	101,83 a		7,33 a	
Cultura secundária				
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
	MCC	MSC	MCC	MSC
Exclusivo	14,61 a	11,37 a	4,10 a	3,16 a
Consoiciado	7,90 b	5,78 b	2,50 a	1,83 a
Somatório dos sistemas				
Condição	Produtividade de massa fresca (Mg ha ⁻¹)		Produtividade de massa seca (Mg ha ⁻¹)	
PECC	139,16 a		15,15 a	
PESC	129,63 a		9,77 ab	
PMCC	121,70 a		11,40 ab	
PMSC	107,60 a		9,20 ab	
MECC	14,61 b		4,10 b	
MESC	11,37 b		3,16 b	

As médias com mesma letra minúscula na coluna não se diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Y – Rendimento; Y_{SIS} – Rendimento final do sistema (cultura A+B) Y_{PEXC} – Palma exclusiva; Y_{P-S} – Palma-Sorgo; Y_{P-M} – Palma-Milheto; Y_{P-FG} – Palma-Feijão-guandu; Y_S – Sorgo exclusivo; Y_M – Milheto exclusivo; Y_{FG} – Feijão-Guandu exclusivo.

663

664

665

666 3.5 Margem de lucro e índices hídricos em diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira.

667 3.5.1 Primeiro ciclo da palma forrageira

668 O acumulado da precipitação (P), irrigação (I) foi 6.582 e 6.249 m³, já a
669 evapotranspiração real (ET_r) variou de 9.998 a 10.078 m³ (Tabela 4). A receita (RE) da venda
670 da palma para forragem, foi superior no cultivo PECC 5046 (US\$), em seguida PMSC, PESC
671 e PMCC com 4822, 4821 e 4405 US\$, respectivamente.

672

673 Tabela 4. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
674 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 1º ciclo.

Tratamentos	P	I	ETr	RE	CV	CF	CO	MB	ML
PECC	6582	6249	10005	5046	1.250,3	113,4	41746,64	3796	3682,7
PESC	6582	6249	9998	4821	1.250,3	113,4	38147,79	3571	3457,4
PMCC	6582	6249	10078	4405	1.250,3	113,4	40307,10	3155	3041,2
PMSC	6582	6249	10026	4822	1.250,3	113,4	41746,64	3571	3458,1
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
PECC	0,78	3,8	2,3	1,8	3,7	0,6	0,6	3,3	6,7
PESC	0,78	2,7	1,7	1,3	2,7	0,6	0,6	3,0	6,1
PMCC	0,79	2,8	1,6	1,3	2,7	0,5	0,5	3,1	6,4
PMSC	0,78	3,9	2,1	1,6	3,3	0,6	0,6	3,3	6,7

P-precipitação (m³); I-irrigação (m³); ETr- Evapotranspiração real (m³); RE-Receita (US\$); CV-Custos variáveis (US\$); CF-Custos fixos (US\$); CO-Custos de oportunidade (US\$); MB-Margem Bruta (US\$); ML-Margem líquida (US\$). Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva com e sem cobertura (PECC e PESC); Palma-milho com e sem cobertura (PMCC e PMSC).

675
676 Em relação ao custo variável (CV) (Tabela 5) (i.e., energia elétrica, mão de obra e
677 manutenções no sistema e depreciação dos componentes) e custo fixo (CF) (implantação da
678 cultura e adubação) foram de 1.250,3 e 113,4 US\$. A venda dos cladódios para plantio,
679 representando a receita que o produtor poderia obter, determinado como custo de oportunidade
680 (CO), foi maior nos cultivos da PECC e PMSC, representando 41.746,64 US\$, em seguida os
681 cultivos PMCC e PESC com 40.307,10 e 38.147,79, respectivamente. Para a margem bruta e
682 líquida, o cultivo PECC foi superior aos demais obtendo-se 3.796 e 3.682,7 US\$,
683 respectivamente. Para os índices hídricos, o WUEc foi semelhante entre os tratamentos. De
684 modo geral, os sistemas PECC e PMSC apresentaram maior eficiência entre os índices *WUEc
685 (3,8 e 3,9), WPc (2,3 e 2,1), *WPc (1,8 e 1,6) e WPI (3,7 e 3,3) kg m³. O GEWPI e NEWPI foi
686 semelhante entre os cultivos com variação de 0,5 a 0,6 US\$ m³. O EWPC e EWPI foi levemente
687 superior nos cultivos PECC e PMSC com 3,3 e 6,7 kg m³, respectivamente.

688

689 3.5.2 Segundo ciclo produtivo

690 O volume da P e I foram de 8.925 e 6257 m³, enquanto a ETr variou de 8.790 a 8853
691 m³ (Tabela 5). A RE mais significativa foi para a PECC, que apresentou 4006 US\$, os demais
692 cultivos obterem em média 3.313,7 US\$. Para os CV e CF utilizou-se 1251,9 e 113,4 US\$ para
693 os cultivos analisados.

694 Tabela 5. Lucratividade e eficiência na utilização da água por meio de índices hídricos em
695 cultivo exclusivo e consorciado da palma forrageira 2º ciclo.

Tratamentos	P	I	ETr	RE	CV	CF	CO	MB	ML
PECC	8925	6257	8790	4006	1.251,9	113,4	26631,5	2754,6	2641,2
PESC	8925	6257	8853	3732	1.251,9	113,4	23032,6	2480,0	2366,9
PMCC	8925	6257	8802	3277	1.251,9	113,4	42466,4	2025,0	1911,3
PMSC	8925	6257	8823	2932	1.251,9	113,4	36708,3	1680,0	1566,4
Tratamentos	WUEc	*WUEc	WPc	*WPc	WPI	GEWPI	NEWPI	EWPC	EWPI
PECC	0,6	3,2	1,7	1,0	2,4	0,4	0,4	1,8	4,3
PESC	0,6	2,2	1,1	0,6	1,6	0,4	0,4	1,5	3,7
PMCC	0,6	2,1	1,0	0,6	1,4	0,3	0,3	2,8	6,8
PMSC	0,6	1,9	0,8	0,5	1,2	0,3	0,3	2,4	5,9

P-precipitação (m³); I-Irrigação (m³); ETr- Evapotranspiração real (m³); RE-Receita (US\$); CV-Custos variáveis (US\$); CF-Custos fixos (US\$); CO-Custos de oportunidade (US\$); MB-Margem Bruta (US\$); ML-Margem líquida (US\$). Eficiência da utilização da água da cultura (WUEc, *WUEc), produtividade da água da cultura (WPc, *WPc), produtividade da água via irrigação (WPI), produtividade econômica bruta da água via irrigação (GEWPI), produtividade econômica líquida da água via irrigação (NEWPI), produtividade econômica da água da cultura (EWPC) e produtividade econômica da água via irrigação (EWPI). Palma exclusiva com e sem cobertura (PECC e PESC); Palma-milho com e sem cobertura (PMCC e PMSC).

696
697 Os consórcios da PMCC e PMSC obtiveram os maiores números de raquetes, refletindo
698 no maior CO, que foram de 42.466,4 e 36.708,3 US\$, respectivamente. A MB e ML foi maior
699 nos cultivos da PECC e PESC cujo valores são de 2.617,3 e 2.504,0 US\$. O WUEc foi igual
700 entre os tratamentos (0,6 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹). Os índices *WUEc, WPc, *WPc e WPI, foi melhor
701 no cultivo PECC (3,2; 1,7; 1,0 e 2,4 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹, respectivamente. Para o GEWPI e NEWPI
702 as eficiências foram bem semelhantes, com viabilidade de 0,3 a 0,4 \$ ha⁻¹ m³ ha⁻¹. O consorcio
703 PMCC foi melhor entre os índices EWPC e EWPI, com 2,8 e 6,8 kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹,
704 respectivamente.

705 706 3.6 Eficiência biológica

707 Na Tabela 6 estão demonstrados os índices de eficiência biologia entre o consórcio
708 palma-milho. Não houve diferença significativa (p>0,05) nas variáveis: LER_a, LER_b, LER,
709 RAET, CET e IPS durante as duas épocas de avaliação. A eficiência parcial da terra da palma
710 forrageira (LER_a) e do milho LER_b, durante o primeiro ciclo variou de 0,68 a 1,05 e 0,52 a 0,65,
711 para os cultivos PMCC e PMSC, respectivamente. Estes resultados retratam que as
712 configurações em consórcio são benéficas, uma vez que a LER foi > 1, RAET > 1 e CET acima
713 0,25 %, indicando maior eficiência da consorciação em relação ao cultivo exclusivo. Em relação
714 ao IPS todos foram vantajosos, no entanto, o sistema PMSC produziu 79,65 Mg MS ha⁻¹.

715 Tabela 6. Índices de eficiência biológica da palma forrageira consorciado com milho.

Primeiro ciclo						
Tratamentos	LERa	LERb	LER	RAET	CET	IPS
PMCC	0,68	0,52	1,20	1,73	0,37	59,28
PMSC	1,05	0,65	1,70	2,53	0,68	79,65
Segundo ciclo						
Tratamentos	LERa	LERb	LER	RAET	CET	IPS
PMCC	0,69	0,65	1,35	1,82	0,52	35,85
PMSC	0,83	0,61	1,43	2,00	0,47	25,34

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem-se entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. LERa – Uso eficiente da terra parcial da palma forrageira; LERb – Uso eficiente da terra parcial do milho; LER – Uso eficiente da terra total; RAET – Razão de área equivalente no tempo; CET – Coeficiente equivalente de terra; IPS – Índice de produtividade do sistema (Mg MS ha⁻¹). PMCC: palma-milho com cobertura morta e PMSC: palma-milho sem cobertura morta.

716

717 Durante o segundo ciclo o consórcio também foi melhor em relação ao monocultivo,
 718 onde, a LER_a variou de 0,69 a 0,83 e LER_b de 0,61 a 0,65. Com isso, também resultou em LER
 719 > 1, RAET > 1 e CET acima 0,25 %, demonstrando eficiência dos arranjos consorciados. O IPS
 720 foi maior na PECC, com incremento de 35,85 Mg MS ha⁻¹.

721

722 3.7 Habilidade competitiva

723 Os índices de habilidade competitiva: coeficientes de adensamento da palma (CAR_{ab}) e
 724 milho (CAR_{ba}), coeficiente de adensamento relativo (CAR), agressividade da palma sobre o
 725 milho (A_{ab}), agressividade do milho sobre a palma (A_{ba}), razão de competitividade da palma
 726 (RC_a) e milho (RC_b), perda ou ganho atual de rendimento da palma (PGAR_a) e milho (PGAR_b)
 727 e perda ou ganho atual de rendimento (PGAR), não se diferenciaram entre si (p>0,05), durante
 728 os dois períodos de cultivo. Foi constatado valores negativos para CAR_{ab} e CAR_{ba} na
 729 configuração PMCC, indicando menor produtividade da palma e milho exclusivos, quando
 730 comparado ao consórcio, no entanto para o sistema PMSC, os valores foram positivos
 731 representando maior produtividade da palma e gramínea em monocultivo. Em relação ao CAR,
 732 os dois sistemas foram superiores a um. Em relação A_{ab} e A_{ba}, observa-se que a cactácea se
 733 sobressai em relação ao milho, afirmando-se por meio da razão de competitividade da palma
 734 (RC_a>1). A PGAR_a, PGAR_b e PGAR foram satisfatórias nos dois sistemas, uma vez, que os
 735 valores obtidos foram elevados e superaram uma unidade.

736

737

738

739

740 Tabela 7. Índices de habilidade competitiva da palma forrageira consorciada com milho.

Primeiro ciclo										
Tratamentos	CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
PMCC	-1,75	-3,20	130,88	0,08	-0,08	1,04	1,00	137,71	129,94	267,65
PMSC	14,64	1,77	30,83	0,44	-0,44	1,51	0,91	164,05	120,31	284,36
Segundo ciclo										
Tratamentos	CAR _{ab}	CAR _{ba}	CAR	A _{ab}	A _{ba}	RC _a	RC _b	PGAR _a	PGAR _b	PGAR
PMCC	-0,71	1,13	-0,20	0,32	-0,32	1,27	0,94	134,61	102,63	237,24
PMSC	29,28	2,50	61,85	0,81	-0,81	1,72	0,62	209,93	128,44	338,38

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CAR_{ab} – Coeficiente de adensamento relativo da palma sobre o milho; CAR_{ba} – Coeficiente de adensamento relativo do milho sobre a palma; CAR – Coeficiente de adensamento relativo; A_{ab} – Agressividade da palma sobre o milho; A_{ba} – Agressividade do milho a palma; PGAR_a – Perda ou ganho atual de rendimento da palma; PGAR_b – Perda ou ganho atual de rendimento do milho; PGAR – Perda ou ganho atual de rendimento; RC_a – Razão de competitividade da palma; RC_b – Razão de competitividade do milho; PMCC: palma-milho com cobertura morta e PMSC: palma-milho sem cobertura morta.

741

742 A respeito do segundo ciclo, o CAR_{ab} no cultivo PMCC foi negativo, configurando
 743 menor produtividade da palma exclusiva em comparação ao consórcio, enquanto o milho foi
 744 positivo e mais produtivo na condição de monocultivo. O CAR_{ba} foi superior a 1, logo, as duas
 745 culturas obtiveram maior produtividade em condição exclusiva. O CAR foi <1 apenas na PMSC
 746 com 61,85. O A_{ab} foi positivo nas duas condições, retratando maior agressividade da cactácea
 747 sobre a gramínea, afirmando-se com a RC_a < 1 e RC_b > 1. A PGAR_a, PGAR_b e PGAR, foram
 748 vantajosas o que representa complementação entre as culturas.

749

750 4. Discussão

751 4.1 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

752 Na generalidade pôde-se observar que o sistema PECC apresentou os maiores índices
 753 morfofisiológicos. Este comportamento atrela-se a cobertura morta, que é capaz de manter a
 754 umidade no solo por mais tempo e em quantidade, tendo em vista as menores perdas por
 755 evaporação e menor flutuação da temperatura, além disso, a partir da mediante decomposição
 756 da cobertura orgânica, disponibiliza-se nutrientes para a cultura. Estes meios favorecem o
 757 crescimento da planta, bem como auxilia na maior concentração de clorofila nos cladódios o
 758 que aumenta sua capacidade de fotossintética (Akhtar et al., 2019). Vale ressaltar que as
 759 variáveis TCA e TCR obtiveram as menores magnitudes em cultivos consorciados, este
 760 comportamento associa-se a menor capacidade da palma em converter a radiação solar em
 761 massa seca, uma vez, que as culturas estão competindo diretamente pelos recursos (água, luz e
 762 nutrientes), o que resulta em menor taxa de assimilação líquida quando comparado aos
 763 monocultivos (Lal et al., 2019).

764 Para a ACE, onde é expresso a produtividade de MS em correlação com o índice de área
765 do cladódio, possibilitando dimensionar a MS a partir de órgãos fotossintetizantes (Queiroz et
766 al., 2015). Logo, foi observado que os cultivos consorciados (PMCC e PMSC) obtiverem os
767 maiores resultados, em decorrência da maior competição a palma aumenta a emissão de novas
768 raquetes para driblar o efeito do sombreamento e possibilitar o acesso a radiação solar.

769

770 4.2 Fenofases e momento de corte

771 O número de fenofases da palma não foi afetada pela consorciação ou cobertura morta,
772 apenas a quantidade de cladódios, e momento de corte foi levemente alterado. Os sistemas
773 associados durante os dois ciclos obtiveram as maiores emissões de cladódios. Isto ocorre
774 devido a maior complementação entre as espécies, aproveitando com maior eficiência os
775 recursos naturais (Jardim et al., 2021c). O momento de corte que foi levemente superior nos
776 consórcios, está atrelado a competição entre a gramínea e cactácea, o milho é apresenta alta
777 exigência em água e nutrientes, competindo mais vigorosamente com a palma, ocasionando um
778 maior acumulo energético para a mesma atingir o momento de corte (Lima et al., 2018).

779 Estas variações nas emissões da palma, também foi relatada por Amorim et al. (2017),
780 em que, a depender do sistema adotado pode ocorrer modificações nos estágios fenológicos da
781 palma assim como sua duração. Além disso, cactáceas do gênero *Opuntia*, podem mudar seus
782 comportamentos de acordo com modificações ambientais, além do teor de carboidratos nas
783 raquetes basais, influenciando diretamente no fluxo para os cladódios de ordens superiores
784 afetando o seu desenvolvimento (López-García et al., 2016).

785

786 4.3 Balanço de água no solo

787 A DP e AC foram baixas e o volume de água perdido foi mais expressivo a partir do
788 escoamento superficial (~30,80 e 32,40%, ciclo um e dois, respectivamente),
789 predominantemente os maiores eventos seguem as precipitações com alta expressividade, o que
790 ocasiona redução na capacidade de infiltração do solo, causando menor capacidade de
791 infiltração e aumentando o escoamento. A ETr foi mais evidente nos cultivos sem cobertura
792 morta, tanto em cultivos exclusivos e consórcios, sendo que o primeiro ocorre maior evaporação
793 da água do sistema devido o menor sombreamento do solo, enquanto o segundo atrela-se a
794 maior necessidade hídrica das culturas associadas (Alves et al., 2020). Além disso, outro
795 componente que pode ter influenciado é a diferença em exigência de água das espécie, em que,
796 o milho é mais existente, e ao decorrer do desenvolvimento fenológico de ambas as espécies,

797 ocorre um aumento até a maturidade e ao final do ciclo ocorre uma redução (Carvalho et al.,
798 2020).

799

800 *4.4 Rendimento forrageiro*

801 Durante as duas épocas de cultivo, observou-se que o consórcio afetou o rendimento
802 individual da cultura principal (palma), assim como o milho, o qual, obteve maiores
803 rendimentos de massa fresca (MF) e seca (MS) no monocultivo. Esses efeitos foram mais
804 evidenciados na produtividade de MF, no entanto, o somatório final dos consórcios agregaram
805 maiores rendimentos médios de MS (22,90 e 13,5 Mg ha⁻¹, primeiro e segundo ciclo,
806 respectivamente). Com isso, ressalta-se a complementariedade entre as culturas, uma vez que,
807 a cactácea possui baixo teor de fibra e alto volume de água nas raquetes e o milho contém maiores
808 percentuais de fibra na sua constituição o que melhora rendimento de MS do sistema, quando
809 compara-se ao monocultivo de ambas as espécies (Diniz et al., 2017). Estudos relatados por Jardim
810 et al. (2021c) e Alves et al. (2022), onde os mesmos avaliaram a relação palma-sorgo e
811 constataram incrementos no rendimento de MS, esta união pode melhorar o desempenho animal
812 tendo em vista a necessidade de fibra na dita de animais ruminantes, e reduzindo possíveis
813 perdas com distúrbios metabólicos nos rebanhos.

814 Outro fator que contribuiu para sucesso destes sistemas são os metabolismos
815 fotossintéticos das espécies, em que, a cactácea é o ácido das crassuláceas (MAC), permitindo
816 a realização das trocas gasosas durante a noite, cujas temperaturas são mais baixas e diminuindo
817 as perdas de água por transpiração e aumentando sua eficiência na utilização da água (Scalisi
818 et al., 2016). Já o milho apresenta metabolismo C4, com siso, realiza fotossíntese durante o dia,
819 o que reduz a competitividade e ambos podem se beneficiar (Lima et al., 2018; Santos et al.,
820 2020).

821

822 *4.5 Índices hídricos e receita*

823 As maiores receitas (RE) com a venda dos cladódios para forragem durante os dois
824 ciclos, foi no cultivo PECC (5.046 e 4.006 U\$\$, respectivamente). Logo, o cultivo exclusivo
825 apresenta menor competitividade pelos recursos naturais, bem como a cobertura morta que
826 possibilita um melhor microclima para o sistema, aumentando o tempo de acesso da planta a
827 água e fornecendo nutriente com sua decomposição, com isso favorecendo o maior incremento
828 na produção de forragem para alimentação animal. Outro componente é o palmal já ser bem
829 estabelecido, favorecendo um maior armazenados de carboidratos e água nas raquetes basais e
830 primárias, o que aumenta o poder de resposta da planta em reconstituir seu aparato

831 fotossintético e com isso aumentar o número de emissões de cladódios de ordens subsequentes
832 e garantir maior acúmulo de forragem. Na generalidade os cultivos com a presença de cobertura
833 morta foram o que apresentaram maior eficiência na utilização da água, o que corrobora para
834 a maior lucratividade com a venda dos cladódios para forragem ou como sementes para plantio
835 de novos palmais.

836

837 *4.6 Eficiência biológica*

838 O índice LER é responsável por avaliar a utilização da terra em cultivos associados ou
839 em monocultivos, indicando quanto um cultivo exclusivo necessita a mais de área para superar
840 a produtividade de uma consorciação (Amanullah et al., 2020; LI et al., 2020). Foi constatado
841 que os sistemas PMCC e PMSC foram eficientes e produziram mais forragem quando
842 comparado aos exclusivos. A LER foi em média de 1,45 e 1,39 para o primeiro e segundo
843 ciclo, o que representa 45 e 39 % a mais de área (i.e., 0,45 e 0,39 ha⁻¹, respectivamente) para o
844 monocultivo atingir a mesma produtividade do consórcio (Sadeghpour et al., 2013; Yilmaz et
845 al., 2014).

846 A RAET foi > 1 em todos os cultivos, em média os dois ciclos foram de 2,13 e 1,91,
847 configurando maior eficiência biológica na utilização da solo e tempo de cultivo, bem como a
848 CET que foi superior a 25% em todas configurações e ciclos, o que resulta na supremacia da
849 consorciação sobre o monocultivo (Diniz et al., 2017). O IPS foi de 69,47 1° ciclo e 30,60 2°
850 ciclo, esses valores expressam compensação produtiva entre cacto-gramínea, podendo-se
851 replicar estas configurações (Jardim et al., 2021a).

852

853 *4.7 Habilidade competitiva*

854 Quando ocorre valor de CAR negativo, indica maior competição interespecífica do que
855 a intraespecífica, logo a consorciação produz mais que o monocultivo. A palma foi mais
856 agressiva que o milho em todas as épocas avaliadas, segundo relatos do estudo de Diniz et al.
857 (2017), os mesmos observaram o domínio da cactácea sobre a gramínea (sorgo) também em
858 ambiente semiárido. Com isso, pode-se afirmar que a dominância da palma é proveniente das
859 suas características morfofisiológicas que permitem a maior capacidade de competir pelos
860 recursos naturais e flexibilidade para se adequar a novos manejos e interações com outras
861 espécies dentro do sistema (Morais et al., 2018). A PGAR foi >1 em todos os ciclos e sistemas,
862 em que o milho foi mais vulnerável do que a palma (PGAR_a > PGAR_b), tendo em vista que a
863 palma já estabelecida e com sistema radicular desenvolvido dificulta a propagação do milho e

864 conseqüentemente reduz a absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo
865 (Yilmaz et al., 2014).

866

867 **5. Conclusões**

868 O consórcio reduz o rendimento individual das espécies, mas, o somatório do
869 rendimento de massa seca palma-milho supera os cultivos exclusivos. A cobertura morta
870 influenciou positivamente o aumento de massa fresca e seca do milho em monocultivo, bem
871 como a maior eficiência na utilização da água.

872 Os índices de eficiência biológica e habilidade competitiva, evidenciaram que a
873 associação cacto-gramínea apresenta vantagem em produtividade e utilização dos recursos
874 biofísicos, independente da inclusão ou não da cobertura morta, proporcionam sistemas
875 sustentáveis para o semiárido.

876

877 **6. Referências**

878 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for
879 computing crop requirements. FAO. Irrig. Drain. Pap. 56.

880 Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L. de M., Sparovek, G., 2013.

881 Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol. Zeitschrift 22, 711–728.

882 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

883 Alves, C.P., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L.S.B., Araújo, G.G.L.,

884 Souza, C.A.A. de, Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F. da,

885 2022. How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped

886 system: planting configurations, density and orientation. Ind. Crops Prod. 184, 1–13.

887 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>

888 Alves, C.P., Silva, T.G.F., Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B. de, Cruz

889 Neto, J.F. da, Santos, J.P.A. de S., 2020. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação:

890 balanço de água no solo e coeficientes da cultura. Agrometeoros 27, 347–356.

891 <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>

892 Alves, H.K.M.N., Jardim, A.M.M. da R.F., Souza, L.S.B., Araujo Júnior, G. do N., Alves, C.P.,

893 Araújo, G.G.L., Neto, A.J.S., Salvador, K.R. da S., Pinheiro, A.G., Silva, T.G.F., 2022.

894 Integrated management of agronomic practices in the forage cactus: maximizing

895 productivity, biological efficiency and economic profitability. J. Prof. Assoc. Cactus Dev.

896 24, 307–329. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.514>

897 Amorim, D.M., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Souza, L.S.B. de, Minuzzi, R.B., 2017.

- 898 Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems.
899 *Pesqui. Agropecuária Trop.* 47, 62–71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- 900 Araújo Júnior, G. do N., Queiroz, M.G. de, Jardim, A.M. da R.F., Araujo, J.F.N. de, Silva,
901 T.G.F. da, 2017. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado
902 com o sorgo. XX Congr. Bras. Agrometeorol. V Simpósio Mudanças Climáticas e
903 Desertif. do Semiárido Bras. 2017, Anais... Juazeiro BA/Petrolina-PE SBAGRO 1–6.
- 904 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Bastos, L.S., Souza, D., Souza, M. de S., Araújo,
905 G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, Santos, J.P.A. de S., Jardim, A.M. da R.F., Alves, C.P.,
906 Alves, H.K.M.N., 2021a. Productivity, bromatological composition and economic benefits
907 of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid
908 environment. *Bragantia* 80, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- 909 Araújo Júnior, G. do N., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B.
910 de, Alves, C.P., Salvador, K.R. da S., Souza, C.A.A. de, Montenegro, A.A. de A., Silva,
911 M.J. da, 2021b. Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of
912 the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. *J. Arid Environ.*
913 *jo* 190, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104510>
- 914 Araújo Primo, J.T. de, Silva, T.G.F. da, Silva, S.M.S. e, Moura, M.S.B. de, Souza, L.S.B. de,
915 2015. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação. *Rev. Ceres* 62,
916 20–29. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>
- 917 Carvalho, I.C.B. de, Brito, A. dos S., Nascimento, D. de A., Peixoto, L.S., Faria, H.H.N., 2020.
918 Eficiência de uso da água de mamoneiras nas condições agroecológicas do semiárido.
919 *Brazilian J. Dev.* 6, 73354–73373. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-698>
- 920 Diniz, W.J. da S., Silva, T.G.F. da, Ferreira, J.M. da S., Santos, D.C. dos, Moura, M.S.B. de,
921 Araújo, G.G.L. de, Zolnier, S., 2017. Forage cactus-sorghum intercropping at different
922 irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 52, 724–
923 733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- 924 Fernández, J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M. V., 2020.
925 Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study
926 of a super high density olive tree orchard. *Agric. Water Manag.* 237, 1–13.
927 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- 928 Garcia, T.M., Heyduk, K., Kuzmick, E., Mayer, J.A., 2014. Crassulacean acid metabolism
929 biology. *New Phytol.* 204, 738–740. <https://doi.org/10.1111/nph.13127>
- 930 Jardim, A.M. da R.F., Santos, H.R.B., Alves, H.K.M.N., Ferreira-Silva, S.L., Souza, L.S.B. de,
931 Araújo Júnior, G. do N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Souza, C.A.A. de, Silva,

- 932 T.G.F. da, 2021a. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and
933 organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid
934 environment. *Plant Physiol. Biochem.* 162, 421–430.
935 <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>
- 936 Jardim, A.M. da R.F., Silva, Thieres George Freire da Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do
937 N., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021b.
938 Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological
939 efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.*
940 188, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 941 Jardim, A.M. da R.F., Silva, T.G.F. da, Souza, L.S.B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves,
942 H.K.M.N., Souza, M. de S., Araújo, G.G.L. de, Moura, M.S.B. de, 2021c. Intercropping
943 forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and
944 competitive ability through interspecific complementarity. *J. Arid Environ.* 188, 1–11.
945 <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- 946 Jardim, A.M. da R.F., Souza, L.S.B., Alves, C.P., Araújo, J.F.N., Souza, C.A.A., Pinheiro,
947 A.G., Araújo, G.G.L., Campos, F.S., Tabosa, J.N., Silva, T.G.F., 2021d. Intercropping
948 forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus.
949 *African J. Range Forage Sci.* 12. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- 950 Khoury, C.K., Castañeda-Alvarez, N.P., Achicanoy, H.A., Sosa, C.C., Bernau, V., Kassa, M.T.,
951 Norton, S.L., van der Maesen, L.J.G., Upadhyaya, H.D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A.,
952 Struik, P.C., 2015. Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]:
953 Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress
954 tolerance. *Biol. Conserv.* 184, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.01.032>
- 955 Li, Y., Hu, A., Wang, X., Zheng, J., 2019. Physicochemical and in vitro digestion of millet
956 starch: Effect of moisture content in microwave. *Int. J. Biol. Macromol.* 134, 308–315.
957 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>
- 958 Lima, L.R., Silva, T.G.F. da, Pereira, P. de C., Morais, J.E.F. de, Assis, M.C. de sá, 2018.
959 Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated
960 with saline water. *Rev. Caatinga* 31, 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- 962 Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., SOUZA, E., Ribeiro, A., Firmino, F., 2015.
963 Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú,
964 Pernambuco. *Rev. Bras. Recur. Hídricos* 20, 731–740.
965 <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>

- 966 Nunes, J. da S.L., Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N.,
967 Carvalho, A.A. de, Souza, L.S.B. de, Montenegro, A.A. de A., Silva, T.G.F. da, 2020.
968 Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias
969 hídricas na bacia do Rio Pajeú. *J. Environ. Anal. Prog.* 5, 128–139.
970 <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>
- 971 Pereira, P.C., Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Morais, J.E.F. de, Santos, D.C. dos, 2015.
972 Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Rev. Caatinga* 28, 184–195.
973 <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- 974 Pessoa, D.V., Andrade, A.P., Magalhães, A.L.R., Teodoro, A.L., Santos, D.C. dos, Araújo,
975 G.G.L., Medeiros, A.N., Nascimento, D.B., Valença, R. de L., Cardoso, D.B., 2020.
976 Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional
977 value. *J. Arid Environ.* 181, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>
- 978 Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Sousa Carvalho, H.F., Santos, J.E.O., Morais, J.E.F., Zolnier, S.,
979 Santos, D.C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características
980 morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 49, 939–947.
981 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- 982 Queiroz, M.G. de, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Lima, L.R., Alves, J. de O.,
983 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes
984 lâminas de irrigação. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 19, 931–938.
985 <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- 986 Queiroz, M.G. DE, Silva, T.G.F. da, Zolnier, S., Silva, S.M.S. e, Souza, C.A.A. de, Carvalho,
987 H.F. de S., 2016. Relações Hídrico-Econômicas Da Palma Forrageira Cultivada Em
988 Ambiente Semiárido. *Irriga* 141–154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- 989 Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, *Soil Science*
990 *Society of America Journal.* <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800030032x>
- 991 Sabino, F. da C., Souza, L.S.B., Souza, M.A.G., Barros, J.P.A., Lucena, L.R.R., Jardim, A.M.
992 da R.F., Rocha, A.K.P., Silva, T.G.F., 2021. Morphological characteristics, biomass
993 accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid
994 Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress* 2, 1–7.
995 <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- 996 Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M.B., Hashemi, M., 2013. Forage yield,
997 quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid
998 conditions: Additive series. *F. Crop. Res.* 148, 43–48.
999 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>

- 1000 Salvador, K.R. da S., Jardim, A.M. da R.F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro,
1001 A.G., Pereira, R.C.G., Souza, L.S.B. de, Silva, T.G.F. da, 2021. Intensificação de sistemas
1002 de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas,
1003 leguminosas e oleaginosas: uma revisão. *Rev. Bras. Geogr. Física* 14, 2369–2390.
- 1004 Santos, H.G. dos, Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C. dos, Oliveira, V.Á. de, Lumbreras, J.F.,
1005 Coelho, M.R., Almeida, J.A. de, Filho, J.C. de A., Oliveira, J.B. de, Cunha, T.J.F., 2018.
1006 Sistema brasileiro de classificação de solos, 5th ed, Embrapa. Revista e ampliada, Brasília,
1007 DF.
- 1008 Santos, N.S., Pereira, W.S., Melo, R., Lima, K.V. De, Lima, D.O., Almeida, S. De, 2020.
1009 Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. *Rev.*
1010 *Craibeiras Agroecol.* 5, 1–8.
- 1011 Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia*
1012 *ficus-indica* under drought. *Environ. Exp. Bot.* 122, 158–167.
1013 <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- 1014 Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., John, K., 2019. Resistance screening of 14 *Cajanus cajan*
1015 (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *J. Stored*
1016 *Prod. Res.* 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- 1017 Silva, G.I.N. da, Jardim, A.M. da R.F., Alves, H.K.M.N., Souza, M. de S., Souza, C.A.A.,
1018 Araújo Júnior, G. do N., Alves, C.P., Pinheiro, A.G., Salvador, K.R. da S., Leite, R.M.C.,
1019 Costa, S.A.T. da, Silva, M.J. da, Silva, T.G.F. da, 2020. Cultivo de plantas forrageiras de
1020 apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas
1021 agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Res. Soc. Dev.* 9, 1–39.
- 1022 Silva, T.G.F., Araújo Primo, J.T., Morais, J.E.F. de, Diniz, W.J. da S., Souza, C.A.A. de, Silva,
1023 M. da C., 2015a. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido
1024 e relações com variáveis meteorológicas. *Rev. Caatinga* 28, 10–18.
- 1025 Silva, T.G.F., Miranda, K.R., Santos, D.C., Queiroz, M.G., Silva, M.C., Cruz Neto, J.F., Araújo,
1026 J.E.M., 2014. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E
1027 Aplicabilidade. *Rev. Bras. Ciencias Agrar.* 9, 633–641.
1028 <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- 1029 Silva, T.G.F., Primo, J.T.A., Moura, M.S.B., Silva, Sérvulo Mercier Siqueira Morais, J.E.F.,
1030 Caldas Pereira, P., Souza, C.A.A., 2015b. Soil water dynamics and evapotranspiration of
1031 forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 50, 515–525.
1032 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- 1033 Sousa, P.G.R., De Araújo Viana, T.V., De Carvalho, C.M., Campos, K.C., Da Silva, F.L., De

- 1034 Azevedo, B.M., 2019. Avaliação financeira do sorgo forrageiro no semiárido cearense.
1035 Rev. em Agronegocio e Meio Ambient. 12, 1465–1485. [https://doi.org/10.17765/2176-](https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485)
1036 9168.2019v12n4p1465-1485
- 1037 Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M., Erayman, M., 2014. Effects of seeding rates on competition
1038 indices of barley and vetch intercropping systems in the eastern mediterranean. Turkish J.
1039 Agric. For. 39, 135–143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
- 1040 Zhang, Y., Yin, J., Guo, Z., Li, J., Wang, R., 2022. Simulation of soil water balance and crop
1041 productivity of long-term continuous maize cropping under high planting density in
1042 rainfed agroecosystems. Agric. For. Meteorol. 312, 1–15.
1043 <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108740>
- 1044
- 1045
- 1046
- 1047