

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

IMPACTO DA ROTAÇÃO LEGUMINOSA/GRAMÍNEA NAS TAXAS
MORFOLÓGICAS, DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA
DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

Serra Talhada-PE

2025

**S
O
U
Z
A

L
F

I
M
P
A
C
T
O

D
A

R
O
T
A
Ç
Ã
O

L
E
G
U
M
I
N
.
.
.
2
0
2
5**

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

IMPACTO DA ROTAÇÃO LEGUMINOSA/GRAMÍNEA NAS TAXAS
MORFOLÓGICAS, DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA
DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

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

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Serra Talhada-PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Auxiliadora Cunha – CRB-4 1134

S719i Souza, Leonardo Francelino de.

Impacto da rotação leguminosa/gramínea nas taxas morfológicas, desempenho agrônômico e eficiência do uso da água de clones de palma forrageira / Leonardo Francelino de Souza. – Serra Talhada, 2025.

66 f.; il.

Orientador(a): Thieres George Freire da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Serra Talhada - UAST, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal , Serra Talhada, BR-PE, 2025.

Inclui referências.

1. Plantas forrageiras - Regiões áridas. 2. Cultivos agrícolas - Regiões áridas. 3. Sorgo forrageiro - Irrigação. 4. Palma forrageira - Indicadores econômicos I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Título

CDD 581.15

LEONARDO FRANCELINO DE SOUZA

IMPACTO DA ROTAÇÃO LEGUMINOSA/GRAMÍNEA NAS TAXAS
MORFOLÓGICAS, DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA
DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

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 25/02/2025.

Banca Examinadora

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

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva – UFRPE
Examinador Interno

Prof. Dr. Alexsandro Oliveira da Silva – UFC
Examinador Externo

Aos meus pais, irmãos, esposa e filha, que estiveram sempre ao meu lado incondicionalmente em todas as minhas decisões e por serem minha base, com todo o amor.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela força diária para superar todos os obstáculos durante o curso e por colocar pessoas maravilhosas na minha vida ao longo desta jornada. Aos meus pais, Maria José e Severino do Ramo, pelo apoio incondicional, por todo o amor, por sempre acreditarem em mim e por serem meu porto seguro. Aos meus irmãos, Nívia Verônica e Leandro Ramos, que sempre torceram pelo meu sucesso e me deram todo o apoio. À minha esposa, Márcia Regina, e minha filha, Laura Pereira, pelo amor, paciência e compreensão. Vocês são verdadeiros presentes na minha vida e nada disso seria possível sem o amor de vocês. Agradeço também aos meus sogros, José Marcelino e Maria Madalena, à minha madrinha, Maria José, e ao meu cunhado, Marcelo José. Aos meus amigos George do Nascimento, Wagner Martins, Lady Daiane, Gustavo Laurindo, Marcondes de Sá, Natanael Lucena, Emmanuel Jean, Jasiel Lucas, Ericks Pires, Ivanice da Silva, Mayara Bernardo, Pedro Paulo, Lara Rosa e Vivian Soraia, em especial a José Edson, Cleber Pereira, João Pedro, Álefe Chagas e Jandis Ferreira, pelo exemplo, companheirismo, amizade, ensinamentos e por sempre estarem disponíveis para esclarecerem minhas dúvidas. Muito obrigado! Ao meu orientador, Prof. Thieres George Freire da Silva, pela orientação, oportunidades e ensinamentos na vida acadêmica. Foi ótimo participar novamente do grupo de pesquisa GAS e conhecer novas pessoas e experiências. A todos os meus amigos de turma, em especial Bianca Porfirio, David Gleidson, Jheiny Rafaele, Pedro Pereira, Nerissa Carolina e Rodrigo Hemerson, levarei todos vocês comigo. Obrigado pela ajuda, amizade, companheirismo e todos os momentos que compartilhamos. Ao coordenador do programa de pós-graduação em produção vegetal, Maurício Luiz de Mello Vieira Leite, pelo suporte, humanidade, conselhos e companheirismo. Aos integrantes do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), em especial Kaique Salvador, Alexandre Manicoba e Carlos André, agradeço por todo o aprendizado, companheirismo e momentos vividos em prol da ciência. À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), pela infraestrutura cedida durante as pesquisas, além do excelente ensino. E à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela bolsa concedida e financiamento do projeto de pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos a todos!

Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

(Ayrton Senna)

RESUMO

A produção de ruminantes em regiões áridas e semiáridas no mundo enfrenta escassez de água e alimentos. Como a pecuária no Brasil possui grande representatividade sobre o PIB da região semiárida, é necessário o uso de sistemas agrícolas sustentáveis e do cultivo de espécies adaptadas para aumentar a sustentabilidade de forragem na região. Hipotetizou-se que a rotação de leguminosas e gramíneas, quando consorciada com clones de palma forrageira, resulta em melhorias nas taxas morfológicas dos clones de palma forrageira, no desempenho agrônômico e na eficiência do uso da água dos sistemas, promovendo a sustentabilidade e a viabilidade econômica dos sistemas de cultivo no Semiárido. O objetivo desse estudo é avaliar o desenvolvimento, crescimento, produtividade, índices hídricos e econômicos, a partir da adoção da rotação de leguminosa/gramínea em cultivo consorciado com a palma forrageira. Visando a sustentabilidade e a potencialização do suporte forrageiro, bem como a viabilidade econômica destes sistemas de cultivo do Semiárido brasileiro. O experimento foi realizado no município de Serra Talhada, entre 2023 e 2024. O estudo foi conduzido em dois ciclos, envolvendo dois clones de palma forrageira (Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) e dois sistemas de cultivo: consorciado e sem consórcio com feijão-guandu no primeiro ciclo. No segundo ciclo, o feijão-guandu foi substituído pelo sorgo em consórcio com a palma, resultando em quatro tratamentos: MIU-S (palma miúda sem rotação feijão-guandu/sorgo), MIU-FG/Sorgo (palma miúda com rotação feijão-guandu/sorgo), OEM-S (orelha de elefante mexicana sem rotação feijão-guandu/sorgo) e OEM-FG/Sorgo (orelha de elefante mexicana com rotação feijão-guandu/sorgo). Analisado isoladamente, o clone OEM apresentou maior produtividade tanto de massa fresca quanto de massa seca, quando comparado aos tratamentos com o clone MIU. A massa fresca do sorgo no tratamento MIU-FG/S, na rebrota ($13,22 \text{ Mg ha}^{-1}$), foi impactada pela rotação do consórcio. O clone MIU apresentou melhor desenvolvimento nas taxas morfofisiológicas e fenofases. Os tratamentos com o clone OEM apresentaram melhor eficiência hídrica no geral e foram mais rentáveis. A rotação de cultura, apesar de não aumentar os parâmetros morfo-produtivos e a eficiência hídrica totais dos sistemas consorciados, sua influência na estabilidade das culturas e no rendimento na massa fresca do sorgo reforça seu potencial como estratégia de manejo em sistemas agrícolas do Semiárido.

Palavras-chave: semiárido, rotação de consórcios, índices hídricos, indicadores econômicos, taxas de crescimento, fenofases.

ABSTRACT

Ruminant production in arid and semiarid regions does not face global water and food shortages. Since livestock farming in Brazil has a large share of the GDP of the semiarid region, it is necessary to use agricultural systems and the cultivation of adapted species to increase the sustainability of forage in the region. It was hypothesized that the rotation of legumes and grasses, when intercropped with forage cactus clones, resulted in improvements in the morphological rates of forage cactus clones, in the agronomic performance and in the efficiency of water use of the systems, promoting the sustainability and economic prosperity of the cropping systems in the semiarid region. The objective of this study is to evaluate the development, growth, productivity, water and economic indices, from the adoption of legume/grass rotation in intercropped cultivation with forage cactus. Aiming at the sustainability and enhancement of forage support, as well as the economic forecast of these cropping systems in the Brazilian semiarid region. The experiment was carried out in the municipality of Serra Talhada, between 2023 and 2024. The study was conducted in two cycles, involving two clones of forage cactus (Miúda and Orelha de Elefante Mexicana) and two cropping systems: intercropped and without intercropping with pigeon pea in the first cycle. In the second cycle, pigeon pea was replaced by sorghum in intercropping with cactus, resulting in four treatments: MIU-S (miúda cactus without pigeon pea/sorghum succession), MIU-FG/Sorghum (miúda cactus with pigeon pea/sorghum succession), OEM-S (Mexican elephant ear without pigeon pea/sorghum succession) and OEM-FG/Sorghum (Mexican elephant ear with pigeon pea/sorghum succession). Analyzed in isolation, the OEM clone showed higher productivity of both fresh and dry mass, when compared to treatments with the MIU clone. The fresh mass of sorghum in the MIU-FG/S treatment, at regrowth (13.22 Mg ha^{-1}), was impacted by the intercropping rotation. The MIU clone showed better development in morphophysiological rates and phenophases. The treatments with the OEM clone had better water efficiency in general and were more profitable. Crop rotation, despite not increasing the morpho-productive parameters and water efficiency of all intercropping systems, its influence on crop stability and yield in sorghum fresh mass reinforces its potential as a management strategy in agricultural systems of the Semiarid region.

Keywords: semi-arid, intercropping rotation, water indices, economic indicators, growth rates, phenophases.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo, situada no município de Serra Talhada –PE, Brasil.	21
Figura 2. Precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ET0) durante o período de março de 2023 a dezembro de 2024, no município de Serra Talhada, PE.	23
Figura 3. Taxas morfofisiológicas da palma forrageira cultivada em consórcio com feijão-guandu no ciclo 1 (a, c, e, g) e com sorgo híbrido no ciclo 2 (b, d, f, h), após rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.....	40
Figura 4. Fenofase vegetativa da palma forrageira cultivada em consórcio com feijão-guandu no ciclo 1 (a, c, e, g), e com sorgo híbrido no ciclo 2 (b, d, f, h), após rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.	43
Figura 5. Relação benefício/custo dos dois ciclos de palma forrageira em sistema consorciado com leguminosas e gramíneas após a rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico da área experimental na camada de 0,00 – 0,20 m, situado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.	22
Tabela 2. Características morfológicas dos clones de palma forrageira consorciada com feijão-guandu durante o primeiro ciclo experimental em Serra Talhada, PE.	32
Tabela 3. Características morfológicas dos clones de palma forrageira consorciada com sorgo híbrido após rotação com leguminosas durante o segundo ciclo experimental em Serra Talhada, PE.	34
Tabela 4. Crescimento do feijão-guandu consorciado com palma forrageira, Serra Talhada, PE, Brasil.	35
Tabela 5. Características biométricas do sorgo híbrido consorciado com palma forrageira após a rotação de cultura com o feijão-guandu, Serra Talhada, PE, Brasil.	36
Tabela 6. Produtividade das culturas e sistemas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) ao longo de dois ciclos de produção, Serra Talhada, PE, Brasil.	37
Tabela 7. Rentabilidade e otimização do uso da água através de indicadores hídricos para os diferentes ciclos nos sistemas de cultivos, Serra Talhada, PE.	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	PECUÁRIA: ATIVIDADE DE IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICO PARA AMBIENTES SEMIÁRIDOS	16
2.2	SUPORTE FORRAGEIRO NO SEMIÁRIDO DO BRASIL	17
2.3	USO DE PLANTAS TOLERANTES A AMBIENTES QUENTES E SECOS.....	18
2.4	PRÁTICAS AGRÍCOLAS RESILIENTES.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	21
3.2	EXPERIMENTO, DELINEAMENTOS E TRATAMENTOS	23
3.3	MANEJO DE IRRIGAÇÃO E DE ADUBAÇÃO	25
3.4	VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E DE PRODUTIVIDADE	26
3.4.1	Variáveis de crescimento	26
3.4.2	Rendimento de Forragem.....	27
3.4.3	Índices morfofisiológicos da palma forrageira	28
3.4.4	Fenofases dos clones de palma forrageira.....	29
3.4.5	Índices hídricos e margem de lucro dos sistemas	29
3.4.6	Benefício econômico dos sistemas	31
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA	31
4	RESULTADOS	31
4.1	VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO	31
4.2	RENDIMENTO DE FORRAGEM	36
4.3	ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA	39
4.4	FENOFASES DOS CLONES DE PALMA FORRAGEIRA	41
4.5	ÍNDICES HÍDRICOS E MARGEM DE LUCRO DOS SISTEMAS	44
4.6	BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS SISTEMAS	47
5	DISCUSSÃO	48
5.1	VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO	48
5.2	RENDIMENTO DE FORRAGEM	50
5.3	ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA	51
5.4	FENOFASES DOS CLONES DE PALMA FORRAGEIRA	53

5.5 ÍNDICES HÍDRICOS E MARGEM DE LUCRO DOS SISTEMAS.....	53
5.6 BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS SISTEMAS.....	54
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A produção de ruminantes nas regiões áridas e semiáridas do mundo sofre com escassez de água e de alimentos para os rebanhos, situação essa que tem se intensificado em decorrência das mudanças climáticas (Cruz *et al.*, 2023).

A escassez de água e a degradação dos recursos naturais representam desafios graves para as comunidades que dependem da agricultura e da pecuária para sua subsistência, especialmente em regiões semiáridas e áridas (Pacheco-Treviño; Manzano-Camarillo, 2024). Nesses locais, os pequenos ruminantes enfrentam dificuldades crescentes devido à falta de água e ração, situação essa que será agravada pelos efeitos das mudanças climáticas (Cruz *et al.*, 2023). Além disso, o esgotamento dos recursos naturais, como a degradação do solo e o desmatamento, reduz a capacidade da terra de sustentar a produção agrícola e pecuária, intensificando a insegurança alimentar e afetando diretamente as condições de vida e renda dessas populações (Okunade *et al.*, 2025).

No Brasil, a pecuária é uma das principais atividades socioeconômicas do semiárido representando cerca de 31% do produto interno bruto (PIB), principalmente por ela ser uma atividade mais estável aos fatores edafoclimáticos da região quando comparado com a agricultura (Nascimento *et al.*, 2023). No Semiárido brasileiro, a pastagem nativa é muito utilizada pelos produtores rurais como única fonte de alimentação para os animais, como forma de redução de gastos (Nascimento *et al.*, 2023). Nessas áreas, devido ao uso da vegetação nativa (Caatinga) como base alimentar para os rebanhos e ao período de estiagem que ocorre em parte do ano, a produtividade dos animais é impactada, em decorrência da quantidade e a qualidade da forragem não atenderem às necessidades nutricionais dos animais (Oliveira *et al.*, 2016).

Desta forma, é imprescindível a utilização de sistemas agrícolas sustentáveis, principalmente com cultivo de espécies adaptadas as condições edafoclimáticas dessas regiões (Pastorelli *et al.*, 2022). Entre as culturas tolerantes a essas condições, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) destaca-se por sua boa produtividade, bom valor nutritivo (Ribeiro *et al.*, 2017) e boa eficiência no uso dos recursos hídricos. Entretanto, não é recomendado o seu uso exclusivo em dietas animais, pois possui baixos teores de fibras, proteína bruta e alta concentração de água, podendo causar problemas renais e perda de peso (Pereira *et al.*, 2021). Assim, é essencial que a palma forrageira seja associada a alimentos ricos em fibras nas dietas de ruminantes (Ribeiro *et al.*, 2017). Culturas como feijão-guandu e sorgo em associação com palma forrageira proporcionam equilíbrio nutricional e aumento de

produção de forragem, além de serem tolerantes as condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro (SAB) (Salvador *et al.*, 2021).

A diversificação de culturas pode ser feita através de diversas práticas, como a rotação de culturas e o consórcio de plantas (Khater *et al.*, 2024). O consórcio entre culturas pode influenciar diferentes elementos em um sistema de cultivo, como aspectos hídricos, de solo, interação entre pragas-ambiente, o surgimento de plantas daninhas e a produtividade por unidade de área que normalmente é maior do que em sistemas por monocultura (Lima *et al.*, 2018). O consórcio palma-leguminosa, além de complementar a dieta dos animais, aumenta a disponibilidade de nitrogênio (N) por fixação biológica de nitrogênio, decomposição da serapilheira, nódulos e raízes (Miranda *et al.*, 2019). Em 1 ha plantado de leguminosas como adubo verde pode fixar entre 75 à 150 kg de N atmosférico, que corresponde a aproximadamente 225 kg de ureia (Ablimit *et al.*, 2022).

A rotação de culturas e o cultivo sucessivo de diferentes espécies de cultura normalmente é uma prática utilizada com duas finalidades, interromper ciclos de doença ou em cultivos com leguminosas para oferecer N₂ atmosférico para a cultura subsequente (Alvey *et al.*, 2003). A rotação da cultura anual milho-soja tem potencial de aumentar a produtividade da soja em 8 a 20% em relação ao cultivo contínuo da soja, enquanto para o milho, pode aumentar de 5 a 30% relativamente ao cultivo contínuo do milho (Chamberlain *et al.*, 2020). Chi *et al.* (2019), relatam que o consórcio rotativo entre algodão-amendoim absorveu 7,1% a mais de N que o consórcio tradicional e 8,7, 8,5 e 8,5% mais de N, P e K do que sob a monocultura do algodão, enquanto para o amendoim, absorveu 6,3, 11,5 e 7,3% mais de N, P e K do que sob o consórcio tradicional. Além disso, reportam ainda, que o consórcio rotativo e tradicional teve menor custos de insumos (16,5 e 17%) do que a monocultura do algodão e maior custos do que a monocultura do amendoim (26 e 25,3%) (Chi *et al.*, 2019). Já o retorno líquido quando comparado com a monocultura do algodão foi de 35,5% sob a monocultura do amendoim, 38,4% sob o consórcio tradicional e 52,3% sob o consórcio rotativo, porém quando comparado o consórcio rotativo com o tradicional, o rotativo teve um retorno líquidos aproximadamente 10% maior (Chi *et al.*, 2019).

Ainda não há registros de estudos relacionados à rotação de cultura no consórcio palma forrageira/leguminosa/gramínea. No entanto, Miranda *et al.* (2019) reportam que a palma, quando plantada próxima a leguminosas arbóreas, produziu mais biomassa do que quando plantada distante. Nesse contexto, as informações que avaliam a relação entre culturas tolerantes e práticas agrícolas sustentáveis, como sistemas consorciados seguidos de rotação de

consórcio leguminosas/gramíneas (i.e., feijão-guandu/sorgo) no cultivo da palma forrageira no semiárido brasileiro, são escassas. Além disso, Cunha *et al.* (2012) relatam que, devido aos solos do semiárido apresentarem baixos teores de matéria orgânica e baixa disponibilidade de nitrogênio (N) para as plantas, torna-se necessário a adoção de fontes externas de N para aumentar a produção de forragem. Para atingir o máximo potencial de produção, a palma forrageira necessita de técnicas adequadas de manejo, tanto para adubação quanto para irrigação, sendo esses fatores considerados cruciais para alcançar alta produtividade (Dantas Neto *et al.*, 2020). O uso de irrigação suplementar em ambientes semiáridos é indicado para minimizar os efeitos do déficit hídrico, reduzir a sazonalidade e promover a sustentabilidade do fornecimento de forragem aos rebanhos (Salvador *et al.*, 2024).

Para analisar a eficiência e entender a interação entre os sistemas de cultivos (i.e., consórcio e rotação de culturas) em culturas tolerantes às condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro, uso dos recursos hídricos e a viabilidade econômica desses sistemas em ambientes estressantes, podem ser adotadas diferentes métricas. Os índices hídricos (Fernández *et al.*, 2020), taxas de crescimento e indicadores de viabilidade econômica podem oferecer percepções valiosas sobre a dinâmica do uso dos recursos hídricos e desenvolvimento das culturas, bem como auxiliar os produtores na tomada de decisão e indicar a eficiência dos sistemas e práticas adotadas. Dessa forma, hipotetizou-se que a rotação de leguminosas e gramíneas, quando consorciada com clones de palma forrageira, resulta em melhorias nas taxas morfológicas dos clones de palma forrageira, no desempenho agrônomo e na eficiência do uso da água dos sistemas, promovendo a sustentabilidade e a viabilidade econômica dos sistemas de cultivo no Semiárido brasileiro.

Assim, objetivou-se avaliar o desenvolvimento, crescimento, produtividade, índices hídricos e econômicos, a partir da adoção da rotação de leguminosa/gramínea em cultivo consorciado com a palma forrageira. Visando a sustentabilidade e a potencialização do suporte forrageiro, bem como a viabilidade econômica destes sistemas de cultivo em sistemas pecuários do Semiárido brasileiro. Especificamente, pretende-se: analisar o crescimento e a produtividade dos sistemas de cultivos consorciados antes e após a rotação dos consórcios. Quantificar os índices hídricos dos sistemas de cultivos adotados. Avaliar a viabilidade econômica dos sistemas de cultivo entre leguminosas e gramíneas com a palma forrageira.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PECUÁRIA: ATIVIDADE DE IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICO PARA AMBIENTES SEMIÁRIDOS

As mudanças climáticas têm gerado grande preocupações sobre os sistemas pecuários de todo o mundo. O aquecimento global e as mudanças climáticas afetam a disponibilidade de água e ração, comprometendo a saúde e a produtividade dos animais. Esses impactos se estendem a toda a cadeia produtiva, influenciando o processamento, armazenamento, transporte e consumo dos produtos pecuários, o que ameaça a sustentabilidade do setor e sua capacidade de atender à demanda crescente (Godde *et al.*, 2021).

A pecuária desempenha um papel fundamental na agricultura e na economia global, sendo indispensável para o fortalecimento da segurança alimentar, a otimização da estrutura agrícola e o aproveitamento dos recursos disponíveis (Yang *et al.*, 2022). No Semiárido brasileiro (SAB) a pecuária é a principal atividade socioeconômica de muitas famílias, pois é mais resiliente a seca do que outras atividades agrícolas, proporcionando renda, geração de empregos e segurança alimentar (Almeida; Souza; Batista, 2019; Santos; Pérez-Marin; Sarmiento, 2018). Na Região, a criação de caprinos, ovinos e bovinos para a produção de carne é explorada em toda a extensão do Semiárido (Santos *et al.*, 2011). Nessa região, a produção de leite vai além de uma simples atividade econômica, desempenhando um papel social crucial que muitas vezes, é uma das poucas alternativas que permite aos homens permanecerem no campo e se inserirem no mercado (Gurgel; Nunes, 2019).

Os ovinos e caprinos possuem maior adaptação às condições ambientais da região Semiárida, necessitam de menores quantidades de forragem e utilizam melhor os recursos disponíveis, convertendo-os em carne e leite, essenciais para a geração de renda dos produtores locais (Santos *et al.*, 2023). A caprinocultura e a ovinocultura, desempenham importante papel socioeconômico, principalmente para pequenos e médios produtores rurais, proporcionando renda direta e representando uma excelente fonte alimentar com produtos de alta qualidade e elevado valor biológico, porém, nos rebanhos da região Nordeste, a produção é de subsistência e baixa produtividade (Cruz *et al.*, 2019; Ramos *et al.*, 2020). Além disso, a pecuária desempenha também um papel importante na permanência da população na zona rural, através da produção de alimentos para as famílias e geração de empregos, impulsionando assim diversas cadeias produtivas que possuem grande impacto na economia regional (Santos *et al.*, 2011).

Entretanto, a produção animal a pasto na região semiárida é desafiada devido à fatores como baixa precipitação, períodos secos prolongados e irregularidade na distribuição de chuvas, resultando na estacionalidade produtiva e na diminuição da capacidade de suporte das pastagens (Gonçalves *et al.*, 2022). Outro fator que contribui para insegurança alimentar dos rebanhos em regiões áridas e semiáridas são as mudanças climáticas, pois afetam diretamente as condições edafoclimáticas exercendo impactos e contribuindo para o baixo desempenho produtivo das atividades agropecuárias destas regiões (Salvador *et al.*, 2022).

As perspectivas de sucesso na criação de rebanhos em regiões semiáridas melhoram significativamente com a escolha de forrageiras de bom potencial produtivo e adaptadas às condições edafoclimáticas, especialmente aos estresses ambientais presentes, bem como com altos valores nutritivos, incluindo digestibilidade, aceitabilidade pelo consumo e eficiência energética (Santos *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2022).

2.2 SUPORTE FORRAGEIRO NO SEMIÁRIDO DO BRASIL

Em nações de extensão continental como o Brasil, a atividade agrícola enfrenta desafios significativos devido à variedade de condições edafoclimáticas e à falta de investimentos públicos, especialmente em áreas como o Semiárido (Jesus *et al.*, 2024). Grande parte da atividade agrícola no Semiárido brasileiro é realizada pela agricultura familiar, conferindo-lhe uma importância crucial na cadeia produtiva da região. Um exemplo da importância da agricultura familiar é a sua contribuição no Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que requer que pelo menos 30% dos recursos do programa sejam usados na compra de alimentos da agricultura familiar e das empresas familiares rurais (Martinez; Gomes; Marini, 2023). No entanto, a falta de tecnologias que minimizem os problemas climáticos e a carência de políticas públicas são obstáculos significativos para o desenvolvimento desse setor (Santos *et al.*, 2021).

Nessa região, os produtores rurais usam a pastagem nativa como fonte de alimentos para os rebanhos, pois diminuem os custos dos sistemas de produção, tendo em vista que a alimentação de animais é um fator bastante oneroso (Nascimento *et al.*, 2023). A produção de forragem nativa em ambientes semiáridos se limita ao período chuvoso (Alves *et al.*, 2021), sendo comprometido, principalmente, devido as características edafoclimáticas (Santos; Pérez-Marin; Sarmento, 2018; Silva *et al.*, 2022).

Nos últimos anos, a agricultura e a pecuária têm sido gravemente impactadas por eventos extremos de calor e seca, resultando em consideráveis prejuízos econômicos e sociais

(Pereira *et al.*, 2023). Os pecuaristas, além de enfrentarem a escassez de forragem, também lidam com o alto custo dos alimentos concentrados, como o milho (Bezerra *et al.*, 2023). Esses fatores afetam a disponibilidade de alimento para os rebanhos ocasionando baixo desempenho produtivo, perdas econômicas e, possivelmente, até a morte dos animais no período de escassez hídrica (Macêdo *et al.*, 2018; Santos; Pérez-Marin; Sarmento, 2018).

Devido à insuficiência das pastagens nativas, seja por irregularidade na oferta ou baixa qualidade nutricional, é essencial buscar alternativas como o cultivo de pastagens para aumentar a produção de biomassa, a capacidade de suporte e oferecer forragem de alta qualidade nutricional (Santos *et al.*, 2023).

2.3 USO DE PLANTAS TOLERANTES A AMBIENTES QUENTES E SECOS

Para criar bovinos, caprinos ou ovinos de maneira lucrativa, os agricultores familiares não podem depender exclusivamente das caatingas ou dos pastos nativos como únicos recursos forrageiros para a manutenção de seus rebanhos (Almeida; Souza; Batista, 2019). A utilização de práticas agrícolas resilientes como de plantas forrageiras adaptadas as condições edafoclimáticas do semiárido é uma das alternativas para garantir produção de forragem em períodos de escassez hídrica (Silva *et al.*, 2021).

A palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) da família Cactaceae, originário do México, é uma valiosa opção alimentar para ruminantes em regiões áridas e semiáridas devido às suas notáveis características morfofisiológicas adaptativas (Souza *et al.*, 2019). Trata-se de uma planta que apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), conferindo-lhe elevada capacidade de armazenar água e alta eficiência em seu aproveitamento, além de possuir alto teor energético e mineral (Scalisi *et al.*, 2016). Ela oferece alta produção de biomassa fresca, elevado teor de água, boa aceitabilidade pelo animais e baixo custo de produção durante o ano todo, especialmente em períodos de seca, sendo essencial para suprir a demanda contínua de alimento dos rebanhos, superando a limitação da vegetação nativa (Jardim *et al.*, 2020b). Entretanto, possui baixos teores de MS (5-15%) como também de fibras e proteína bruta (Silva *et al.*, 2024), sendo necessário sua associação com alimentos ricos em proteínas e fibras na alimentação animal (Silva *et al.*, 2023).

Uma alternativa é o sorgo, que possui altos teores de fibras e é uma cultura versátil, capaz de se desenvolver mesmo em ambientes com pouca disponibilidade de água (Alves *et al.*, 2021), elevada capacidade fotossintética e grande capacidade de produção de biomassa, podendo ser usada desde a alimentação animal até a produção de biocombustível. Zhu *et al.*

(2019) Sua resistência ao estresse hídrico e a solos salinos o torna uma opção estratégica para regiões semiáridas, onde chuvas são irregulares e as temperaturas são altas (Queiroz *et al.*, 2023). Graças a mecanismos como os ajustes osmóticos (que regulam o equilíbrio de água na planta), o sorgo preserva a energia armazenada em seus grãos, mantendo seu valor nutricional para a alimentação animal e o tornando-se assim mais adequado ao semiárido do que culturas como o milho, que demandam mais recursos hídricos (Jardim, A. M. R. F. *et al.*, 2020).

O feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Mills) é uma planta originária da Ásia que possui boa capacidade de adaptação tornando-a uma das principais leguminosas destinada ao consumo humano (grão) e fonte de forragem para os animais (Dantas *et al.*, 2021). Possui alta produtividade, boa palatabilidade aos bovinos e possui farinha de boa qualidade que serve para suplementação de suínos e aves (Guimarães *et al.*, 2017). Além da importância para a alimentação proteica humana e dos animais, o feijão-guandu possui grande importância na recuperação de solos (Oliveira *et al.*, 2023). As leguminosas se destacam por suas associações simbióticas com bactérias que fixam N₂, o que resulta em uma quantidade significativa desse nutriente ao sistema solo-planta, além de apresentarem uma alta adaptabilidade ao ambiente tropical, sendo muito eficientes na fixação de nitrogênio atmosférico (Aguiar; Lima, 2023).

2.4 PRÁTICAS AGRÍCOLAS RESILIENTES

Em climas semiáridos é essencial o uso de estratégias de manejo como a utilização de plantas forrageiras tolerantes às condições de déficit hídrico da região, aliado ao uso de irrigação complementar para suprir a demanda hídrica das culturas em período de estiagem (QUEIROZ *et al.*, 2018). Entretanto, como em regiões Semiáridas os recursos hídricos de melhor qualidade são escassos, o uso de águas de qualidade inferior para a prática da irrigação pode ser adotado, desde que seja realizado o manejo adequado para águas salinas, deixando a água “doce” como prioridade para uso humano e animal (Santos *et al.*, 2019). Nessa situação de limitação nos recursos hídricos, o conhecimento da eficiência do sistema de produção é muito importante (Queiroz *et al.*, 2018). Assim, vem sendo realizados vários estudos com sistemas de produção alternativos e culturas forrageiras, com a intenção de encontrar alternativas que possam minimizar os impactos causados pelo déficit hídrico e pela sazonalidade climática no suporte forrageiro (Pinheiro *et al.*, 2021).

Práticas de manejo como a configuração ideal do sistema de produção como densidade de plantio e orientação de cultivo aumentam a produtividade dos cultivos (Alves *et al.*, 2021). Além disso, o uso de culturas como a palma forrageira com o uso de clones resistentes a pragas

(como a Cochonilha do carmim), déficit hídrico, salinidade de solos e águas, se destacam entre as demais culturas adaptadas as condições edafoclimáticas da região semiárida, sendo considerada uma importante fonte de forragem nessa região (Costa *et al.*, 2021). Entretanto, a maior parte das unidades produtivas da palma forrageira são monocultivos, no entanto não utilizam práticas de manejo e tratos culturais como adubação, espaçamentos e consorciação (Santos; Pérez-Marin; Sarmiento, 2018). Mesmo a palma forrageira sendo adaptada as condições limitantes do SAB, essas práticas podem melhorar os rendimentos da cultura.

Por exemplo, o uso de irrigação mínima e complementar possibilita incrementos produtivos, sem comprometer as características bromatológicas da palma forrageira (Santos *et al.*, 2021). O sistema consorciado palma-sorgo garantiu a estabilidade na produção com aumento de cerca de 35% no índice de produtividade do sistema (IPS) de massa seca em relação ao cultivo exclusivo da palma, também foi verificado que o coeficiente de adensamento relativo foi de 12,33, indicando ótima compatibilidade do sistema consorciado (Diniz *et al.*, 2017).

A introdução de leguminosas em sistemas produtivos de palma forrageira, além de gerar equilíbrio nutricional na dieta dos animais, também pode aumentar a disponibilidade de N por fixação biológica de nitrogênio, como também por decomposição da serapilheira, raízes e nódulos correspondentes (Miranda *et al.*, 2019). Silva *et al.* (2020) reportaram que a produção de forragem em tratamento consorciado de milho chegou a ser até 50% maior após a soja (i.e., rotação) do que após o sorgo. Práticas agrícolas, como a rotação de culturas, cultivos múltiplos e o uso de plantas de cobertura, têm se mostrado atrativos econômicos e ecológicos, ajudando a melhorarem a fixação e o rendimento de nitrogênio (Hara *et al.*, 2022). Estudos mostram que a rotação de cultura impacta a produtividade das culturas, aumenta a absorção de nutrientes e diminui os custos com insumos quando comparados com monocultivo (Chamberlain *et al.*, 2020; Chi *et al.*, 2019).

Um dos fatores que limitantes a produtividade da palma forrageira em regiões áridas e semiáridas é a fertilidade do solo, a baixa quantidade de material orgânico no solo, baixa disponibilidade de nitrogênio e a falta de uso de fertilizantes (Cunha *et al.*, 2012; Dubeux Junior *et al.*, 2006; Miranda *et al.*, 2019). Tais fatores, contribuem para menores rendimentos da cultura, visto que, ela extrai grandes quantidades de nutrientes do solo (Dubeux Junior *et al.*, 2006). A utilização de fertilizantes químicos, orgânicos ou organominerais em quantidades adequadas potencializa a produção de matéria verde, acúmulo de nutrientes nos cladódios e rendimento de matéria seca da palma forrageira (Pessoa *et al.*, 2022). O incremento de doses

de esterco bovino como adubação orgânica até 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ na palma forrageira cultivar ‘Gigante’ melhorou as características estruturais e o rendimento da planta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras, localizados na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, pertencente ao município de Serra Talhada, Pernambuco, Brasil (7°57'15"S; 38°17'41"O e 499 m) (Figura 1).

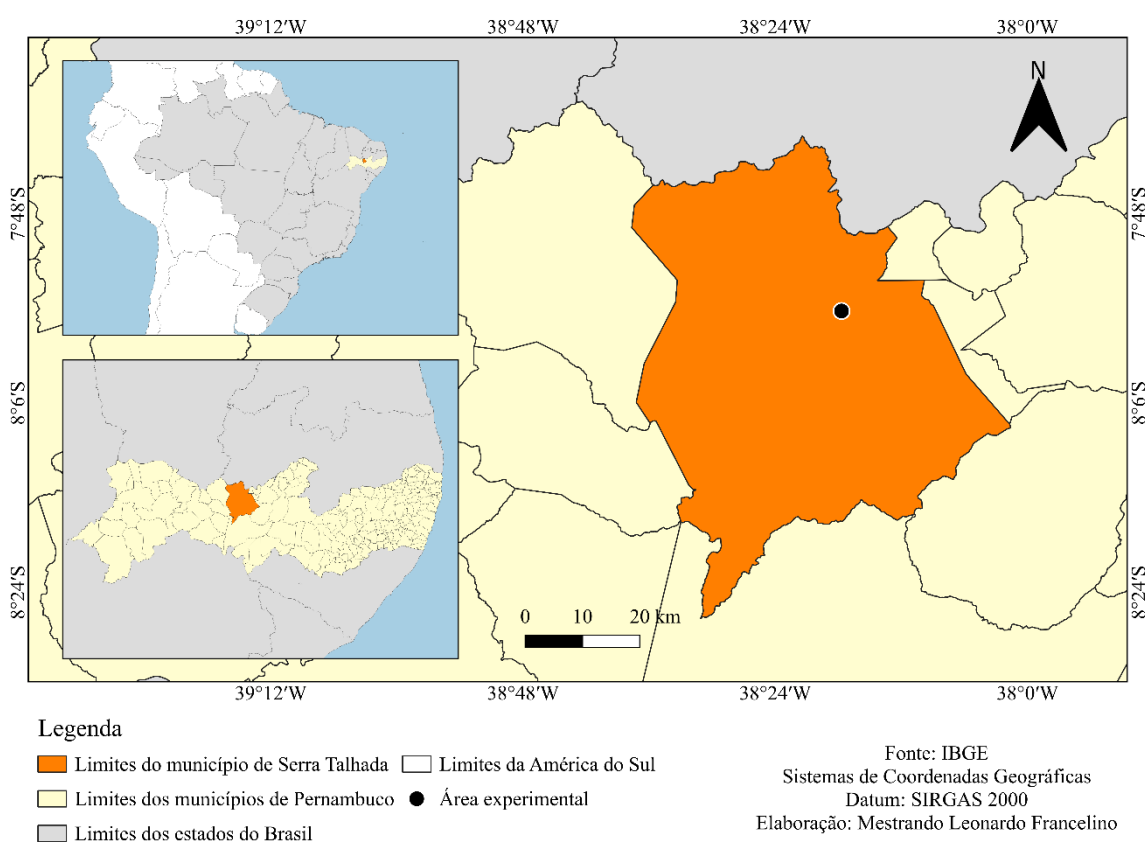


Figura 1. Localização da área de estudo, situada no município de Serra Talhada –PE, Brasil.

O clima da região é classificado como BSh (clima semiárido) conforme a classificação de Köopen (Alvares *et al.*, 2013). A precipitação pluviométrica do município é cerca de 642,1 mm ano⁻¹, ocorrendo especialmente entre janeiro e abril, com temperatura média anual de 24,8°C, umidade relativa do ar é de aproximadamente 62,5%, ocasionando uma demanda atmosférica de 1800 mm por ano e déficit hídrico anual de 1.143 mm (Silva *et al.*, 2015). O solo característico das áreas experimentais é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (Tabela 1).

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do Cambissolo Háplico da área experimental na camada de 0,00 – 0,20 m, situado no município de Serra Talhada – PE, Brasil.

Propriedades físicas						
Densidade		Porosidade		Granulometria		
Prof.	Solo	Partícula	Ø	Areia	Silte	Argila
cm	kg m ⁻³	kg m ⁻³	Total (%)	-----g kg ⁻¹ -----		
0-20	1,39	2,47	43,91	716,78	206,74	76,48
Propriedades químicas						
Prof.	P	Ca	Mg	K	Na	SB
cm	mg dm ⁻³	-----cmolc dm ⁻³ -----				
0-20	392,92	4,18	2,29	0,37	0,14	6,98

Prof.: profundidade, Ø: porosidade total, SB: soma de bases.

Foram monitoradas as variáveis meteorológicas durante o período experimental com um auxílio de uma estação automática (A350) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Durante o primeiro ciclo do experimento a temperatura média do ar foi de 26,25°C, a precipitação pluviométrica de 580.80 mm e a 1680 mm de ET0. No segundo ciclo a temperatura média do ar foi 25,84°C, com precipitação pluviométrica correspondente há 615,63 mm e ET0 de 1429,95 mm. No período total do estudo que compreendeu de 24 de março de 2023 a 19 de dezembro de 2024 as variáveis de precipitação pluviométrica e evapotranspiração de referência (ET0) se comportaram conforma a Figura 2.

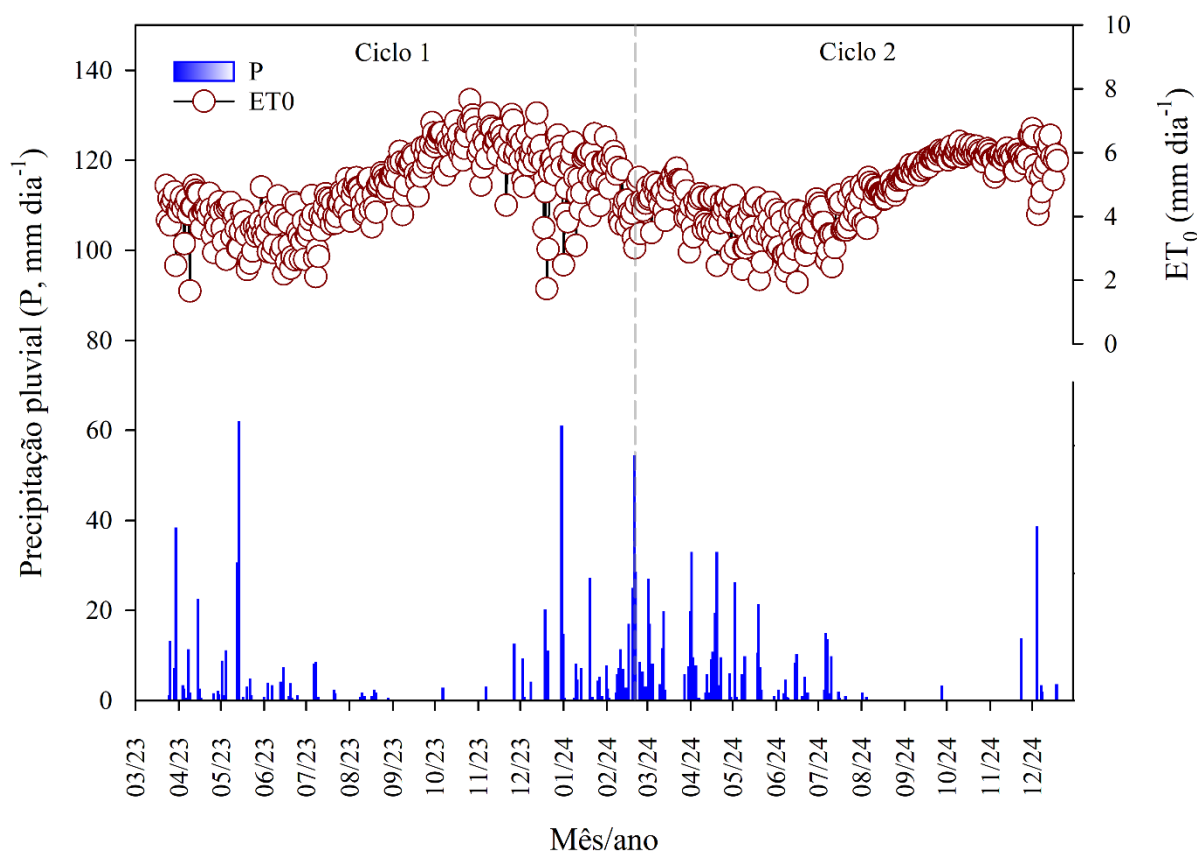


Figura 2. Precipitação pluviométrica (P) e evapotranspiração de referência (ET₀) durante o período de março de 2023 a dezembro de 2024, no município de Serra Talhada, PE.

3.2 EXPERIMENTO, DELINEAMENTOS E TRATAMENTOS

Antes da implantação da área experimental o solo foi preparado com aração, gradagem e sulcagem, e em seguida os cladódios de palma forrageira foram distribuídos e plantados em alinhamento bilateral em que 50% do seu comprimento total foram enterrados. A área experimental foi implantada em outubro de 2018, ocorrendo dois ciclos de palma forrageira até o atual deste estudo (i.e., terceiro e quarto ciclo). Antes da aplicação dos tratamentos, foi realizado corte de uniformização da palma no dia 24 de março de 2023, permanecendo em campo os cladódios basais e os primários, os tratamentos foram aplicados no dia 28 de março de 2023 com o plantio do feijão-guandu em sulcos paralelos a palma forrageira.

O estudo compreendeu dois ciclos experimentais. O primeiro ciclo correspondeu ao sistema consorciado entre palma forrageira com feijão-guandu, consistindo em um ciclo de palma no período de março de 2023 a fevereiro de 2024 e dois ciclos de feijão-guandu. O ciclo

inicial do feijão-guandu ocorreu no período de março de 2023 a setembro de 2023, enquanto o ciclo correspondente a rebrota, foi de setembro de 2023 a fevereiro de 2024.

Já o segundo ciclo do estudo foi realizado com a rotação do consórcio para palma forrageira e sorgo. Foram coletados dados de mais um ciclo de palma forrageira que compreendeu o período de fevereiro de 2024 a dezembro de 2024 e dois ciclos do sorgo. O ciclo inicial do sorgo (planta) consistiu no período de junho de 2024 à agosto de 2024, enquanto a rebrota ocorreu de agosto de 2024 a outubro de 2024.

Foram utilizados 4 materiais vegetais, sendo dois clones de palma forrageira (Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e a Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.)), o feijão-guandu (*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.) e uma cultivar de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) híbrido resultante do cruzamento entre o material IPA-1011 com o sorgo forrageiro BRS Ponta Negra.

O espaçamento entre fileiras da palma forrageira foi de 1,25 m x 0,20 m (15 plantas por fileira na parcela), e a distância do feijão-guandu em relação as fileiras de palmas foi de 0,20 m, semeado em covas espaçadas a 0,25 m entre si (12 plantas por fileira na parcela). Após a colheita do primeiro ciclo, foi realizado a rotação de cultura, a qual sorgo foi semeado também a 0,20 m da fileira da palma em toda as parcelas do experimento, sendo posteriormente realizado desbaste do sorgo deixando uma densidade de 20 plantas por metro linear (300 plantas por fileira na parcela). As parcelas experimentais (15 m²) possuíam quatro fileiras, sendo consideradas as duas fileiras do interior e desprezadas as duas plantas de cada extremidade para parcela útil experimental. A densidade populacional da palma forrageira foi de 40.000 plantas ha⁻¹, 32.000 plantas ha⁻¹ de feijão-guandu e 160.000 plantas por hectare de sorgo.

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições e quatro tratamentos, sendo eles: Palma MIU com rotação Feijão-guandu/Sorgo (MIU-FG/S), Palma MIU sem rotação Feijão-guandu/Sorgo (MIU-S), Palma OEM com rotação Feijão-guandu/Sorgo (OEM-FG/S) e Palma OEM sem rotação Feijão-guandu/Sorgo (OEM-S). A rotação de culturas ocorreu entre o término do primeiro ciclo e o início do segundo. No primeiro ciclo, o sistema de cultivo envolveu o consórcio de palma com feijão-guandu, contemplando parcelas de palma consorciada e palma exclusiva. No segundo ciclo, todas as parcelas foram submetidas à rotação de cultura para o consórcio de palma forrageira com sorgo, com o objetivo de avaliar se o plantio prévio da leguminosa impactaria as culturas subsequentes.

3.3 MANEJO DE IRRIGAÇÃO E DE ADUBAÇÃO

Foram abertos sulcos perpendiculares as culturas nas linhas de cultivos para realização das adubações. Foram aplicadas P (SS) – K (KCl) iguais a 80-130 kg ha⁻¹ para cada nutriente respectivamente, de acordo com a recomendação do IPA para a cultura da palma forrageira no Estado de Pernambuco (Cavalcanti, 2008), enquanto as adubações de nitrogênio corresponderam a uma dose de 75 kg ha⁻¹ de N como adubação mínima de fundação, sendo a fonte utilizada ureia. Foram realizados tratos culturais na área experimental sempre que necessários para retirada de ervas daninhas, promovendo o desenvolvimento adequado das culturas.

A irrigação dos experimentos foi complementar, as segundas, quartas e sextas-feiras, por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, com coeficiente de uniformização de aplicação de 90%, onde os emissores são espaçados a cada 0,20 m de distância entre si, com vazão de 1,85 L h⁻¹ com pressão de serviço de 1 atm. O recurso hídrico disponível para irrigação é proveniente de um poço artesiano com profundidade de 48 m e vazão de 12 m³ h⁻¹, condutividade elétrica média da água igual a 1,62 dS m⁻¹ e pH de 6,84, sendo classificada como C₃ (alta salinidade) pela classificação de (Richards *et al.*, 1954).

A irrigação foi realizada com base em 100% na evapotranspiração de referência (ET₀) diária, sendo aplicada uma lâmina três vezes por semana: às segundas, quartas e sextas-feiras. A ET₀ foi obtida por meio da equação de Penman-Monteith, determinada pela FAO, conforme equação 1 (Allen *et al.*, 1998).

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

em que, ET₀ = evapotranspiração de referência, (mm d⁻¹); Δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação, (kPa °C⁻¹); R_n – saldo de radiação líquida, (MJ m⁻² d⁻¹); G = fluxo de calor no solo, (MJ m⁻² d⁻¹); γ = constante psicrométrica, (kPa °C⁻¹); T = temperatura média diária do ar a dois metros de altura, (°C); μ₂ = velocidade do vento a dois metros de altura, (m s⁻¹); e_s = pressão de saturação de vapor, (kPa); e_a = pressão de vapor atual do ar, (kPa); e_s–e_a = déficit de pressão de vapor, (kPa).

Os dados meteorológicos (precipitação pluviométrica, temperatura média do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar global) para realização dos cálculos

das equações foram obtidos através de uma estação meteorológica automática INMET, localizada próxima a área experimental (Serra Talhada, A350).

3.4 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO E DE PRODUTIVIDADE

3.4.1 Variáveis de crescimento

Foram realizadas campanhas de biometrias nas plantas utilizando fitas métricas e paquímetro para coleta de dados referentes ao crescimento das culturas. Para a palma forrageira, foram realizadas bimestralmente no primeiro ciclo e mensalmente no segundo ciclo em uma planta por, para o feijão-guandu os eventos biométricos se deram quinzenalmente (15 dias), enquanto para o sorgo foram realizadas biometrias semanalmente (7 dias). Na palma forrageira foi realizada biometrias em uma planta de cada tratamento totalizando 4 plantas por repetição, no feijão-guandu foi realizado biometria em apenas uma planta de cada tratamento/parcela que totalizou duas plantas por repetição no ciclo planta, porém na rebrota foram avaliadas duas plantas por tratamento/parcela, totalizando 4 plantas por repetição. Já para o sorgo, as campanhas biométricas foram realizadas em duas plantas em cada tratamento/parcela totalizando 8 plantas por repetição.

As variáveis biométricas coletadas para a palma forrageira foram a altura da planta (AP, cm – distância vertical da superfície do solo para o cladódio mais alto da planta), largura de planta (LP, cm – distância horizontal entre os cladódios mais extremos da planta), número total de cladódio (NTC, unidades) e número total de cladódio por ordem de surgimento (NC1, NC2, assim sucessivamente). Uma ramificação por planta, juntamente com o cladódio basal será escolhida para a mensuração das seguintes variáveis: comprimento do cladódio (CC, cm), largura do cladódio (LC, cm), perímetro do cladódio (PC, cm) e espessura do cladódio (EC, mm). Com esses dados foi feita a estimativa da área do cladódio (AC, cm²) de acordo com o clone de palma forrageira utilizando os modelos matemáticos propostos por Silva *et al.* (2014).

Com o a AC calculado, ele foi utilizado para calcular o índice de área do cladódio (IAC) através da seguinte equação (Pinheiro *et al.*, 2014):

$$IAC = \left(\sum_n^{i=1} AC \right) / 10.000 / (E1 \times E2) \quad \text{Eq. 2}$$

em que: IAC é o índice de área do cladódio observado (cm² cm⁻²); AC é a área do cladódio (cm²); 10.000 é o fator de conversão de cm² para m²; e E1×E2 é o espaçamento entre fileiras e plantas de cada clone.

As variáveis que foram coletadas do feijão-guandu são altura da planta (AP, cm), larguras planta (LP, cm), número de perfilhos (NP, unidade), número de folhas (NF, unidade) e espessura do caule (EC, mm). Já para o sorgo nas biometrias antes da final foram (AP, cm), número de folhas vivas (NFV, unidades), número de folhas morta (NVM, unidades), largura (L3+, cm) e comprimento (C3+, cm) da folha 3+, comprimento (CP, cm) e largura (LP, cm) da panícula, na biometria final foram mensuradas todas as anteriores, além da largura da planta (LP, cm), diâmetro do colmo (DC, mm). A estimativa da área foliar (AF, cm²) do sorgo, foi calculada de acordo com a Equação 3 SHIH; GASCHO; RAHI, 1981). O índice de área foliar (IAF, cm² cm⁻²) foi estimado de acordo com a Equação 4.

$$AF = 0,741 \times LF + 3 \times CF + 3 \quad \text{Eq. 3}$$

$$IAF = \frac{(AF \times NFV)}{(E1 \times E2)} \quad \text{Eq. 4}$$

em que, AF: Área da folha (cm²); LF+3: largura da folha +3 (cm); CF+3: comprimento da folha 3+ (cm); IAF = Índice de área foliar (cm² cm⁻²); NFV = Número de folhas vivas (unidades); E1 = espaçamento entre linhas (cm); E2 = espaçamento entre plantas (cm).

3.4.2 Rendimento de Forragem

Foi realizada colheita para determinação da produtividade, sendo contabilizadas todas as plantas da parcela útil para a obtenção da densidade final de plantas. Em seguida, essas plantas foram cortadas e pesadas para obter a massa fresca total das plantas (kg), deixando em campo apenas os cladódios primários e basais. Posteriormente, dois cladódios representativos de cada parcela foram selecionados, pesados, fracionados, colocados em sacos de papel identificados e levados a uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingirem peso constante. A partir do quociente entre o peso seco e fresco, os teores de matéria seca dos cladódios foram determinados. Para estimar a produtividade da massa fresca da palma (MF-Palma, Mg ha⁻¹), foi calculado o produto da massa fresca total das plantas e a densidade final de plantas. Já para a estimativa da produtividade de massa seca da palma (MS-Palma, Mg ha⁻¹), foram consideradas a estimativa da MF das plantas e os teores de matéria seca dos cladódios.

Para o feijão-guandu, a produtividade foi determinada sempre ao final de cada ciclo da cultura, sendo consideradas as parcelas úteis, as duas fileiras centrais da parcela. Foram contabilizadas as plantas a cada 3 metros lineares para determinar a densidade final. Logo após, foram colhidas e pesadas cinco plantas representativas da parcela útil para determinar a massa fresca total das plantas. Seguidamente, duas plantas representativas da parcela útil foram

colhidas, fracionadas, pesadas e acondicionadas em uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir o peso seco constante. Os teores de matéria seca foram determinados pelo resultado da relação entre a massa seca e a massa fresca. A massa fresca do feijão-guandu (MF-FG, Mg ha⁻¹) foi determinada pela densidade das plantas e a massa fresca total. Já a matéria seca do feijão-guandu (MS-FG, Mg ha⁻¹) foi obtida pela MF das plantas e os teores de matéria seca.

A produtividade do sorgo foi determinada no final de cada ciclo da cultura. Assim como nas outras culturas, foram consideradas as duas fileiras interiores a cada 3 metros lineares da parcela útil para determinar a densidade final das plantas. Em seguida, foram colhidas e pesadas oito plantas na parcela útil, para determinar a massa fresca total das plantas. Posteriormente, foram colhidas duas plantas representativas da parcela, fracionadas, pesadas em uma balança semianalítica e levadas a uma estufa de circulação forçada de ar a 55 °C até atingir o peso seco constante. O quociente da matéria seca e fresca foi o teor de matéria seca da planta. Para estimar a massa fresca do sorgo (MF-Sorgo, Mg ha⁻¹), foi considerada a densidade de plantas e a massa fresca total, enquanto a massa seca do sorgo (MS-Sorgo, Mg ha⁻¹) foi considerada os teores de matéria seca da planta e os valores de massa fresca (MF) das plantas.

Ao final de cada ciclo do experimento somaram-se as produtividades das duas culturas em consórcio para expressar a produtividade de massa fresca total (MF-Total, Mg ha⁻¹) e massa seca total (MS-Total, Mg ha⁻¹).

3.4.3 Índices morfofisiológicos da palma forrageira

A determinação das taxas morfofisiológicas para os clones de palma forrageira foi realizada por análises de regressões sigmóides, que relacionara os valores de massa seca (MS-P) e índice de área do cladódio (IAC), usando a variável independente os graus dias acumulados (GDA, °Cdia). O GDA foi determinado através da soma dos valores dos graus dias (GD, °Cdia), que foram obtidos a partir da diferença entre a temperatura média diária e a temperatura base da palma forrageira, que é de 22 °C (Araújo Júnior, G. N. *et al.*, 2021). As equações que possuíram um coeficiente de determinação acima de 0,85 (R²), foram derivadas para obtenção das taxas diárias de acúmulo de matéria seca, que resultam na taxa de crescimento absoluto da cultura (TCA, Mg ha⁻¹ °Cdia). Com os resultados de TCA, foi possível determinar as taxas de assimilação líquida (TAL, Mg ha⁻¹ °Cdia), taxas de crescimento relativo (TCR, Mg Mg⁻¹ °Cdia) e área do cladódio específica (ACE, ha Mg⁻¹), utilizando-se as seguintes equações:

$$TAL = \frac{TCA}{IAC} \quad \text{Eq. 5}$$

$$TCR = \frac{TCA}{MS} \quad \text{Eq. 6}$$

$$ACE = \frac{IAC}{MS} \quad \text{Eq. 7}$$

3.4.4 Fenofases dos clones de palma forrageira

As fases fenológicas foram determinadas por meio de análises de regressão utilizando modelos sigmóides de três parâmetros, que relacionaram os graus-dias acumulados (GDA, °Cdia) com o número de cladódios conforme sua ordem de surgimento (primeira ordem, segunda ordem, e assim por diante). As derivadas dessas equações foram calculadas quando os coeficientes de determinação (R^2) eram maiores que 0,90 e os parâmetros significativos ($p \leq 0,05$), para obter a taxa diária de emissão de cladódios. Considerou-se a superação da fase fenológica na palma forrageira quando a taxa de emissão de cladódios de ordem superior foi maior que a taxa de emissão de cladódios de ordem inferior (Amorim *et al.*, 2017).

3.4.5 Índices hídricos e margem de lucro dos sistemas

Os índices hídricos foram determinados através da produtividade de matéria seca (MS-P, Mg ha⁻¹), pelo volume hídrico que entrou no sistema de produção, tanto via precipitação (P), quanto via irrigação (I) para os sistemas nos dois ciclos. A produtividade da água da cultura (*WP_c, kg m³) foi determinada pela relação entre a produtividade final das culturas (Y) e a água total contabilizada na produção durante o ciclo (P+I) (Fernández *et al.*, 2020).

$$*WP_c = \frac{Y}{\Sigma(P+I)} \quad \text{Eq. 8}$$

em que, Y = produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹); P = precipitação (m³ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

A produtividade da água de irrigação (WP_i) foi determinada pela produtividade da cultura (Y) e água total aplicada via irrigação (I) (Fernández *et al.*, 2020) para cada ciclo:

$$WP_i = \frac{Y}{\Sigma I} \quad \text{Eq. 9}$$

em que, WP_i = produtividade da água de irrigação (kg m³); Y = produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹); I = irrigação (m³).

A receita foi determinada para cada ciclo considerando a Mg ha⁻¹. No primeiro ciclo, a Mg ha⁻¹ foi de \$30.43 USD para a palma forrageira e \$121.70 USD para o feijão-guandu. No

segundo ciclo, a Mg ha⁻¹ foi de \$24.51 USD para a palma forrageira e \$40.85 USD para o sorgo. Os custos fixos incluíram a implantação do sistema de irrigação e os custos das culturas, enquanto os custos variáveis foram quantificados considerando energia elétrica, depreciação dos componentes e mão-de-obra. Os custos variáveis incluíram depreciação dos componentes do sistema, custos com mão de obra, custos com energia elétrica e manutenção dos componentes do sistema, bem como a irrigação realizada durante o ciclo produtivo. Para a precificação dos custos e da matéria fresca foram levados em consideração os valores no mercado da região, além de dados da literatura (Alves, 2021; Voltolini *et al.*, 2022).

A produtividade econômica bruta da água de irrigação (GEWP_i) foi determinada pela relação da margem bruta (R\$) (Margem bruta = Receitas - Custos variáveis; para qualquer moeda, no entanto, para atual estudo, foi calculado em dólar americano) (Fernández *et al.*, 2020) e a irrigação aplicada para cada ciclo.

$$GEWP_i = \frac{\text{Margem Bruta}}{\Sigma I} \quad \text{Eq. 10}$$

em que, GEWP_i = produtividade econômica bruta da água de irrigação (US\$ m³); Margem bruta (US\$ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

Para determinar a produtividade econômica líquida da irrigação será realizada através da relação entre margem líquida (Margem líquida = Receita – Custos fixos e variáveis) (Fernández *et al.*, 2020) e da lâmina de irrigação acumulada para cada ciclo de cultivo.

$$NEWP_i = \frac{\text{Margem Líquida}}{\Sigma I} \quad \text{Eq. 11}$$

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

A produtividade econômica da água da cultura (EWP_c) foi calculada por meio da relação do lucro gerado pelas culturas (receita variável, custos fixos e de oportunidade) e a quantidade total de água aplicada para cada ciclo de cultivo (Fernández *et al.*, 2020). Os custos de oportunidades são referentes a venda dos cladódios da palma forrageira como sementes, ou seja, para replantio. Assim, o valor considerado para a semente foi de US\$ 0,03 por unidade. Portanto os índices "EWP_c" e "EWP_i" dizem respeito apenas ao rendimento gerado pela palma forrageira.

$$EWP_c = \frac{\text{Profit}}{\Sigma P + I} \quad \text{Eq. 12}$$

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

A produtividade econômica da água de irrigação (EWP_i) foi determinada por intermédio do valor do Profit e a lâmina de água aplicada via irrigação para cada ciclo do experimento (Fernández *et al.*, 2020).

$$EWP_i = \frac{\text{Profit}}{\Sigma I} \quad \text{Eq. 13}$$

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

3.4.6 Benefício econômico dos sistemas

A análise econômica foi determinada através da relação benefício/custo, que considera a receita líquida gerada no cultivo e o custo total da produção, sendo ele os custos variáveis e fixos, para a implantação do sistema de produção em um hectare de terra.

$$\frac{B}{C} = \frac{RL}{CTP} \quad \text{Eq. 14}$$

em que, B/C = relação benefício/custo; RL = receita líquida (US\$); CTP = custo total de produção (US\$). Se a relação B/C for superior a 1, o sistema de produção será considerado viável economicamente.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram tabulados utilizando o Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2025) e, em seguida, submetidos a testes de normalidade, homoscedasticidade e análise de variância. Quando necessário (para médias significativas, $p < 0,05$), foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparar as médias obtidas. As análises estatísticas para crescimento e produtividade foram realizadas com o auxílio do software XLSTAT (2018). O software SigmaPlot (versão 14.0) foi utilizado para ajustar as curvas de regressão sigmóides com três fatores referentes às fenofases e taxas morfofisiológicas. A confecção dos gráficos foi realizada utilizando o SigmaPlot (versão 14.0) e o LabPlot (versão 2.11).

4 RESULTADOS

4.1 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

Nas variáveis respectivas ao crescimento da palma (Tabela 2) no primeiro ciclo, o clone MIU (MIU-S e MIU-FG/S) foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para as variáveis da planta NC3 e NC4, enquanto as demais variáveis de crescimento da planta não diferiram para nenhum dos tratamentos. Quando analisadas as variáveis morfológicas especificamente dos

cladódios, o clone MIU (MIU-S e MIU-FG/S) diferiu estatisticamente pelo test-F ($p < 0,05$) nas variáveis de ECB, EC1, EC4, CC5, LC5, EC5, PC5 e AC5, enquanto o clone OEM (OEM-S e OEM-FG/S) apresentou melhor desempenho ($p < 0,05$) nas seguintes variáveis de crescimento dos cladódios: LCB, PCB, CC1, LC1, LC2, LC3, ACB, AC1, AC2 e AC3. As outras variáveis de crescimento da planta e de crescimento dos cladódios não diferiram estatisticamente ($p > 0,05$).

Tabela 2. Características morfológicas dos clones de palma forrageira consorciada com feijão-guandu durante o primeiro ciclo experimental em Serra Talhada, PE.

Varáveis	Tratamentos				p-valor
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S	
NC3	16,750 a	16,250 a	11,250 ab	5,500 b	0,031
NC4	8,750 a	5,750 a	0,250 b	0,250 b	0,002
LCB	15,000 b	16,000 b	25,500 a	28,000 a	0,000
ECB	57,500 a	57,000 a	39,750 ab	32,250 b	0,021
PCB	32,250 c	42,500 bc	58,250 a	55,250 ab	0,003
CC1	22,625 c	32,000 ab	35,750 a	27,500 bc	0,001
LC1	9,875 c	10,750 bc	27,500 a	19,875 ab	0,001
EC1	54,750 a	42,250 ab	25,000 b	26,500 b	0,005
LC2	11,125 b	11,000 b	18,250 a	18,750 a	0,001
LC3	10,500 b	10,875 b	19,750 a	18,500 a	0,000
EC4	19,500 a	13,000 b	2,750 c	2,000 c	0,000
CC5	16,000 a	19,500 a	0,000 b	0,000 b	0,000
LC5	7,250 a	9,925 a	0,000 b	0,000 b	0,000
EC5	9,000 a	10,000 a	0,000 b	0,000 b	0,005
PC5	36,250 a	45,000 a	0,000 b	0,000 b	0,000
ACB	137,122 b	188,768 ab	404,598 a	416,870 a	0,013
AC1	161,685 b	247,611 b	678,919 a	385,742 b	0,001
AC2	221,788 b	211,801 b	409,272 a	420,356 a	0,004
AC3	161,325 c	183,144 a	381,865 a	360,261 ab	0,014
AC5	111,749 a	105,172 a	0,000 b	0,000 b	0,014

MIU-FG/S: Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; MIU-S: Palma Miúda sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-S: Palma Orelha de Elefante mexicana sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; AP: Altura da planta (cm); LP: Largura da planta (cm); NC(ordem de surgimento): Número de Cladódio por ordem (unidade); CC(ordem de surgimento): Comprimento do Cladódio por ordem de surgimento (cm); LC(ordem de surgimento): Largura do Cladódio por ordem de surgimento (cm); EC(ordem de surgimento): Espessura do Cladódio por ordem de surgimento (mm); PC(ordem de surgimento): Perímetro do Cladódio por ordem de surgimento (cm); AC(ordem de surgimento): Área do Cladódio por ordem de surgimento (cm²); IAC: Índice de Área do Cladódio (cm² cm⁻²). *, ** e ns: significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente pelo test-F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente em si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Após o final do primeiro ciclo do estudo (palma com feijão-guandu), foi realizado a rotação do consórcio, ou seja, o sorgo foi plantado e foi iniciado o segundo ciclo do estudo (palma com sorgo). As características de crescimento da planta (AP, LP, NC1, NC2, NC4 e NTC) analisadas (Tabela 3), não apresentaram variações significativas ($p > 0,05$) quanto a rotação de cultura, entretanto a variável de NC3 no tratamento MIU-S se diferenciou ($p < 0,05$) dos demais, sendo 280% maior que a média dos tratamentos MIU-FG/S, OEM-S e OEM-FG/S. As variáveis morfológicas de crescimento especificamente dos cladódios como CC1, EC1, CC2, EC2, CC3, LC3, EC3, PC3, LC4, AC3, AC4 e IAC não diferiram ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Os tratamentos com o clone OEM (OEM-S e OEM-FG/S) se destacaram ($p < 0,05$) em relação ao clone MIU (MIU-S e MIU-FG/S) nas variáveis CCB, LCB, PCB, LC1, PC1, LC2, PC2, ACB, AC1 e AC2, em que, apenas nas variáveis CC4, EC4 e PC4 houve diferença entre os tratamentos OEM-S e OEM-FG/S, pois o tratamento OEM-FG/S não desenvolveu cladódios de quarta ordem, ainda assim, essas mesmas variáveis (CC4, EC4 e PC4) não apresentou diferenças entre os tratamentos OEM-S, MIU-S e MIU-FG/S. A variável ECB teve melhor desempenho nos tratamentos com clone MIU (61,12 mm), sendo em média maior que os tratamentos com OEM (45,87 mm) em 24,95%.

Tabela 3. Características morfológicas dos clones de palma forrageira consorciada com sorgo híbrido após rotação com leguminosas durante o segundo ciclo experimental em Serra Talhada, PE.

Variáveis	Tratamentos				p-valor
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S	
NC3	23,75a	11,50b	4,25b	3,00b	0,00
CCB	13,50b	12,00b	23,50a	21,00a	0,00
LCB	13,00b	12,75b	28,75a	28,75a	0,00
ECB	61,50a	60,75a	46,50b	45,25b	0,01
PCB	35,75b	33,38b	60,75a	57,50a	0,00
LC1	10,75b	10,00b	20,38a	19,63a	0,00
PC1	55,50b	60,50b	77,00a	85,50a	0,01
LC2	10,63b	10,63b	16,50a	18,00a	0,00
PC2	58,00b	50,50b	64,50ab	75,25a	0,01
CC4	19,00a	13,00ab	5,75ab	0,00b	0,02
EC4	7,50a	6,75a	2,00ab	0,00b	0,01
PC4	52,75a	30,00ab	15,75ab	0,00b	0,02
ACB	126,14b	109,95b	493,34a	424,88a	0,00
AC1	180,31b	182,29b	413,74ab	465,21a	0,01
AC2	182,06bc	160,83c	323,07ab	381,20a	0,00

MIU-FG/S: Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; MIU-S: Palma Miúda sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-S: Palma Orelha de Elefante mexicana sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; AP: Altura da planta (cm); LP: Largura da planta (cm); NC(ordem de surgimento): Número de Cladódio por ordem (unidade); CC(ordem de surgimento): Comprimento do Cladódio por ordem de surgimento (cm); LC(ordem de surgimento): Largura do Cladódio por ordem de surgimento (cm); EC(ordem de surgimento): Espessura do Cladódio por ordem de surgimento (mm); PC(ordem de surgimento): Perímetro do Cladódio por ordem de surgimento (cm); AC(ordem de surgimento): Área do Cladódio por ordem de surgimento (cm²); IAC: Índice de Área do Cladódio (cm² cm⁻²). *, ** e ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo pelo test-F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente em si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O crescimento do feijão-guandu, quando consorciado com a palma forrageira, não apresentou variação significativa ($p>0,05$) para nenhuma das variáveis de crescimento analisadas (Tabela 4) tanto no ciclo planta quanto na rebrota. Esse resultado indica que a interação entre o feijão-guandu e a palma forrageira não alterou significativamente os parâmetros de crescimento da cultura.

Tabela 4. Crescimento do feijão-guandu consorciado com palma forrageira, Serra Talhada, PE, Brasil.

Variáveis	Planta		p-valor	Rebrota		p-valor
	Tratamentos			Tratamentos		
	OEM-FG/S	MIU-FG/S		OEM-FG/S	MIU-FG/S	
AP	147,50	170,50	0,301	183,25	146,00	0,230
LP	74,38	74,13	0,982	90,13	84,00	0,783
EC	11,25	12,50	0,607	16,13	14,88	0,590
NP	8,00	8,75	0,742	9,13	7,63	0,419
NF	20,50	17,25	0,534	17,50	14,88	0,459
LF	11,50	15,75	0,137	9,50	12,19	0,311
CF	11,13	11,75	0,713	10,25	10,44	0,844

OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; AP: Altura da planta (cm); LP: Largura da planta (cm); EC: Espessura do caule (mm); NP: Número de perfilho (unidade); NF: Número de folhas (unidades); LF: Largura da folha (cm); CF: Comprimento da folha (cm). *, ** e ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo pelo test-F, respectivamente. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente em si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Assim como foi observado para o feijão-guandu, nos dois ciclos do sorgo híbrido (Tabela 5), sob consórcio com a palma forrageira e após a rotação de cultura com o feijão-guandu, não houve diferenciação estatística significativa ($p > 0,05$) para nenhuma das variáveis de crescimento das plantas analisadas. Indicando que a rotação de cultura entre feijão-guandu e sorgo, mantendo a palma forrageira como cultura principal, não influenciou o desenvolvimento das plantas. As variáveis de crescimento analisadas, tais como altura, largura, diâmetro do caule, número de folhas, mantiveram-se estáveis ao longo dos ciclos.

Tabela 5. Características biométricas do sorgo híbrido consorciado com palma forrageira após a rotação de cultura com o feijão-guandu, Serra Talhada, PE, Brasil.

Ciclo planta					
Variáveis	Tratamentos				p-valor
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S	
AP	132,0	130,4	124,0	134,4	0,59
EC	7,5	8,5	6,9	6,6	0,34
LP	40,3	37,8	33,9	39,8	0,62
NFV	4,9	4,9	5,0	5,1	0,88
NFM	3,0	2,8	2,3	2,6	0,33
CF3+	54,3	58,0	53,9	59,5	0,55
LF3+	4,7	5,0	4,0	4,8	0,32
CP	21,1	20,4	19,9	20,4	0,93
LP	7,9	8,3	7,5	7,9	0,91
AF	192,8	218,9	160,7	217,1	0,42
IAF	1,6	1,9	1,3	1,9	0,47
Ciclo rebrota					
Variáveis	Tratamentos				p-valor
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S	
AP	144,6	141,8	113,3	125,1	0,09
EC	10,6	12,3	9,8	12,0	0,38
LP	54,4	63,1	53,6	56,3	0,49
NFV	6,4	6,5	6,4	6,4	1,00
NFM	3,3	3,0	3,4	3,1	0,88
CF3+	61,8	65,7	62,9	64,8	0,92
LF3+	5,6	6,1	4,8	5,5	0,40
CP	19,2	21,6	13,2	19,5	0,27
LP	5,6	6,6	3,7	4,8	0,22
AF	264,2	297,9	232,0	267,4	0,73
IAF	2,8	3,2	2,5	2,9	0,74

MIU-FG/S: Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; MIU-S: Palma Miúda sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-S: Palma Orelha de Elefante mexicana sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; AP: Altura da planta (cm); EC: Espessura do colmo (mm); LP: Largura da planta (cm); NFV: Número de folhas vivas (unidades); NFM: Número de folhas mortas (unidades); CF3+: Comprimento das folhas 3+ (cm); LF3+: Largura da folha 3+(cm); CP: Comprimento da panícula (cm); LP: Largura da panícula (cm); AF: Área foliar (cm²); IAF: Índice de área foliar (cm² cm⁻²). *, ** e ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo pelo test-F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente em si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2 RENDIMENTO DE FORRAGEM

A Tabela 6 apresenta o desempenho agrônômico dos dois ciclos do estudo, incluindo as produtividades individuais das culturas e a produtividade total dos sistemas tanto para matéria fresca (Mg ha⁻¹) quanto para matéria seca (Mg ha⁻¹) antes e após a rotação dos consórcios.

Tabela 6. Produtividade das culturas e sistemas em massa fresca (MF) e massa seca (MS) ao longo de dois ciclos de produção, Serra Talhada, PE, Brasil.

Ciclo 1						
Palma forrageira						
Variáveis	Tratamentos				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Palma	159,598 b	173,047 b	322,591 a	284,261 ab	0,009	
MS-Palma	13,284	12,811	20,235	16,180	0,051	
Feijão-guandu						
Variáveis	Planta		p-valor	Rebrota		p-valor
	Tratamentos			Tratamentos		
	OEM-FG/S	MIU-FG/S		OEM-FG/S	MIU-FG/S	
MF-FG	14001,25	6266,95	0,100	5550,64	9706,50	0,144
MS-FG	4748,74	2035,05	0,187	2459,57	2930,84	0,632
Produtividade do sistema						
Variáveis	Tratamentos				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Total	159,598 c	189,021 bc	322,591 a	303,813 ab	0,008	
MS-Total	13,284 b	17,777 ab	20,235 ab	23,388 a	0,015	
Ciclo 2						
Palma forrageira						
Variáveis	Tratamentos				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Palma	137,43	80,32	161,48	153,74	0,083	
MS-Palma	12,14	7,00	10,64	9,65	0,243	
Sorgo						
Variáveis	Planta				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Sorgo	6,38	6,04	5,81	5,55	0,889	
MS-Sorgo	2,02	1,83	1,93	1,86	0,963	
Variáveis	Rebrota				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Sorgo	8,21ab	13,22a	7,12b	8,39ab	0,041	
MS-Sorgo	3,15	4,74	2,34	2,80	0,071	
Produtividade do sistema						
Variáveis	Tratamentos				p-valor	
	MIU-S	MIU-FG/S	OEM-S	OEM-FG/S		
MF-Total	152,02	99,58	175,68	166,40	0,166	
MS-Total	17,31	13,57	15,37	13,85	0,527	

MIU-FG/S: Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; MIU-S: Palma Miúda sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-S: Palma Orelha de Elefante mexicana sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; MF-Palma: Massa Fresca da Palma (Mg ha⁻¹); MS-Palma: Massa seca da Palma (Mg ha⁻¹); MF-FG: Massa fresca do feijão-guandu (Mg ha⁻¹); MS-FG:

Massa seca feijão-guandu (Mg ha^{-1}); MF-Total: Massa Fresca Total do Sistema (Mg ha^{-1}); MS-Total: Massa Seca Total do Sistema (Mg ha^{-1}). Segundo ciclo: MF-Palma: Massa Fresca da Palma (Mg ha^{-1}); MS-Palma: Massa seca da Palma (Mg ha^{-1}); MF-Sorgo: Massa fresca do sorgo (Mg ha^{-1}); MS-Sorgo: Massa seca do sorgo (Mg ha^{-1}); MF-Total: Massa Fresca Total do Sistema (Mg ha^{-1}); MS-Total: Massa Seca Total do Sistema (Mg ha^{-1}). *, ** e ns: Significativo a 5%, 1% e não significativo pelo test-F. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente em si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que no primeiro corte a MF-Palma foi estatisticamente significativa ($p < 0,05$), sendo o tratamento OEM-S o que apresentou melhor desempenho ($322,59 \text{ Mg ha}^{-1}$), contudo ela não diferiu do tratamento OEM-FG/S ($284,26 \text{ Mg ha}^{-1}$). Nota-se ainda que os tratamentos com o clone MIU apresentaram menor produtividade em média 44,97% quando comparados aos tratamentos com o clone OEM. A MS-Palma não diferiu entre os tratamentos analisados ($p > 0,05$). Já para a produtividade do feijão-guandu, não houve diferenciação estatística para nenhuma das variáveis ($p > 0,05$) avaliadas. Com relação à produtividade do sistema no primeiro ciclo, as variáveis MF-Total e MS-Total foram significativas ($p < 0,05$). A MF-Total foi maior no tratamento OEM-S ($322,59 \text{ Mg ha}^{-1}$), representando um aumento de cerca de 102,13% em relação ao MIU-S ($159,59 \text{ Mg ha}^{-1}$). Já a MS-Total apresentou maior produtividade na configuração OEM-FG/S, enquanto o MIU-S obteve novamente a menor produtividade, com uma redução aproximada de 43,22%.

A produtividade da palma forrageira no segundo ciclo do experimento não expressou variação significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos analisados. Durante o ciclo planta do sorgo híbrido, não houve diferenciação estatística significativa ($p > 0,05$) em nenhuma variável de produtividade, indicando que a rotação não influenciou o desenvolvimento das plantas. Esse comportamento também foi observado no ciclo de rebrota, exceto para a produtividade de matéria fresca do sorgo (MF-Sorgo), que apresentou maior produtividade nos tratamentos anteriormente ocupados pelo consórcio palma/feijão-guandu no primeiro ciclo do estudo. A MF-Sorgo foi maior no tratamento MIU-FG/S ($13,22 \text{ Mg ha}^{-1}$), embora não diferisse estatisticamente pelo teste de Tukey dos tratamentos MIU-S ($8,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) e OEM-FG/S ($8,39 \text{ Mg ha}^{-1}$), os quais também não diferiram do tratamento OEM-S ($7,12 \text{ Mg ha}^{-1}$), que foi o menos produtivo. Os tratamentos MIU-FG/S e OEM-FG/S produziram 37,97% ($5,02 \text{ Mg ha}^{-1}$) e 15,14% ($1,27 \text{ Mg ha}^{-1}$) a mais, respectivamente, em comparação com os tratamentos MIU-S e OEM-S, tratamentos previamente ocupados com o monocultivo dos clones de palma forrageira. Para a produtividade do sistema palma-sorgo, após a rotação dos consórcios, não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) nos parâmetros de Matéria Fresca Total (MF-Total) e Matéria Seca Total (MS-Total) para todos os tratamentos analisados.

4.3 ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA

A Figura 3 expressa o desempenho das taxas morfofisiológicas para a palma forrageira sob influência do consórcio com feijão-guandu no primeiro ciclo (a, c, e, g) e sorgo híbrido no segundo ciclo (b, d, f, h). A taxa de crescimento absoluto (TCA) máxima no primeiro ciclo (Fig. 3a) foi no tratamento MIU-S ($0,0149 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$) e o pior na OEM-FG/S ($0,0118 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), ou seja, o tratamento MIU-S foi 26,27% maior que tratamento OEM-FG/S. O pico do TCA no primeiro ciclo ocorreu aos 875 graus dias acumulados ($^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$). Na TCA máxima do segundo ciclo (Fig. 3b), o tratamento MIU-S foi melhor 82,84% do que o MIU-FG/S, 116,81% OEM-S e 96,00% do OEM-FG/S. Quando comparados os ciclos para a TCA máxima, percebe-se que o tratamento MIU-S se sobressaiu-se ao MIU-S, com $0,0245 \text{ Mg ha}^{-1}$ contra $0,0149 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ do primeiro ciclo, expressando um aumento de 64,43% em relação ao tratamento MIU-S. Além disso, o tratamento MIU-S no primeiro ciclo atingiu o pico máximo da TCA 43,66% mais rápido do que no segundo ciclo.

A taxa de crescimento relativo (TCR) segue uma tendência semelhante entre os tratamentos de cada ciclo e quando comparados os ciclos entre si (Figura 3). Observa-se que a TCR atinge seu pico no início do ciclo, seguida por uma queda significativa que posteriormente se estabiliza até o final de cada ciclo experimental, indicando uma ausência de crescimento relativo. No entanto, os tratamentos com os clones Miúda se sobressaíram-se aos tratamentos com clone Orelha de elefante mexicana nos dois ciclos estudados. Quando avaliados considerando a rotação do consórcio, os tratamentos que continham antes o sistema palma/feijão-guandu se sobressaíram-se sobre os tratamentos com palma forrageira exclusiva no primeiro ciclo. O tratamento MIU-S foi 4% menor que MIU-FG/S, enquanto o tratamento OEM-S foi 20% menor que o OEM-FG/S.

Na taxa de assimilação líquida (TAL) (Figura 3), expressou comportamento semelhante nos dois ciclos, porém o melhor tratamento quanto a TAL de maior magnitude no primeiro ciclo (Fig. 3a) foi MIU-S ($0,0056 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$), que foi 93,10% melhor que o pior em relação a TAL máxima OEM-FG/S ($0,0029 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$). No segundo ciclo os tratamentos com o clone OEM (i.e. OEM-S, e OEM-FG/S) (Fig. 3b) tiveram comportamento bastante semelhante quanto a magnitude máxima da TAL, porém tiveram desempenho pior que os tratamentos com o clone MIU que tiveram um pico mais acentuado da TAL $\sim 550 \text{ }^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$. A área do cladódio específica (ACE) na Figura 3 tiveram maior magnitude no início de cada ciclo e foram caindo com o passar dos dias até estabilizar próximo ao final de cada ciclo. Os tratamentos com MIU-FG/S e OEM-FG/S (Fig. 3a) foram os que desempenharam melhor no primeiro ciclo, com

6,9115 e 4,6246 ha Mg⁻¹ °Cdia⁻¹ respectivamente. Para o segundo ciclo os tratamentos MIU-FG/S e OEM-FG/S se destacaram com as maiores magnitudes quando comparadas com os tratamentos MIU-S e OEM-S.

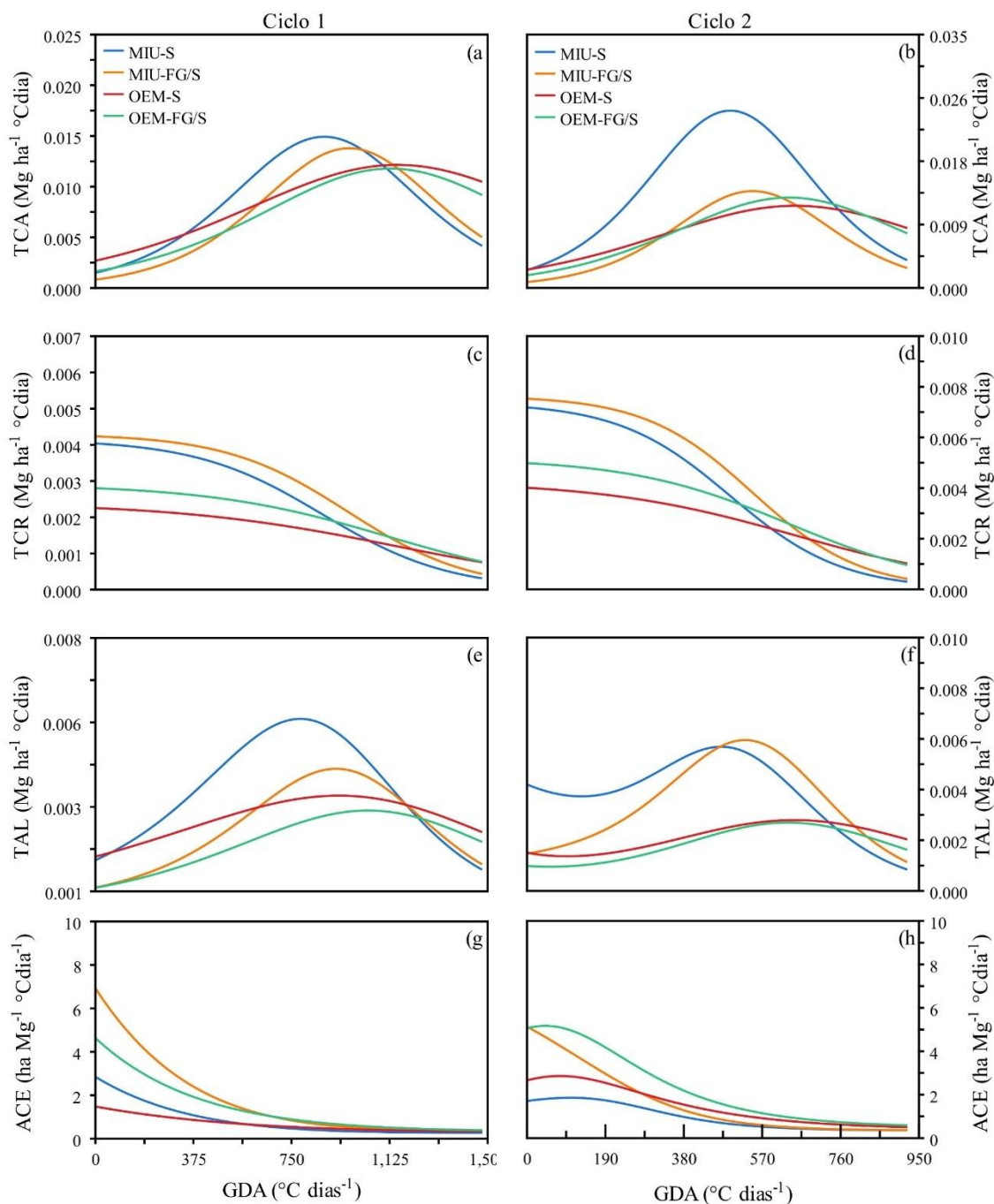


Figura 3. Taxas morfofisiológicas da palma forrageira cultivada em consórcio com feijão-guandu no ciclo 1 (a, c, e, g) e com sorgo híbrido no ciclo 2 (b, d, f, h), após rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.

4.4 FENOFASES DOS CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

Na Figura 4, são apresentadas as fenofases para os clones de palma forrageira sob influência de consórcio e rotação de cultura nos dois ciclos do estudo. Os tratamentos com o clone MIU no ciclo 1 (Fig. 4a e 4c) mostraram comportamentos diferentes quanto à quantidade de fenofases: o tratamento MIU-S apresentou uma fenofase a mais (6ª fenofase) que o tratamento MIU-FG/S. O tratamento MIU-S iniciou em 1041 GDA e finalizou a F5 aos 1344 °Cdia, enquanto o tratamento MIU-FG/S iniciou a F5 mais cedo (1005 °Cdia), mas não expressou a F6, permanecendo na F5 até o final do ciclo. Já os tratamentos com o clone OEM no primeiro ciclo (Fig. 4e e 4g) desenvolveram F2, F3 e F4 de forma similar. Entretanto, a F2 teve um pico maior (~80 a 90 °Cdia) nos dois tratamentos (i. e. OEM-S e OEM-FG/S) que se sobressaiu sobre as fenofases posteriores. A duração da F2 foi mais curta no tratamento OEM-FG/S (133 GDA) comparado ao tratamento OEM-S (229 °Cdia). A fase F3 do tratamento OEM-FG/S encerrou 20 °Cdia depois do tratamento OEM-S. A 6ª fenofase teve períodos de duração semelhantes para os dois tratamentos.

A respeito do segundo ciclo (Fig. 4b, 4d, 4f e 4h), é expresso os tratamentos após a rotação de consórcios (i. e. palma-sorgo). Os tratamentos referentes ao clone MIU (MIU-Sorgo (Fig. 4b) e MIU-FG/S (Fig. 4d)), alcançaram quantidades de fenofases diferentes, mais precisamente o tratamento MIU-S teve uma fenofase a mais (F5, início em 1005 °Cdia) do que o tratamento MIU-FG/S que estendeu a F4, pois as F2 e F3 tem períodos muitos semelhantes para os dois tratamentos, mas não em termos de magnitude na taxa de emissão de cladódios (unid. °Cdia⁻¹). A emissão dos cladódios teve maior magnitude no tratamento MIU-S nas F2 (0,0785 unid. °Cdia⁻¹) e F3 (0,1390 unid. °Cdia⁻¹), além da F5 que só aconteceu apenas no mesmo quando comparado aos outros tratamentos. A F4 expressou maior magnitude de emissão de cladódios no tratamento OEM-S (0,0151 unid. °Cdia⁻¹), sendo 12.69% maior que o MIU-S e 16.15% maior que o MIU-FG/S. Avaliando os tratamentos com o clone OEM entre si, o tratamento OEM-S apresentou uma fenofase a mais (F4) que o tratamento OEM-FG/S, entretanto o pico máximo da taxa de emissão de cladódios foi na F2 (0,0751 unid. °Cdia⁻¹) e F3 (0,0128 unid. °Cdia⁻¹) do tratamento OEM-FG/S, 4.22% e 51.30%, respectivamente.

Com relação a rotação de consórcio, verificou-se que as fenofases foram iguais apenas no tratamento OEM-S (Fig. 4e e 4f), entretanto a magnitude referente a taxa de emissão de cladódios foi maior na F2 e F3 no OEM-S, enquanto na F4 foi no OEM-S, tendo iniciado 323 °Cdia mais cedo que no ciclo anterior. Os outros tratamentos no primeiro ciclo alcançaram uma fenofase a mais que o tratamento referente ao ciclo posterior. Além disso, o OEM-FG/S (Fig.

4h) foi o tratamento que alcançou a menor quantidade de fenofases do estudo, sendo o final da F2 maior 393 °Cdia que no tratamento do ciclo anterior (OEM-FG/S, Fig. 4h). Em termos de magnitudes, os tratamentos MIU-FG/S, OEM-S e OEM-FG/S referentes a rotação do consórcio (Fig. 4b, 4d e 4h) na F2, foram menores 91,79, 91,62 e 88,97% do que os tratamentos MIU-FG/S, OEM-S e OEM-FG/S (Fig. 4c, 4e e 4g), respectivamente.

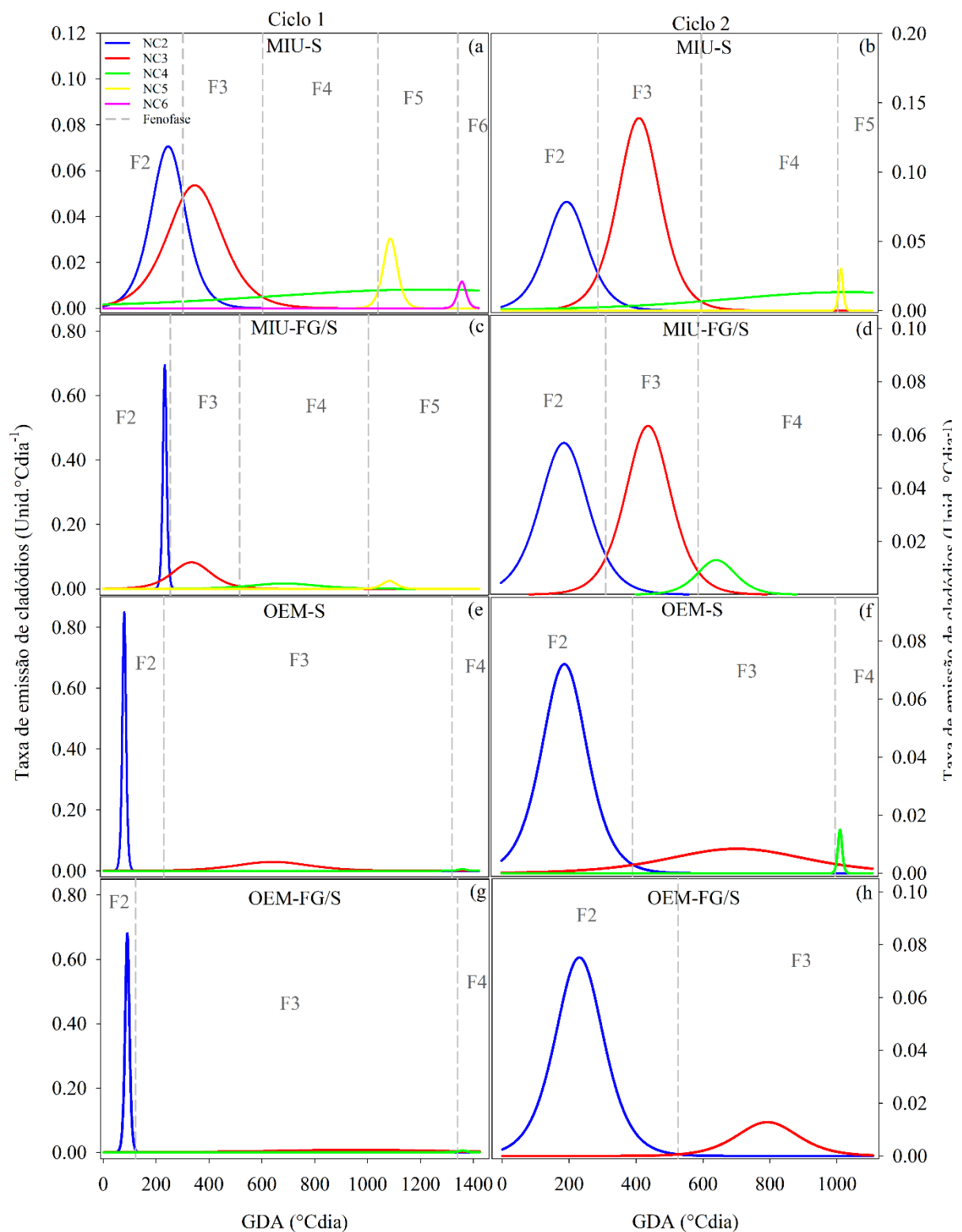


Figura 4. Fenofase vegetativa da palma forrageira cultivada em consórcio com feijão-guandu no ciclo 1 (a, c, e, g), e com sorgo híbrido no ciclo 2 (b, d, f, h), após rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.

4.5 ÍNDICES HÍDRICOS E MARGEM DE LUCRO DOS SISTEMAS

Na Tabela 8, são apresentados os índices hídricos e de rentabilidade para os dois sistemas de cultivos referentes aos consórcios palma-feijão-guandu e, após a rotação, palma-sorgo híbrido. No primeiro ciclo, a precipitação acumulada foi de 5808.0 m³ e a irrigação totalizou 11297.9 m³. A receita (RE) gerada pela venda destinada à forragem foi superior no cultivo OEM-FG/S (US\$ 11.028,44), seguida por OEM-S (US\$ 9.815,15), MIU-FG/S (US\$ 7.209,16) e MIU-S (US\$ 4.855,92). Os custos variáveis (CV) e fixos (CF) variaram apenas nos consórcios, pois são considerados os custos das duas culturas. O CV foi de US\$ 1.624,15 para tratamentos exclusivos e de US\$ 1.649,95 para tratamentos consorciados. O CF foi de US\$ 2.896,22 para tratamentos sem consórcio e de US\$ 2.964,91 para tratamentos consorciados. Os custos de oportunidade (CO), que levam em consideração a venda dos cladódios da palma para semente (plantio), mostraram que o clone MIU, em ambos os tratamentos (MIU-S e MIU-FG/S), foi significativamente melhor do que os tratamentos com o clone OEM. A configuração OEM-FG/S apresentou os melhores resultados para as margens bruta e líquida (MB e ML), sendo 190,20% melhor para a MB quando comparada com o tratamento MIU-S, e 1811,41% melhor para a ML.

No primeiro ciclo (Tabela 7), os tratamentos OEM-FG/S e OEM-S mostraram maior eficiência nos seguintes índices: WP_c (1,37 e 1,18 kg m³), WP_I (2,07 e 1,79 kg m³), $GEWP_I$ (0,83 e 0,73 US\$ m³) e $NEWP_I$ (0,57 e 0,47 US\$ m³). Em compensação, os tratamentos com o clone MIU foram mais eficientes nos índices EWP_c e EWP_I . O índice EWP_c no tratamento MIU-S foi 97,97% mais eficiente que no tratamento OEM-FG/S, enquanto o índice EWP_I foi 98,21% mais eficiente no tratamento MIU-S em comparação ao tratamento OEM-FG/S.

Tabela 7. Rentabilidade e otimização do uso da água através de indicadores hídricos para os diferentes ciclos nos sistemas de cultivos, Serra Talhada, PE.

Ciclo 1							
Tratamentos	P	I	RE	CV	CF	CO	MB
MIU-S	5808,0	11297,9	4855,92	1624,15	2896,22	50202,84	3231,77
MIU-FG/S	5808,0	11297,9	7209,16	1649,95	2964,91	44421,91	5559,22
OEM-S	5808,0	11297,9	9815,15	1624,15	2896,22	33164,30	8191,00
OEM-FG/S	5808,0	11297,9	11028,44	1649,95	2964,91	25253,55	9378,50
Tratamentos	ML	*WP _c	WP _i	GEWP _i	NEWP _i	EWP _c	EWP _i
MIU-S	335,56	0,78	1,18	0,29	0,03	2,93	4,44
MIU-FG/S	2594,30	1,04	1,57	0,49	0,23	2,60	3,93
OEM-S	5294,78	1,18	1,79	0,73	0,47	1,94	2,94
OEM-FG/S	6413,59	1,37	2,07	0,83	0,57	1,48	2,24
Ciclo 2							
Tratamentos	P	I	RE	CV	CF	CO	MB
MIU-S	6156,3	7731,6	3964,27	1319,03	61,48	44362,75	2645,25
MIU-FG/S	6156,3	7731,6	2755,44	1319,03	61,48	24019,61	1436,41
OEM-S	6156,3	7731,6	4537,93	1319,03	61,48	17156,86	3218,91
OEM-FG/S	6156,3	7731,6	4285,44	1319,03	61,48	17156,86	2966,41
Tratamentos	ML	*WP _c	WP _i	GEWP _i	NEWP _i	EWP _c	EWP _i
MIU-S	2583,77	1,25	2,24	0,34	0,33	3,19	5,74
MIU-FG/S	1374,93	0,98	1,76	0,19	0,18	1,73	3,11
OEM-S	3157,43	1,11	1,99	0,42	0,41	1,24	2,22
OEM-FG/S	2904,93	1,00	1,79	0,38	0,38	1,24	2,22
Total							
Tratamentos	P	I	RE	CV	CF	CO	MB
MIU-S	11964,3	19029,5	8820,20	2943,18	2957,70	94565,58	5877,02
MIU-FG/S	11964,3	19029,5	9964,60	2968,97	3026,39	68441,51	6995,63
OEM-S	11964,3	19029,5	14353,09	2943,18	2957,70	50321,16	11409,91
OEM-FG/S	11964,3	19029,5	15313,88	2968,97	3026,39	42410,41	12344,91
Tratamentos	ML	*WP _c	WP _i	GEWP _i	NEWP _i	EWP _c	EWP _i
MIU-S	2919,32	0,99	1,61	0,31	0,15	3,05	4,97
MIU-FG/S	3969,23	1,01	1,65	0,37	0,21	2,21	3,60
OEM-S	8452,21	1,15	1,87	0,60	0,44	1,62	2,64
OEM-FG/S	9318,52	1,20	1,96	0,65	0,49	1,37	2,23

MIU-FG/S: Palma Miúda com rotação Feijão-guandu/Sorgo; MIU-S: Palma Miúda sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-FG/S: Palma Orelha de Elefante mexicana com rotação Feijão-guandu/Sorgo; OEM-S: Palma Orelha de Elefante mexicana sem rotação Feijão-guandu/Sorgo; P: precipitação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$); I: irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Variáveis dependentes: RE: receita ($\text{US\$ ha}^{-1}$), CV: custos variáveis ($\text{US\$ ha}^{-1}$), CF: custos fixos ($\text{US\$ ha}^{-1}$), CO: custos de oportunidade ($\text{US\$ ha}^{-1}$), MB: margem bruta ($\text{US\$ ha}^{-1}$), ML: margem líquida ($\text{US\$ ha}^{-1}$). US dollar value: US\$ 4.93 (Ciclo 1); US dollar value: US\$ 6.12 (Ciclo 2). *WP_c (kg m^3), WP_i (kg m^3), GEWP_i ($\text{US\$ m}^3$), NEWP_i ($\text{US\$ m}^3$), EWP_c ($\text{US\$ m}^3$), EWP_i ($\text{US\$ m}^3$).

No segundo ciclo, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 6.156,3 m^3 , enquanto a irrigação totalizou 7.731,6 m^3 . A receita operacional líquida (RE) do tratamento OEM-S foi

a mais expressiva, atingindo US\$ 4.537,93. Comparada aos outros tratamentos, a RE da OEM-S foi aproximadamente 14,47% maior que a do MIU-S, 64,66% maior que a do MIU-FG/S e 5,90% maior que a do OEM-FG/S. Devido ao segundo ciclo ser considerado apenas a implantação da cultura da rotação, o custo fixo (CF) foi de US\$ 61,48 para todos os tratamentos. Já o custo variável (CV) foi de US\$ 1.319,03 para todos os tratamentos. Em relação aos custos operacionais (CO), o tratamento MIU-S apresentou o valor mais alto, totalizando US\$ 44.362,75, enquanto os tratamentos OEM-S e OEM-FG/S tiveram os menores valores, ambos com US\$ 17.156,86. O custo operacional do MIU-S foi 64,66% maior que o do OEM-S. As margens bruta e líquida do segundo ciclo foram mais significativas no tratamento OEM-S. Em termos de margem bruta (MB), o tratamento OEM-S foi 21,67% maior que o MIU-S, 124,16% maior que o MIU-FG/S e 8,50% maior que o OEM-FG/S. Quanto à margem líquida (ML), a OEM-S foi 22,17% maior que a do MIU-S, 129,68% maior que a do MIU-FG/S e 8,70% maior que a do OEM-FG/S.

Os índices hídricos $*WP_c$ e WP_I foram mais eficientes para o tratamento MIU-S (1.25 e 2.24 kg m³, respectivamente), enquanto o menos eficiente foi o MIU-FG/S (0.98 e 1.76 kg m³, respectivamente). Por outro lado, o $GEWP_I$ e o $NEWP_I$ foram mais eficientes no tratamento OEM-S, sendo 23,53% maior que o MIU-S, 121,05% maior que o MIU-FG/S e 10,53% maior que o OEM-FG/S em termos de $GEWP_I$. Em relação ao $NEWP_I$, o OEM-S foi 24,24% mais eficiente que o MIU-S, 127,78% mais eficiente que o MIU-FG/S e 7,89% mais eficiente que o OEM-FG/S. Quanto aos indicadores EWP_c e EWP_I , o MIU-S apresentou uma eficiência 84,39% maior que o MIU-FG/S e 157,26% maior que o OEM-S e OEM-FG/S para o EWP_c , enquanto para o EWP_I foi 84,57% mais eficiente que o MIU-FG/S e 158,56% mais eficiente que o OEM-S e OEM-FG/S.

Avaliando o desempenho dos indicadores hídricos e de rentabilidade após a rotação do consórcio (ou seja, do ciclo 1 para o ciclo 2), observou-se que a entrada de água no sistema via precipitação foi 6% maior, enquanto a irrigação foi 32% menor. As receitas diminuiram 18% para o MIU-S, 62% para o MIU-FG/S, 54% para o OEM-S e 61% para o OEM-FG/S. Por outro lado, os CV caíram 19%, os CF 98% e os CO 12% para o MIU-S, 46% para o MIU-FG/S, 48% para o OEM-S e 32% para o OEM-FG/S. Também houve redução nas margens bruta e líquida após a rotação de cultura. A MB reduziu 18% para o MIU-S, 74% para o MIU-FG/S, 61% para o OEM-S e 68% para o OEM-FG/S. Um comportamento similar foi notado na ML, com reduções de 89% para o MIU-FG/S, 68% para o OEM-Sorgo e 121% para o OEM-FG/S. Entretanto, o tratamento MIU-S teve um aumento de 670% na margem líquida no ciclo 2

quando comparado ao ciclo 1. O impacto da rotação de consórcio sobre os índices hídricos (*WP_c, WP_i, GEWP_i, NEWP_i, EWP_c e EWP_i) foi mais significativo para o tratamento MIU-S. Comparado com o tratamento de pior eficiência, OEM-FG/S, o MIU-S foi mais eficiente em 61%, 90%, 20%, 1025%, 9% e 29%, respectivamente.

Quanto ao desempenho dos indicadores no período total do experimento, o CF e CV foram maiores nos tratamentos em que houve a rotação de cultura. Com relação ao desempenho total dos outros indicadores, observa-se que o tratamento OEM-FG/S foi mais eficiente no uso dos recursos hídricos e econômicos (*WP_c, WP_i, GEWP_i e NEWP_i) gerando maior RE, MB e ML. Contudo, os tratamentos com o clone MIU, mais especificamente o MIU-S, apresentou maior CO e consequentemente maiores EWP_c e EWP_i.

4.6 BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS SISTEMAS

Na Figura 5, são apresentados os valores da relação benefício/custo para os sistemas consorciados dos dois ciclos. No primeiro ciclo, que corresponde aos sistemas de cultivo de palma forrageira exclusiva e consorciada com feijão-guandu (MIU-S, MIU-FG/S, OEM-S e OEM-FG/S), todos os tratamentos apresentaram viabilidade econômica ($B/C > 1,00$), com valores de 1,07, 1,56, 2,17 e 2,39, respectivamente. Isso significa que, para cada US\$ 1,00 investido, o retorno econômico foi de US\$ 1,07, US\$ 1,56, US\$ 2,17 e US\$ 2,39, nesta ordem. Nota-se que os tratamentos com o clone OEM se sobressaiu-se sobre os tratamentos com clone MIU, indicando que o seu plantio proporciona melhor rentabilidade em relação ao clone MIU. Além disso, os tratamentos com feijão-guandu (MIU-FG/S e OEM-FG/S) apresentaram melhor resultados quando a comparação foi entre os tratamentos com o mesmo clone em monocultura (MIU-S e OEM-S).

No segundo ciclo, a viabilidade econômica ($B/C > 1,00$) também foi observada em todas as configurações avaliadas. Mais especificamente, a cada US\$ 1,00 investido, o retorno econômico foi de US\$ 2,87 para MIU-S, US\$ 2,00 para MIU-FG/S, US\$ 3,29 para OEM-S e US\$ 3,10 para OEM-FG/S. Observa-se comportamento semelhante ao ciclo anterior, em que os tratamentos com o clone OEM se destacaram em relação aos tratamentos com o clone MIU, indicando que o plantio do clone OEM proporciona melhor rentabilidade.

Comparando diretamente o primeiro ciclo com o segundo, houve aumento das margens de lucro em 167% para MIU-S, 28% para MIU-FG/S, 51% para OEM-S e 30% para OEM-FG/S.

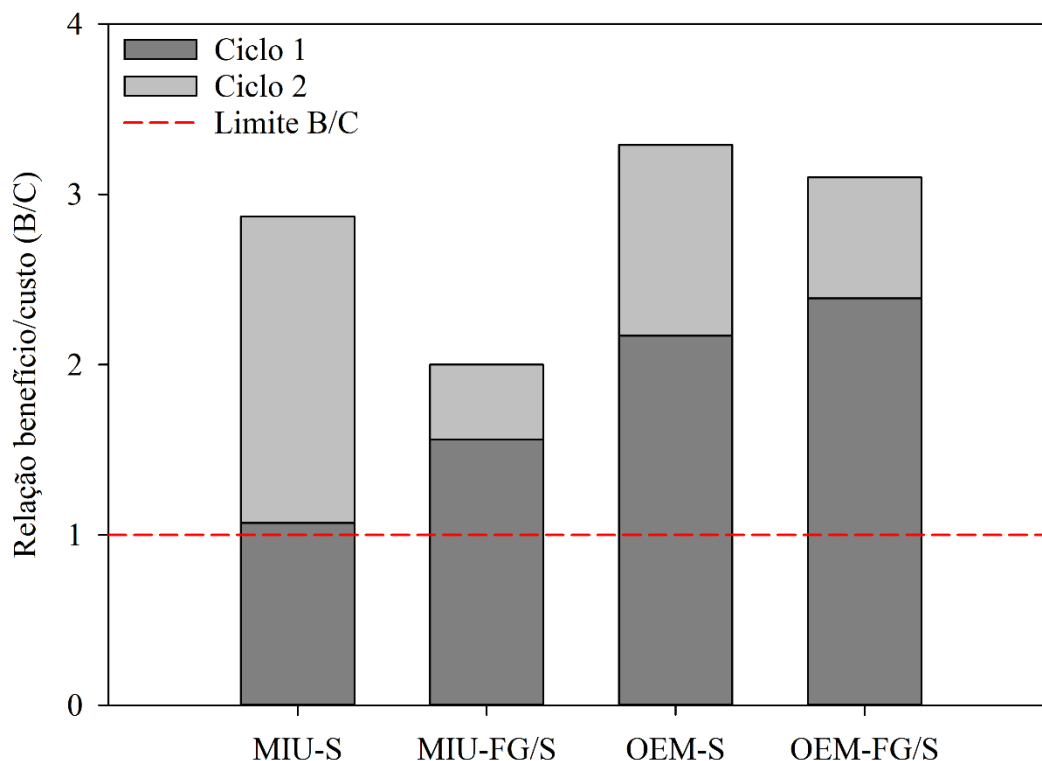


Figura 5. Relação benefício/custo dos dois ciclos de palma forrageira em sistema consorciado com leguminosas e gramíneas após a rotação de culturas, Serra Talhada, PE, Brasil.

5 DISCUSSÃO

5.1 VARIÁVEIS DE CRESCIMENTO

As variáveis de crescimento da palma e dos cladódios (Tabela 2) apresentaram várias características estatisticamente significativas ($p > 0,05$), isso se deve principalmente às diferenças morfológicas observadas nos dois clones estudados. Os resultados estão relacionados às características intrínsecas aos gêneros (*Nopalea* e *Opuntia*) e clones, indo desde variáveis como hábito de crescimento, tamanho, forma e número de cladódios (Araújo Júnior *et al.*, 2024; Dubeux *et al.*, 2021; Jardim *et al.*, 2023). Apesar do clone MIU apresentar mais cladódios de ordens superiores (terceira, quarta e ordens superiores), a área fotossintética desses cladódios é inferior à dos outros clones (Araújo Júnior *et al.*, 2024). Por outro lado, o clone OEM apresenta maior número de cladódios de primeira e segunda ordem, além de maiores áreas fotossintéticas do que os cladódios do clone MIU (Araújo Júnior *et al.*, 2024). Além disso, se caracteriza por possuir maiores características morfológicas de crescimento, largura e área dos cladódios de ordens inferiores (Silva *et al.*, 2015).

Quanto às características morfológicas de crescimento dos clones de palma forrageira sob consórcio com sorgo após a rotação de cultura (Tabela 3), não houve influência nas características de crescimentos da planta como AL, LP, NTC e NC por ordem de surgimento, quanto a aplicação dos tratamentos, entretanto algumas variáveis morfológicas de crescimento dos cladódios apresentaram efeito positivo. Como no segundo ciclo todos os tratamentos continham consórcio com o sorgo, logo o comportamento observado pode indicar que as características intrínsecas dos clones se sobressaíram sobre a influência da rotação de consórcio. (Silva *et al.*, 2015) em estudos com clones do gênero *Nopalea* e *Opuntia*, observou que o clone OEM do gênero *Opuntia* expressou maior desenvolvimento das características de crescimento dos cladódios de ordem inferiores quando comparado a MIU (*Nopalea*), que por sua vez se caracterizou mais com a maior emissão e desenvolvimento dos cladódios de ordem superiores.

O feijão-guandu quando submetidos aos sistemas consorciados (Tabela 4) com os diferentes clones de palma forrageira, não teve suas características de crescimento afetadas pelo consórcio, tanto no ciclo vegetativo quanto na rebrota. Uma das vantagens do consórcio está relacionada à habilidade biológica das plantas para se ajustarem a um novo ambiente de cultivo e à sua aptidão para disputar recursos naturais, especialmente água, luz e nutrientes (Diniz *et al.*, 2017). O feijão-guandu possui sistema radicular ramificado e profundo, que confere a planta alto potencial de ajuste osmótico em condições com baixa disponibilidade hídrica, além de atuar na restauração da química de solos degradados por meio da solubilização do fosforo e FBN pela simbiose com *Rhizobium* (Araújo Júnior *et al.*, 2023). Essas características podem permitir que o feijão-guandu não seja impactado pela competição com outras culturas no consórcio pelo uso dos recursos naturais, resultando na manutenção de seu crescimento normal.

As variáveis de crescimento do sorgo não apresentaram nenhuma alteração estatisticamente significativa ($p < 0,05$) quanto a rotação de cultura e nem sobre a influência do consórcio com a palma forrageira (Tabela 5). Um dos possíveis motivos para não haver impacto do consórcio sobre a variáveis de crescimento do sorgo deve-se ao metabolismo fotossintético diferente entre as culturas. A palma forrageira possui metabolismo MAC que lhe proporciona uma maior eficiência no uso da água ao realizar as trocas gasosas no período noturno, permitindo que ela possa persistir por mais tempo sobre déficit hídrico (Scalisi *et al.*, 2016). Em contrapartida o sorgo, possui mecanismo fotossintético C4 que atua durante o dia, consequentemente reduzindo a competição para que ambas as espécies se beneficiem (Salvador *et al.*, 2024). Além disso, o sorgo possui a capacidade de se adaptar, ajustando suas características para sobreviver em condições de escassez de água (Lima *et al.*, 2018; Santos *et*

al., 2020). A rusticidade e capacidade de adaptação a ambientes com condições limitante de desenvolvimento continuam sendo uma das principais características do sorgo (Nascimento *et al.*, 2008).

5.2 RENDIMENTO DE FORRAGEM

Com relação a produtividade da palma no primeiro ciclo (Tabela 6), a MF-Palma foi maior nos tratamentos com o clone OEM, pois à alta produtividade dos clones do gênero *Opuntia* estar associada à maior área dos cladódios que possibilita um elevado acúmulo de água e uma maior área fotossintética dos cladódios (Silva *et al.*, 2015), que possibilita maior acúmulo de água, bem como sua eficiência no uso da água (García-Nava *et al.*, 2015; Moraes *et al.*, 2017) e maior taxa de acúmulo de forragem (Rocha; Voltolini; Gava, 2017). A MF-Total do tratamento OEM-S foi maior em relação aos outros tratamentos devido a menor competição interespecífica. Submeter a palma forrageira ao cultivo consorciado com outra cultura, embora melhore o aproveitamento dos recursos naturais (água, terra, radiação e nutrientes), reduz a produtividade individual da palma (Diniz *et al.*, 2017; Jardim *et al.*, 2021b). Já para MS-Total ainda no primeiro ciclo, o tratamento OEM-FG/S expressou maior produtividade. Isto deve-se ao consórcio, pois a palma mesmo possuindo em média apenas 10% de matéria seca, quando associada com o feijão-guandu, a produção de matéria seca é maior por causa da alta concentração de matéria seca presente no feijão-guandu. Segundo Diniz *et al.* (2017), prática de manejo como sistemas consorciados potencializa a produtividade das culturas em comparação com cultivos em monocultura devido ao aumento da eficiência no uso da terra, aumento na disponibilidade de recursos e complementariedade temporal e espacial.

Após a rotação de cultura o rendimento de MF-Palma e MS-Palma foi menor em relação ao primeiro ciclo. Além disso, não houve variação significativa ($p > 0,05$) para os tratamentos analisadas no segundo ciclo. Um dos possíveis motivos para a redução da produtividade do sistema pode ter sido devido ao período menor do segundo ciclo, além disso a irrigação aplicada no primeiro ciclo da palma foi 32% maior do que no segundo ciclo. A irrigação com água moderadamente salobra é considerada uma boa alternativa para a produção de palma forrageiras em regiões semiáridas tropical, aumentando a oferta de forragem para a pecuária (Bezerra *et al.*, 2024).

A produtividade do sorgo (Tabela 6) não foi impactada pela rotação dos consórcios durante o ciclo planta em nenhuma das variáveis produtivas. Contudo, na fase de rebrota, a produtividade de massa fresca do sorgo (MF-Sorgo) apresentou uma variação significativa (p

< 0,05) em relação à rotação adotada. O tratamento MIU-FG/S registrou uma produtividade superior aos demais tratamentos, além disso, todos os tratamentos tiveram aumento de produtividade em relação ao ciclo vegetativo. Isto ocorreu devido ao maior desenvolvimento do sistema radicular da planta na rebrota, tendo em vista que o sorgo mantém vivo o sistema radicular após o corte, conferindo a planta capacidade de perfilhamento (Rezende *et al.*, 2011). As gramíneas que se desenvolvem em consorciação com leguminosas aproveitam o N fixado de forma simbiótica, sendo que as raízes em decomposição das leguminosas são provavelmente a principal via de transferência desse nutriente (Villegas *et al.*, 2020), situação essa que ocorreu durante o estudo após a colheita do feijão-guandu, o troco foi cortado acima do solo, deixando todo o material do sistema radicular. O fornecimento de nitrogênio em quantidades adequadas, incrementa a área foliar das plantas, aumenta teores de clorofila nas folhas, tornando-as mais eficientes na interceptação da radiação solar, refletindo, conseqüentemente, em maior acúmulo de massa da parte aérea (Goes *et al.*, 2011; Oresca *et al.*, 2021).

A respeito da produtividade dos sistemas consorciados palma-sorgo para o segundo ciclo, observa-se que não houve variação significativa para nenhum dos tratamentos analisados. O uso de sistemas consorciados entre culturas aumenta a produção quando comparado a sistemas isolados, devido à maior eficiência no uso da terra, à maior disponibilidade de recursos e à complementaridade espacial e temporal (Diniz *et al.*, 2017). Entretanto, Alves *et al.* (2022) e Jardim *et al.* (2021) mencionaram que o consórcio palma-sorgo resultou em aumento da matéria seca apenas quando as produtividades das duas espécies foram somadas, suprimindo a falta de produção de MS no cacto forrageiro.

5.3 ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA

De modo geral, a taxa de crescimento absoluto (TCA) representa a velocidade da planta em acumular matéria seca, tanto no espaço quanto no tempo (por unidade de área e no tempo) (Nunes *et al.*, 2020; Rees *et al.*, 2010). A maior magnitude alcançada pela clones avaliados nos diferentes ciclos foi no tratamento com clone MIU nas configurações. O comportamento dos clones estudados foram diferentes do estudo de Araújo Júnior *et al.* (2021), em que o clone OEM se sobressaiu-se sobre o clone MIU para a TCA. Entretanto, a palma miúda, possui emissão de cladódios mais rápida, maior valor nutritivo que o dos demais genótipos e apresenta maiores teores de matéria seca (MS) (Cavalcante *et al.*, 2014). Além disso, o clone MIU apresenta maior taxa inicial de brotação, gerando ganho mais rápido de biomassa em comparação outras variedades de palma forrageira (Pinheiro *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2014).

A taxa de crescimento relativo (TCR) refere-se ao aumento da matéria seca da planta por unidade de tempo, com base em uma quantidade pré-existente de matéria seca (Araújo Júnior *et al.*, 2021). O comportamento da TCR durante os dois ciclos experimentais foi semelhante, em que os altos valores encontrados para todos os tratamentos foram no início de cada ciclo. Esse processo é impulsionado pela fase de crescimento e desenvolvimento celular, bem como pela formação de novos tecidos, promovendo a expansão da área foliar da palma forrageira (Jardim, *et al.*, 2021). A redução observada ao longo dos ciclos está ligada ao desenvolvimento das plantas e é resultado de uma combinação de fatores, como o acúmulo de biomassa não fotossintética, sombreamento excessivo, envelhecimento e renovação dos tecidos, além da diminuição na absorção de nutrientes (Araújo Júnior *et al.*, 2021).

A taxa de assimilação líquida (TAL) indica a relação entre a área foliar e a produção de matéria seca na planta, refletindo a eficiência fotossintética das folhas, que no caso dos cladódios de palma forrageira, se refere à eficiência fotossintética dos cladódios. (Araújo Júnior *et al.*, 2021; Queiroz *et al.*, 2015). O clone MIU sobressaiu-se novamente sobre o clone OEM nos dois ciclos, agora para TAL. Este comportamento foi diferente do encontrado no estudo de Araújo Júnior *et al.* (2021) que observou maiores valores para o clone OEM. Por outro lado, a redução da TAL observada ao longo dos dois ciclos para todos os clones, deve-se ao aumento do índice de área dos cladódios, que consequentemente resulta em sombreamento próprio (Araújo Júnior, *et al.*, 2021).

O desenvolvimento da área específica do cladódio (ACE) mostra a relação entre o rendimento de matéria seca (MS) e o índice de área do cladódio, garantindo que a matéria seca se acumule em órgãos capazes de realizar a fotossíntese (Queiroz *et al.*, 2015). Esse índice é particular a cada espécie; no entanto, plantas da mesma espécie podem apresentar variações (Ali *et al.*, 2017). O ACE foi maior no início dos ciclos e depois foi reduzindo até alcançar a estabilidade próximo ao final de cada ciclo. Segundo Salvador *et al.* (2024), esse comportamento já é esperado, até mesmo para o clone OEM que possui grande área de cladódio. Outra possibilidade é que em cultivos consorciados e com altas densidades de plantio, podem gerar redução na emissão de novos cladódios, bem como no seu desenvolvimento, resultado do alto nível de sombreamento (Salvador *et al.*, 2024). A respeito dos melhores tratamentos serem os consórcios no primeiro ciclo, pode ter acontecido por causa da competição entre plantas, pois neste cenário a palma aumenta a emissão de novas cladódios para possibilitar o acesso a radiação solar.

5.4 FENOFASES DOS CLONES DE PALMA FORRAGEIRA

Compreender as fases fenológicas da palma forrageira é fundamental para a tomada de decisões por parte dos produtores. É necessário considerar como as condições climáticas, o tipo de clone e o manejo da cultura, sejam eles sequeiro, irrigação e consórcio, influenciam os padrões fenológicos, pois esta compreensão é crucial para garantir a capacidade da cultura de fornecer alimento para os animais (Araújo Júnior, G. N. *et al.*, 2021).

No primeiro ciclo, a redução das fenofases foi observada apenas no tratamento consorciado de feijão-guandu com palma (MIU-FG/S), um comportamento que não foi visto nos tratamentos com clone OEM (OEM-S e OEM-FG/S). Após a rotação de cultura (ciclo 2), houve redução nas fenofases em três tratamentos: MIU-S, MIU-FG/S e OEM-FG/S. Isso pode ter ocorrido devido ao ciclo 2 ter um período de estudo menor em comparação ao ciclo 1, resultando em uma menor quantidade de graus dia acumulados entre os ciclos, o que não permitiu que as plantas alcançassem outras fenofases. Além disso, a competição interespecífica entre as culturas por recursos naturais pode alterar os padrões de emissão de novos cladódios de palma forrageira (Amorim *et al.*, 2017).

A respeito do comportamento fenológico do clone OEM, foi semelhante em plantas do mesmo gênero. A Fenofase 2 atingiu o pico máximo nos tratamentos ao longo dos ciclos. Esse comportamento indica uma menor emissão de cladódios de ordens superiores e uma concentração de fotoassimilados em cladódios inferiores, com o objetivo de aumentar a área fotossinteticamente ativa dos cladódios (Amorim *et al.*, 2017; Araújo Júnior, G. N. *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2024).

5.5 ÍNDICES HÍDRICOS E MARGEM DE LUCRO DOS SISTEMAS

As maiores receitas obtidas nos dois ciclos foram para os tratamentos OEM-FG/S (ciclo 1) e OEM-S (ciclo 2), com valores de US\$ 11.028,44 e US\$ 4.537,93, respectivamente. Contudo, a melhor eficiência em termos de rentabilidade foi observada nas configurações com o clone OEM em ambos os ciclos. Além disso, os sistemas consorciados foram mais eficientes do que o monocultivo no primeiro ciclo. Isso pode ser atribuído ao uso eficaz da água e dos nutrientes do solo pelo sistema consorciado, resultante do aumento na densidade das raízes e das variações no arranjo do sistema radicular das culturas consorciadas. Nesse sistema, a cobertura do solo pelo dossel das culturas ocorre mais cedo, reduzindo a evaporação do solo e aumentando a quantidade de água disponível para as plantas (Chimonyo; Modi; Mabhaudhi, 2016).

Após a rotação, os tratamentos que anteriormente incluíam feijão-guandu no primeiro ciclo tiveram sua eficiência hídrica e rentabilidade reduzidas em comparação aos outros dois tratamentos. Um dos fatores que contribuíram para a redução da eficiência hídrica e econômica foi a menor duração do segundo ciclo. Essa diminuição impactou diretamente a produtividade dos sistemas, além de resultar em uma menor entrada de água no sistema durante o segundo ciclo, correspondendo a uma redução de 18,82%. Além disso, a extração de nutrientes também pode ter sido um fator, uma vez que o consórcio rotativo com leguminosas aumenta a absorção de N, P e K (Chi *et al.*, 2019), em comparação ao consórcio tradicional, o que pode ter diminuído a absorção de nutrientes e água pelas plantas após a rotação, afetando seu desenvolvimento e, conseqüentemente, os indicadores.

O CF e CV maiores no período total do experimento tem a ver com o aumento de custos proporcionados pelo uso do consórcio, pois aumenta-se os custos quanto a implementação da cultura secundária. Com relação à maior eficiência do tratamento OEM-FG/S quanto aos indicadores hídricos e econômicos a diversos fatores. O OEM apresenta maior produtividade, capacidade de acúmulo de nutrientes e eficiência no uso da água em comparação ao clone MIU (Ferraz *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2014). Além disso, a utilização da leguminosa no primeiro ciclo pode ter contribuído para o aumento da fertilidade do solo, beneficiando as culturas no ciclo seguinte. As gramíneas absorvem o nitrogênio liberado pela decomposição das raízes das leguminosas (Villegas *et al.*, 2020). O suprimento adequado de nitrogênio melhora a área foliar, aumenta a clorofila e otimiza a captação de luz, resultando em maior acúmulo de biomassa (Goes *et al.*, 2011; Oresca *et al.*, 2021). Além do mais, o sorgo mantém vivo seu sistema radicular após o corte, favorecendo o perfilhamento (Rezende *et al.*, 2011). A utilização de sistemas consorciados também aumenta a eficiência no uso dos recursos naturais. O consórcio palma forrageira com sorgo é biologicamente vantajoso, competitivo e produtivo, otimizando o uso da terra e destacando a predominância da palma forrageira sobre o sorgo (Diniz *et al.*, 2017). O consórcio palma forrageira com sorgo apresentou elevada *WPc, WPI, GEWPI, NEWPI, EWPC e EWPI (Salvador *et al.*, 2025).

5.6 BENEFÍCIO ECONÔMICO DOS SISTEMAS

Os sistemas consorciados de palma/feijão-guandu e palma/sorgo nos primeiros e segundos ciclos demonstraram viabilidade econômica ($B/C > 1,00$) devido aos menores custos de implantação em comparação à receita gerada. A otimização no uso de recursos, como a irrigação, e a maior produção de forragem por área ocupada foram alcançadas pela presença

das duas culturas na mesma área, permitindo uma complementaridade de suas produtividades no espaço e no tempo. (Lima *et al.*, 2018), em sua pesquisa sobre o consórcio palma-sorgo, constataram que a rentabilidade é maior ao utilizar o sistema consorciado em vez do sistema exclusivo. Além disso, em sistemas de cultivo consorciado, há uma melhor utilização da área disponível, redução dos custos com insumos e tratos culturais, além de um aumento na receita líquida (Silva *et al.*, 2008).

Embora a produtividade do segundo ciclo tenha sido menor em comparação ao primeiro, resultando em uma diminuição das receitas, a rentabilidade do segundo ciclo foi maior. Isso ocorreu devido à redução significativa dos custos, uma vez que não houve gastos com a implantação da palma e sistema de irrigação. Verificou-se que a rotação de consórcio palma/leguminosa para palma/gramínea não aumentou diretamente a viabilidade em relação ao tratamento palma/exclusiva do ciclo anterior. Sob uma perspectiva de viabilidade econômica, (Conte *et al.*, 2020) defendem que a decisão de substituir rotacionar uma cultura por outra deve levar em conta não apenas a comparação direta da rentabilidade de cada cultura, mas também o potencial de aumentar a produtividade e reduzir os custos a médio e longo prazo, promovido pela maior diversificação das espécies vegetais.

Quanto a melhor resposta de viabilidade econômica ($B/C > 1,00$) dos tratamentos com o clone OEM em relação aos tratamentos com MIU. Isso ocorre devido à maior capacidade de adaptação e agressividade desse clone (Xavier *et al.*, 2020), que apresenta alta produção de matéria fresca por unidade de área, juntamente com menores taxas de mortalidade em comparação aos outros clones estudados (SILVA *et al.*, 2015).

6 CONCLUSÃO

A utilização de sistemas consorciados e da rotação de cultura com leguminosa não impactou as variáveis biométricas de nenhuma das culturas analisadas. Sendo que as variações observadas na palma forrageira dizem respeito mais às características intrínsecas a cada clone.

A produtividade individual da palma forrageira apresentou tendência de redução quando cultivada em sistemas consorciados, por outro lado, as das culturas secundárias permaneceram estáveis quando consorciadas com a palma. Enquanto a rotação de cultura incrementou somente a produtividade do sorgo em termos de massa fresca após o primeiro corte.

O clone MIU apresentou melhor desempenho em comparação ao OEM nas taxas de crescimento independente do sistema de cultivo. A rotação de cultura beneficiou os tratamentos subsequentes, especialmente na TCR e ACE. Com relação às fenofases, o clone MIU se

sobressaiu em relação à OEM com maior quantidade, contudo a redução de fenofases expressa no segundo ciclo deve-se à menor quantidade de GDA. No entanto, os tratamentos influenciados pela rotação de cultura apresentaram maior estabilidade.

A rotação de cultura não proporcionou incremento sobre a eficiência no uso dos recursos hídricos dos sistemas consorciados. Contudo, o clone OEM expressou maior eficiência no uso da água independente do manejo adotado. Os indicadores econômicos demonstraram que todos os sistemas avaliados são viáveis, sendo o clone OEM mais rentável para a produção de forragem e o clone MIU mostrou maior viabilidade econômica quando destinado à venda de sementes para plantio.

Em síntese, esse estudo oferece um ponto inicial para a otimização de sistemas agrícolas sustentáveis em regiões com restrições hídricas, reforçando a necessidade de equilíbrio entre produtividade, resiliência e retorno econômico. No entanto, futuros estudos são necessários para analisar a dinâmica dos nutrientes no solo e nas plantas, para compreender os processos fundamentais sobre a interação entre rotação de cultura utilizando leguminosas em sistemas consorciados com palma forrageira em ambientes semiáridos.

REFERÊNCIAS

ABLIMIT, R. *et al.* Altering microbial community for improving soil properties and agricultural sustainability during a 10-year maize-green manure intercropping in Northwest China. **Journal of Environmental Management**, v. 321, p. 115859, 2022.

AGUIAR, P. H. S.; LIMA, R. A. Fabaceae: importância ecológica do feijão guandu (*Canajus cajan* L.). **Educamazônia - Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 172–180, 2023. Disponível em: [//periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/11310](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/11310). Acesso em: 28 jan. 2025.

ALI, A. M. *et al.* Specific leaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 236, p. 162–174, 2017.

ALLEN, R. G. *et al.* Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALMEIDA, I. V. B.; SOUZA, J. T. A.; BATISTA, M. C. Melhoramento genético de plantas forrageiras xerófilas: Revisão. **Pubvet**, v. 13, n. 08, p. 1–11, 2019.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, C. P. *et al.* Agricultural resilience in intercropped forage cactus-sorghum cultivation in a semi-arid environment: A review | Resiliência agrícola no cultivo consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3932–3952, 2021.

ALVES, C. P. **Configurações, densidades e orientações de cultivos em sistemas bioassalinos de consórcios palma-sorgo**. 2021. 136 f. Dissertação - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2021.

ALVES, C. P. *et al.* How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. **Industrial Crops and Products**, v. 184, p. 115059, 2022.

ALVEY, S. *et al.* Cereal/legume rotation effects on rhizosphere bacterial community structure in west african soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, n. 2, p. 73–82, 2003.

AMORIM, D. M. *et al.* Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. *et al.* Growth Dynamic, Productivity, Evapotranspiration, and Water-Economic Indices of Forage Cactus under Different Irrigation Depths. **Agronomy**, v. 14, n. 4, p. 691, 2024.

ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. *et al.* Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. **European Journal of Agronomy**, v. 131, p. 126375, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. *et al.* Phenophases, morphophysiological indices and cutting time in clones of the forage cacti under controlled water regimes in a semiarid environment. **Journal of Arid Environments**, v. 190, p. 104510, 2021.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. *et al.* Use of Lower Quality Water in Irrigated Agriculture and Effects on Forages with Productive Potential in Semiarid Regions: a Review. **Environmental Processes**, v. 10, n. 3, p. 44, 2023.

BEZERRA, F. M. S. *et al.* Deficit Irrigation of Forage Cactus (*Opuntia stricta*) with Brackish Water: Impacts on Growth, Productivity, and Economic Viability under Evapotranspiration-Based Management. **Agronomy**, v. 14, n. 7, p. 1445, 2024.

BEZERRA, L. R. *et al.* Fortalecimento da agricultura familiar no Semiárido nordestino: A técnica de silagem para agricultores rurais da cidade de Itapetim-PE. **Caderno Impacto em Extensão**, v. 3, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.editora.ufcg.edu.br/index.php/cite/article/view/603>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CAVALCANTE, L. A. D. *et al.* Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424–433, 2014.

CAVALCANTI, F. J. de albuquerque. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a. aproximação**. 3. ed. Recife: IPA, 2008.

CHAMBERLAIN, L. A. *et al.* Crop rotation, but not cover crops, influenced soil bacterial community composition in a corn-soybean system in southern Wisconsin. **Applied Soil Ecology**, v. 154, p. 103603, 2020. Disponível em: Acesso em: 1 nov. 2023.

CHI, B. *et al.* Wide-strip intercropping of cotton and peanut combined with strip rotation increases crop productivity and economic returns. **Field Crops Research**, v. 243, p. 107617, 2019.

CHIMONYO, V. G. P.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Water use and productivity of a sorghum–cowpea–bottle gourd intercrop system. **Agricultural Water Management**, v. 165, p. 82–96, 2016.

CONTE, Osmar. *et al.* Manejo do solo. In: TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA. Londrina : Embrapa Soja, 2020. p. 53–80.

COSTA, S. A. T. *et al.* Técnicas hidricamente eficientes e modelagem: estratégias para a sustentabilidade e intensificação da agricultura frente às mudanças do clima em ambientes suscetíveis à desertificação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 4013–4034, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/250295>. Acesso em: 17 jun. 2023.

CRUZ, G. R. B. *et al.* Aspectos sanitários na produção de caprinos e ovinos de produtores familiares no semiárido. **Revista Conexão UEPG**, v. 15, n. 2, p. 129–134, 2019.

CRUZ, G. F. L. *et al.* Carcass traits and meat quality of goats fed with cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill) silage subjected to an intermittent water supply. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 855, 2023.

CUNHA, D. N. F. V. *et al.* Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1156–1165, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbspa/a/q7BS6V5wkBkbscKHRPfxKZz/?lang=pt#>. Acesso em: 26 out. 2024.

DANTAS, S. M. *et al.* Análise bromatológica do feijão guandu cultivado no semiárido para produção de forragens em diferentes tratamentos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 3, p. 381–390, 2021.

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

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

DUBEUX, J. C. B. *et al.* Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, p. 114890, 2021.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B. *et al.* Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 3, p. 357–372, 2006. Disponível em: Acesso em: 8 nov. 2023.

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

FERRAZ, R. L. S. *et al.* Variations in soil water replacement levels promote changes in forage cactus mineral composition and biomass productivity. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 15, n. 5, p. e2537, 2020.

GARCÍA-NAVA, F. *et al.* Biophysical and physiological characteristics of nopalitos (*Opuntia* spp., Cactaceae) as influenced by domestication. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 62, n. 6, p. 927–938, 2015.

GODDE, C. M. *et al.* Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. **Global Food Security**, v. 28, p. 100488, 2021.

GOES, R. J. *et al.* Fontes e Doses de Nitrogênio em Cobertura, no Sorgo Granífero na Safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 10, n. 2, p. 121–129, 2011.

GONÇALVES, M. B. *et al.* Produção de forragem e eficiência no uso do nitrogênio em capim-corrente. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 14, p. 1–9, 2022.

GUIMARÃES, F. S. *et al.* Consórcio Guandu-Milho-Braquiária para Integração Lavoura-Pecuária. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 22–27, 2017.

GURGEL, I. A.; NUNES, E. M. A dinâmica socioeconômica da pecuária do Rio Grande do Norte: análise da cadeia produtiva do leite do Território da Cidadania Sertão do Apodi. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 2, p. 59–76, 2019.

HARA, F. A. S. *et al.* Avaliação de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) em um solo de várzea no município de Autazes/AM. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e16511729865, 2022.

JARDIM, A. M. R. F. *et al.* Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 421–430, 2021a.

JARDIM, A. M. R. F. *et al.* Interação de agroecossistema consorciado com palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 069–087, 2020.

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

JARDIM, A. M. R. F. *et al.* Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 40, n. 2, p. 129–140, 2023.

JARDIM, A. M. da R. F. *et al.* Potencial produtivo da cultura do Sorghum bicolor (L.) Moench no semiárido brasileiro: revisão. **Pubvet**, v. 14, n. 04, p. 1–13, 2020.

JESUS, E. N. *et al.* Práticas agroecológicas & a sustentabilidade do semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 2, p. e69355, 2024.

KHATER, L. A. *et al.* Improvement of cool-season food legumes for adaptation to intercropping systems: breeding faba bean for intercropping with durum wheat as a case study. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 2024.

LIMA, L. R. *et al.* Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018.

MACÊDO, A. J. S. *et al.* Morphometric and productive characteristics of sorghum genotypes for forage production in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 19, n. 3, p. 256–267, 2018.

MARTINEZ, P.; GOMES, M. L. S.; MARINI, F. S. Public policies strengthen the relationship between family farming and food security in Brazilian schools – A case study of Paraíba state. **Heliyon**, v. 9, n. 10, p. e20482, 2023.

MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Excel**. 2025.

MIRANDA, K. R. *et al.* Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, 2019.

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

NASCIMENTO, A. D. L. *et al.* Potencialidades e limitações do uso da maniçoba como forragem: uma alternativa alimentar para mitigação dos efeitos da seca no semiárido. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 6, n. 2, p. 1956–1972, 2023.

NASCIMENTO, W. G. *et al.* Valor alimentício das silagens de milho e de sorgo e sua influência no desempenho de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 5, p. 896–904, 2008.

NUNES, J. da S. L. *et al.* Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídras na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, p. 128–139, 2020.

OKUNADE, S. O. *et al.* Climate Change, Land Degradation and Sustainable Development in Africa? Evidence for AfCFTA Implementation. **Sustainable Development**, 2025.

OLIVEIRA, R. G. *et al.* Desempenho produtivo e características de carcaça de ovinos mantidos em pastos de duas cultivares de capim-bufel manejados em três ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 17, n. 3, p. 374–384, 2016. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-99402016000300374&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 19 set. 2024.

OLIVEIRA, A. P. *et al.* Morfologia externa e qualidade de sementes crioulas de feijão-guandu oriundas do Vale do Jequitinhonha-MG. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 4, n. 3, p. 167–178, 2023.

ORESCA, D. *et al.* Desempenho agrônomico de sorgo forrageiro e milho cultivados sob irrigação com água salina e doses de nitrogênio no semiárido Brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e359101018976, 2021.

PACHECO-TREVIÑO, S.; MANZANO-CAMARILLO, M. G. F. Review of water scarcity assessments: Highlights of Mexico's water situation. **WIREs Water**, v. 11, n. 4, 2024.

PASTORELLI, G. *et al.* Opuntia spp. as Alternative Fodder for Sustainable Livestock Production. **Animals**, v. 12, n. 13, p. 1597, 2022.

PEREIRA, G. A. *et al.* Intake, nutrient digestibility, nitrogen balance, and microbial protein synthesis in sheep fed spineless-cactus silage and fresh spineless cactus. **Small Ruminant Research**, v. 194, p. 106293, 2021.

PEREIRA, R. C. G. *et al.* Modelo de Simulação AquaCrop na Determinação do Yield Gap do Milho e do Sorgo Forrageiro em Ambiente Semiárido: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 6, p. 3225–3245, 2023.

PESSOA, R. M. S. *et al.* Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e12111334257, 2022.

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

PINHEIRO, A. G. *et al.* Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2403–2426, 2021.

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

QUEIROZ, G. C. M. *et al.* Growth, Solute Accumulation, and Ion Distribution in Sweet Sorghum under Salt and Drought Stresses in a Brazilian Potiguar Semiarid Area. **Agriculture**, v. 13, n. 4, p. 803, 2023.

QUEIROZ, M. G. *et al.* Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **IRRIGA**, v. 1, n. 01, p. 141–154, 2018.

RAMOS, J. P. F. *et al.* Caracterização da base alimentar de caprinos e ovinos no Cariri paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 379–384, 2020.

REES, M. *et al.* Partitioning the Components of Relative Growth Rate: How Important Is Plant Size Variation?. **The American Naturalist**, v. 176, n. 6, p. E152–E161, 2010.

REZENDE, P. M. *et al.* Rendimento forrageiro da rebrota do sorgo em sistema de produção consorciado com soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 362–368, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119018545025>. Acesso em: 26 jan. 2025.

RIBEIRO, J. S. *et al.* Spineless cactus associated with Tifton hay or sugarcane bagasse may replace corn silage in sheep diets. **Tropical Animal Health and Production**, v. 49, n. 5, p. 995–1000, 2017.

RICHARDS, L. A. *et al.* **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Handbooked. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954. v. 60

ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 363–373, 2017.

SALVADOR, K. R. S. *et al.* Indicadores de eficiência biológica, habilidade competitiva e benefício econômico de sistemas de produção sustentável de forragem: Uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 6, p. 2730–2754, 2022.

SALVADOR, K. R. S. *et al.* Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2369–2390, 2021.

SALVADOR, K. R. S. *et al.* Intercropping impacts growth in the forage cactus, but complementarity affords greater productivity, competitive ability, biological efficiency and economic return. **Agricultural Systems**, v. 218, p. 103958, 2024.

SALVADOR, K. R. S. *et al.* Sustainable Intensification of Forage Cactus by Intercropping Increases Productivity, Profitability and Water Use Efficiency. **Irrigation and Drainage**, 2025.

SANTOS, N. S. *et al.* Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. e9452–e9452, 2020. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/9452>. Acesso em: 18 abr. 2025.

SANTOS, J. P. A. de S. *et al.* Morphophysiological responses, water, and nutritional performance of the forage cactus submitted to different doses of nitrogen. **Field Crops Research**, v. 308, p. 109273, 2024. Disponível em: Acesso em: 20 maio 2024.

SANTOS, P. M. *et al.* Mudanças Climáticas Globais e a Pecuária: Cenários Futuros para o Semiárido Brasileiro (Global Climatic Changes and Animal Production: Future Scenarios for

the Brazilian Tropical Semiarid). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 6, p. 1176–1196, 2011.

SANTOS, F. J. S. *et al.* Produção de gramíneas forrageiras irrigadas com água de diferentes condutividades elétricas no semiárido do Piauí. **Pubvet**, v. 13, n. 4, p. 1–9, 2019.

SANTOS, J. P. A. S. *et al.* Técnicas de Manejo Sustentável para o Aporte Forrageiro da Agricultura Familiar no Semiárido Brasileiro: Palma Forrageira, Irrigação e FonDren. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3910–3931, 2021.

SANTOS, A. R. M. *et al.* Valor nutritivo de plantas forrageiras cultivadas no semiárido brasileiro: Uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 3, p. 1466–1489, 2023.

SANTOS, A. F.; PÉREZ-MARIN, A. M.; SARMENTO, M. I. A. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricídia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 276–281, 2018.

SCALISI, A. *et al.* Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.

SHIH, S. F.; GASCHO, G. J.; RAHI, G. S. Modeling Biomass Production of Sweet Sorghum. **Agronomy Journal**, v. 73, n. 6, p. 1027–1032, 1981.

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

SILVA, J. O. N. *et al.* Cultivation of forage cactus genotypes under biosalin agriculture as an alternative to increase forage input from the Brazilian semiarid region: A review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. e16510514773–e16510514773, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14773>. Acesso em: 6 jul. 2023.

SILVA, G. I. N. *et al.* Do different densities and planting orientations of forage cactus alter agronomic, morphophysiological characteristics, and soil water dynamics in a semiarid region?. **European Journal of Agronomy**, v. 159, p. 127271, 2024.

SILVA, T. G. F. *et al.* Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n. 2, p. 184–191, 2014.

SILVA, P. C. G. *et al.* No-tillage and crop rotation increase crop yields and nitrogen stocks in sandy soils under agroclimatic risk. **Field Crops Research**, v. 258, p. 107947, 2020.

SILVA, J. G. M. *et al.* Nutrients intake, milk production, and production costs of dairy goats fed with high proportions of cactus cladodes genotypes *Opuntia* and *Nopalea* in association with different forage sources. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 46, p. e62223, 2023.

SILVA, J. O. N. *et al.* O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro?. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e45611528357, 2022.

SILVA, T. G. F. *et al.* Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015.

SILVA, G. S. *et al.* Viabilidade econômica do cultivo da alface crespa em monocultura e em consórcio com pepino. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 5, p. 1516–1523, 2008.

SOUZA, M. S. *et al.* Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 3, n. 4, p. 417–430, 2019.

VILLEGAS, D. M. *et al.* Urochloa Grasses Swap Nitrogen Source When Grown in Association with Legumes in Tropical Pastures. **Diversity**, v. 12, n. 11, p. 419, 2020.

VOLTOLINI, T. V *et al.* **Sistema de produção de palma-forrageira para o Estado da Paraíba**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2022.

XAVIER, M. A. *et al.* Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 74–81, 2020.

YANG, J. *et al.* Impact of socio-economic and environmental factors on livestock production in Kyrgyzstan. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, 2022.

ZHANG, H. *et al.* Comparison of feeding value, ruminal fermentation and bacterial community of a diet comprised of various corn silages or combination with wheat straw in finishing beef cattle. **Livestock Science**, v. 258, p. 104876, 2022.

ZHU, L. *et al.* Phenotypic and proteomic characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor*) albino lethal mutant *sbe6-a1*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 139, p. 400–410, 2019.
Disponível em: Acesso em: 17 abr. 2025.