

LUANDSON JOSÉ DA SILVA E SILVA

**UNIDADES HIDROAGRÍCOLAS MISTAS DE CULTIVOS EXCLUSIVOS E
CONSORCIADOS COM PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO
DE CULTIVO DE LEGUMINOSA/GRAMÍNEA COM E SEM COBERTURA
MORTA**

RECIFE-PE
JUNHO 2024

LUANDSON JOSÉ DA SILVA E SILVA

UNIDADES HIDROAGRÍCOLAS MISTAS DE CULTIVOS EXCLUSIVOS E
CONSORCIADOS COM PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE
CULTIVO DE LEGUMINOSA/GRAMÍNEA COM E SEM COBERTURA MORTA

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal Rural de
Pernambuco como parte dos requisitos
para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. PhD. Abelardo Antônio
de Assunção Montenegro

Coorientador: Prof. Dr. Thieres George
Freire Silva

RECIFE-PE
JUNHO 2024

S586u Silva, Luandson José da Silva e,
Unidades hidroagrícolas mistas de cultivos exclusivos e consorciados com palma forrageira em sistema de rotação de cultivo de leguminosa/gramínea com e sem cobertura morta. / Luandson José da Silva e Silva. – Recife, 2024.
122f.:il

Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro.
Coorientador: Thieres George Freire Silva.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui referências e apêndice.

1. *Opuntia* spp. 2. Regiões áridas. 3. Cobertura morta (Agricultura). 4. Solos - Conservação 5. Índices morfofisiológicos. I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção, orient. II. Silva, Thieres George Freire, coorient. III. Título

CDD 630

LUANDSON JOSÉ DA SILVA E SILVA

UNIDADES HIDROAGRÍCOLAS MISTAS DE CULTIVOS SOLTEIROS E
CONSORCIADOS DE PALMA FORRAGEIRA EM SISTEMA ROTATIVO
LEGUMINOSA/GRAMÍNEA COM E SEM COBERTURA MORTA

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

DEFENDIDA em ____ / ____ / ____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro – DEAGRI/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Thieres George Freire Silva – DEAGRI/UFRPE
Coorientador

Dr. José Edson Florentino de Moraes - UFRPE
Examinador Externo

Dr. Elvira Pedrosa – DEAGRI/UFRPE
Examinadora Interna

Dr. José Roberto Lopes da Silva – DEAGRI/UFRPE
Examinador Externo

Dr. Alexandre Nascimento dos Santos – IFAL
Examinador Externo

Aos meus pais (Luiz Gonzaga e M^a do Socorro) e irmãos (Lilaine e Lucílio) pelo incentivo e apoio durante as etapas do doutorado.

A minha filha, Luana Beatriz, por sempre está ao meu lado ser a minha motivação e fonte de inspiração, sem ela não teria chegado até aqui.

DEDICO

Aos meus colegas,
Pelas ocasiões especiais.

A minha segunda filha Belinha (cachorra),
Por estar presente em todo momento.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por conceder essa oportunidade de ter concluído o doutorado e me fortalecer em momentos complicados.

A Santa Rita de Cássia minha padroeira e protetora por ouvido minhas orações.

Aos professores do programa de Pós-graduação e aos orientadores Abelardo e Thieres pela orientação e ensinamentos.

Agradecer o Dr. José Edson pela orientação, ser prestativo, conselheiro e compartilhar todo conhecimento que contribuiu nas etapas da minha formação.

Aos integrantes do grupo GAS, em especial Marcelo, Cleber (Clebin), Raphaela, Giovana e Franciê, a ex-integrante Milene e ao colega Dr. Hugo por ajudado durante as leituras fisiológicas por serem fundamentais na condução e conclusão da minha pesquisa.

As integrantes do grupo LAS, em especial Thayná e Lizandra pela amizade e apoio.

Agradeço a UAST/UFRPE por oferecer a infraestrutura para desenvolver a pesquisa.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade por contribuir no meu crescimento profissional com seus ensinamentos.

A CAPES por financiar a bolsa de estudo.

Desde já, agradeço por todas essas etapas, sou muito grato.

BIOGRAFIA

LUANDSON JOSÉ DA SILVA E SILVA- natural de Afogados da Ingazeira PE e adotado pela cidade Serra Talhada – PE, filho de Luiz Gonzaga da Silva e M^a do Socorro da Silva e Silva, nascido em 20 de novembro de 1989. Estudou na escola Cônego João Leite no ensino básico, no ensino fundamental e médio foi na escola Colégio Normal em Afogados da Ingazeira e finalizou o terceiro ano na escola Agrícola do Pajeú em Serra Talhada PE em 2007. Em Serra Talhada realizou o curso técnico agrícola pela escola Agrícola do Pajeú com sua formação em 2009. Em 2010 foi qualificador profissional pelo programa PROJOVEM Urbano. Em 2010 ingressou o curso Bacharelado em Engenharia Agrônômica pela UFRPE/UAST. Entre 2012 e 2013 foi bolsista de extensão com o desenvolvimento de hortas agroecológicas na escola pública Methodio Godoy em Serra Talhada, orientado pela professora Rosa Honorato que o acompanhou até sua formação em 2015. Em 2016 iniciou a Pós-graduação em Horticultura Topical pela UFCG de Pombal-PB com a dissertação “*Produção de beterraba em canteiro econômico sobre diferentes lâminas de irrigação e doses de adubação*”. Entre de 2018 e 2019 foi docente no curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Integração do Sertão (FIS) na área de Topografia. Em 2020 iniciou o curso de Doutorado em Engenharia Agrícola pela UFRPE no município de Recife-PE. A defesa da Tese com titulação “*Unidades hidroagrícolas mistas de cultivos exclusivos e consorciados com palma forrageira em sistema de rotação de cultivo de leguminosa/gramínea com e sem cobertura morta*”, ocorreu em junho de 2024.

Silva, Luandson José da Silva. **Unidades hidroagrícolas mistas de cultivos exclusivos e consorciados com palma forrageira em sistema de rotação de cultivo de leguminosa/gramínea com e sem cobertura morta.** 2024. 122f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

RESUMO GERAL

O sistema consorciado entre plantas forrageiras adaptadas às condições de clima semiárido associado com cobertura morta, rotação de cultura e irrigação, torna o sistema resiliente com essas práticas, proporcionando melhorias na resiliência agrícola. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar o potencial agrônomo da palma forrageira em unidades hidroagrícolas sob arranjos de cultivos de exclusivos e consorciados com leguminosa-gramínea em sistema rotação de cultivo com feijão-guandu/sorgo solteiro com e sem a cobertura morta em sistema irrigado. O experimento foi realizado no município de Serra Talhada-PE, no “Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras” na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST/UFRPE). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, sendo três sistemas de cultivo (palma exclusiva, consórcio palma+leguminosa/gramínea, rotação leguminosa/gramínea) e dois níveis de cobertura morta (sem e com cobertura morta), totalizando seis tratamentos: I) palma exclusiva sem cobertura morta; II) palma exclusiva com cobertura morta; III) consórcio palma+leguminosa/gramínea sem cobertura morta; IV) consórcio palma+leguminosa/gramínea com cobertura morta; V) rotação leguminosa/gramínea sem cobertura morta; VI) rotação leguminosa/gramínea com cobertura morta), com quatro repetições. Foram determinados taxa de crescimento, rendimento produtivo do sistema, índices hídricos, habilidade de competição, balanço de água do solo, análise fisiológica (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação), pH e CEes do solo. Os dados foram submetidos ao homoscedasticidade e normalidade (KS), análise de variância mediante a teste F, e o teste de médias de Tukey, a probabilidade de 5%. A presença da cobertura morta foi um fator fundamental na otimização do desempenho da cultura, promovendo taxas de crescimento elevadas com valor médio de 5,12 g.m⁻².dia⁻¹ em AP e 36,65 g.m⁻².dia⁻¹ em MF no sistema exclusivo, com destaque pela manutenção da umidade do solo. A presença da cobertura morta foi superior na produtividade, nos sistemas feijão-guandu exclusivo e palma+feijão com média de 19,10 e 15,32 t.ha⁻¹ de MF e 9,84 e 6,49 t.ha⁻¹ de MS, além de ter contribuído na conservação da umidade do solo. O sistema consorciado (palma+feijão guandu+sorgo) na presença da cobertura morta promoveram um maior rendimento de forragem de 428,88 Mg.ha⁻¹ de massa fresca total e 160,06 Mg.ha⁻¹ de massa seca total. A eficiência da adoção do consórcio nos arranjos palma-feijão-guandu e palma-sorgo se destacaram com melhor rendimento e, conseqüentemente, na maior produtividade. A presença da cobertura morta aumentou a eficiência fotossintética e a abertura estomática em comparação com o sistema sem a presença da cobertura morta. A cobertura morta reduziu a salinidade do solo, resultando em melhores taxas de fotossíntese que apresentou valor médio de 20,69 e 27,96 micromol/m⁻²/s⁻¹ no feijão-guandu e na palma foram 13,34 e 14,52 micromol/m⁻²/s⁻¹ no sistema exclusivo e consorciado, respectivamente. O consórcio palma, feijão-guandu e o sorgo mostraram uma sinergia na presença da cobertura morta, beneficiando o desenvolvimento e na produtividade de ambas as culturas, evidenciando uma eficiência biológica. Conclui-se que os sistemas de cultivo com a presença da cobertura morta demonstraram eficiência na utilização da água.

Palavras-chaves: *Opuntia* spp., semiárido, resiliência agrícola, conservação do solo, índices morfofisiológicos.

SILVA, Luandson José da Silva. **Mixed hydroagricultural units of exclusive and intercropped crops with forage palm in a leguminous/graminea cropping rotation system with and without mulching** 2024. 122f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) - Rural University of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

GENERAL ABSTRACT

The intercropping system involving forage plants adapted to semi-arid climate conditions, combined with mulch cover, crop rotation, and irrigation, makes the system resilient with these practices, providing improvements in agricultural resilience. In light of this, the aim of the study was to evaluate the agronomic potential of forage cactus in hydro-agricultural units under exclusive and intercropped cultivation arrangements with legume-grass in a crop rotation system with pigeon pea/sorghum monoculture with and without mulch cover under irrigation. The experiment was conducted in the municipality of Serra Talhada-PE, at the "International Reference Center for Agrometeorological Studies of Cactus and Other Forage Plants" at the Academic Unit of Serra Talhada (UAST/UFRPE). The experimental design was a randomized block design with three cropping systems (exclusive cactus, cactus + legume/grass intercropping, legume/grass rotation) and two levels of mulch cover (with and without mulch cover), totaling six treatments: I) exclusive cactus without mulch cover; II) exclusive cactus with mulch cover; III) cactus + legume/grass intercropping without mulch cover; IV) cactus + legume/grass intercropping with mulch cover; V) legume/grass rotation without mulch cover; VI) legume/grass rotation with mulch cover, with four repetitions. Growth rate, system productive yield, water indices, competition ability, soil water balance, physiological analysis (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, internal CO₂ concentration, water use efficiency, and instantaneous carboxylation efficiency), soil pH and electrical conductivity (EC) were determined. The data were subjected to homoscedasticity and normality tests (KS), analysis of variance using the F-test, and Tukey's mean test at a 5% probability. The presence of mulch cover was a key factor in optimizing crop performance, promoting high growth rates with an average value of 5.12 g.m⁻².day⁻¹ in AP and 36.65 g.m⁻².day⁻¹ in MF in the exclusive system, notably by maintaining soil moisture. Mulch cover was superior in productivity, in the exclusive pigeon pea and cactus + pigeon pea systems with an average of 19.10 and 15.32 t.ha⁻¹ of MF and 9.84 and 6.49 t.ha⁻¹ of MS, in addition to contributing to soil moisture conservation. The intercropping system (cactus + pigeon pea + sorghum) in the presence of mulch cover promoted higher forage yields of 428.88 Mg.ha⁻¹ of total fresh mass and 160.06 Mg.ha⁻¹ of total dry mass. The efficiency of adopting intercropping in the cactus-pigeon pea and cactus-sorghum arrangements stood out with better yields and, consequently, higher productivity. Mulch cover increased photosynthetic efficiency and stomatal conductance compared to the system without mulch cover. Mulch reduced soil salinity, resulting in better photosynthesis rates, with an average value of 20.69 and 27.96 micromol/m²/s⁻¹ in pigeon pea and 13.34 and 14.52 micromol/m²/s⁻¹ in cactus in the exclusive and intercropped systems, respectively. The intercropping of cactus, pigeon pea, and sorghum showed synergy in the presence of mulch cover, benefiting the development and productivity of both crops, demonstrating biological efficiency. It is concluded that cropping systems with mulch cover demonstrated efficiency in water use.

Keywords: *Opuntia* spp., Semiarid, agricultural resilience, soil conservation, morphophysiological indices.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Culturas resilientes/adaptadas para o cultivo no semiárido brasileiro	16
2.2 Culturas consorciadas como estratégia agrícola no semiárido	20
2.3 Cobertura morta e efeito dos arranjos no solo	22
2.4 Rotação de cultura.....	24
3. REFERÊNCIAS.....	25
CAPÍTULO II: DESEMPENHO DO CONSÓRCIO PALMA-FEIJÃO GUANDU- SORGO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE CULTIVO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.....	37
1. INTRODUÇÃO	39
2. MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1 Localização e área de estudo.....	40
2.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	41
2.5 Irrigação e umidade do solo.....	43
2.6 Mensuração biométrica e biomassa das culturas e índices morfofisiológicos..	44
2.7 Parâmetros das taxas de crescimento do feijão-guandu e do sorgo	45
2.7 Eficiência biológica.....	47
2.8 Habilidade competitiva.....	48
2.9 Análise estatística	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
3.1 Variáveis biométricas e rendimento de forragem do feijão-guandu, sorgo e palma forrageira	50
3.1.1 Variáveis biométricas do feijão-guandu.....	50
3.1.2 Variáveis do rendimento de forragem do feijão-guandu.....	51
3.2 Variáveis biométricas e rendimento de forragem do sorgo.....	53
3.2.1 Variáveis biométricas do sorgo.....	53
3.2.2 Variáveis de rendimento de forragem do sorgo.....	55
3.3 Variáveis biométricas e rendimento de forragem da palma forrageira.....	57
3.3.1 Variáveis biométricas da palma.....	57
3.3.2 Variáveis de rendimento de forragem da cultura da palma.....	59

3.4	Rendimento de forragem do sistema de cultivo palma+feijão guandu+sorgo em sistema exclusivo e consorciado na ausência e presença da cobertura morta	62
3.5	Taxas de crescimento do feijão-guandu e do sorgo em sistemas exclusivos e consorciados com a palma forrageira na ausência/presença da cobertura morta ...	64
3.6	Avaliação MAC, MAB e IAF com o medidor AccuPAR nas culturas feijão-guandu, sorgo e palma em sistemas exclusivos e consorciados	68
3.6.1	Avaliação MAC, MAB e IAF com o medidor AccuPAR na cultura do feijão-guandu em sistemas exclusivos e consorciados com a palma	68
3.6.2	Avaliação MAC, MAB e IAC com o medidor AccuPAR na cultura da palma em sistemas exclusivos e consorciados com o feijão-guandu	70
3.6.4	Avaliação MAC, MAB e IAC com o medidor AccuPAR na cultura da palma em sistemas exclusivos e consorciados com sorgo	73
3.7	Índices de competição e eficiência biológica da palma consorciada durante dois ciclos produtivos com feijão-guandu e o sorgo	74
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
5.	REFERÊNCIAS.....	77
CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS E USO EFICIENTE DA ÁGUA EM PALMA-FEIJÃO GUANDU-SORGO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E CONDIÇÕES DE COBERTURA MORTA NO SEMIÁRIDO.....		
1.	INTRODUÇÃO	87
2.	MATERIAL E MÉTODOS	88
2.1	Análise Fisiológica	90
2.2	Variáveis de solo.....	91
2.3	Umidade do solo	91
2.4	Balanço de água no solo (BAS)	91
2.5	Índices hídricos	93
	Análise estatística.....	94
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
3.1	Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no feijão-guandu, palma e sorgo	94
3.1.1	Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no feijão-guandu e palma	94
3.1.2	Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no sorgo e palma.....	98
3.2	Coleta da cobertura morta em sistema de cultivo exclusivo e consorciado ...	100
3.3	Análise dos parâmetros do solo em sistema de cultivo exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta.....	102

3.3.1 1ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta	102
3.3.2 2ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta	104
3.3.3 3ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta	105
3.4 Balanço de água no solo	108
3.5 Índices hídricos	112
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
5. REFERÊNCIAS.....	115

-----CAPÍTULO I-----
INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. INTRODUÇÃO GERAL

A variabilidade climática, aliada às ações antrópicas com o uso inadequado da terra, resulta em uma considerável pressão em sistemas de produções agrícolas na região do semiárido (Alves *et al.*, 2022). Diante disso, até o meado do século XXI, as mudanças climáticas terão um impacto negativo nas atividades socioeconômicas em escala global, especialmente no setor agrícola, resultando em consideráveis repercussões na área (Makate, 2019). Com isso, para diminuir a vulnerabilidade da agricultura com relação a variabilidade das mudanças climáticas, é crucial melhorar a eficiência dos sistemas de produção, além de reduzir os riscos para a segurança alimentar. Para isso, é necessário envolver outros fatores, como uma gestão integrada e eficiente dos recursos hídricos que priorize o desempenho elevado, a produtividade e a conservação da água (Pereira *et al.*, 2020a; Rallo *et al.*, 2021).

A região do semiárido brasileiro (SAB) é caracterizada pela distribuição irregular e baixas lâminas das chuvas (300 a 800 mm) e por possuir temperaturas elevadas ($>26^{\circ}\text{C}$), além da elevada evapotranspiração ($>1600\text{ mm ano}^{-1}$), causando um efeito negativo direto na disponibilidade de alimentos aos animais. Uma das soluções de disponibilidade de alimento para o animal em regiões semiáridas é o cultivo de plantas com adaptação a essas condições (Rai *et al.*, 2018; Rao *et al.*, 2019). Dentre as plantas forrageiras, a palma (*Opuntia* spp.) se destaca devido a sua característica, com alta produtividade de massa fresca, ser palatável, tem uma eficiência no uso da água por conta do seu metabolismo (CAM), além de compor 80% da dieta do animal e possuir altos níveis de carboidratos solúveis (Lina e Eloisa, 2018; Rocchetti *et al.*, 2018; Salvador *et al.*, 2021a; Taiz *et al.*, 2017). Nesse cenário desafiador com relação aos fatores climáticos, a palma forrageira consegue preservar o seu valor nutricional, componentes essenciais e boa capacidade produtiva para os rebanhos (Meza-Herrera *et al.*, 2019; Salvador *et al.*, 2021a).

A palma apresenta um crescimento lento e um teor de fibras reduzido. A combinação de sistemas consorciados aumenta a produção de alimentos (Cavalcante *et al.*, 2014). A cultura é uma alternativa para enfrentar os rendimentos reduzidos na produção e oferta de forragem na região do semiárido, pois é uma planta adaptada às condições específicas como solo e o clima da região. Isso é uma vantagem da cultura por apresentar essas características morfofisiológicas para região, pois significa uma fonte de alimento para os animais em períodos secos do ano (Amorim *et al.*, 2017).

A palma isoladamente não consegue satisfazer a demanda necessária. Com isso, buscam-se opções viáveis para os períodos secos. A adoção de combinações com outras plantas forrageiras que são adaptadas ao clima semiárido, impulsionam um suprimento de forragem nas atividades agropecuárias. O cultivo mais frequente em conjunto com a palma é o sorgo, considerado uma cultura ajustada a condições adversas que proporciona elevado conteúdo de fibras, alta produção de biomassa e atributos bromatológicos aceitáveis (Salvador *et al.*, 2021a).

A cultura do sorgo é uma forrageira de grande potencial, por apresentar alta produção de fibras e matéria seca, tolerante a solos salinos-alcálicos (6,8 dS/m), ser de baixa demanda hídrica, capacidade de suportar períodos de escassez de água e ter uma adaptação ao consórcio (Nxele, Klein e Ndimba, 2017; Pino e Heinrichs, 2017).

Outra cultura que pode ser utilizada consorciado com a palma é a leguminosa feijão-guandu, que é uma espécie usada como adubo verde, pois fornece matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio ao solo, restaura quimicamente solos degradados por possuir um sistema radicular profundo e ramificado Araújo *et al.* (2019a) observaram um maior retorno financeiro, produtividade, custo-benefício e menor incidência de plantas invasoras quando o sorgo foi consorciado com uma leguminosa, além de uma produtividade em torno de 20 a 40 Mg de massa verde durante o seu ciclo. A cultura consegue fixar em torno de 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio e acrescenta 3,1 ton ha⁻¹ de matéria orgânica com a queda de folhas (Hardinsyah *et al.* 2023), sendo uma vantagem para a cultura, pois reduz a necessidade de adubação, além de melhorar a estrutura do solo com a capacidade de retenção de água e por promover o aumento de microrganismo no solo devido ao acúmulo de matéria orgânica.

Por isso que a técnica de rotação de cultura é uma alternativa para região do SAB, por proporcionar na reutilização de nutrientes do solo e melhor aproveitamento da área agrícola (Dominschek *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021). Apesar de ser uma abordagem promissora, a aplicação do consórcio está condicionada à rivalidade entre diferentes espécies cultivadas, gerando modificações em seu desenvolvimento. Isso ocorre devido à influência de elementos bióticos e abióticos no novo ambiente de cultivo, afetando tanto a fotossíntese líquida quanto a distribuição de matéria seca (Chimonyo *et al.*, 2018; Jardim *et al.*, 2020).

A prática do consórcio entre culturas, é relevante para o ambiente semiárido, pois possibilita a maximização do uso da terra e dos recursos naturais, tais como a água, nutrientes e a radiação solar (Raseduzzaman e Jensen, 2017b). Entender a evolução do

crescimento vegetal é fundamental para reconhecer os elementos que restringem a produção de forragem e para ajudar as estratégias de manejo (Pedreira *et al.*, 2019).

Apesar da associação entre culturas poder resultar em um incremento na produtividade de forragem, a disputa entre espécies diferentes pode diminuir no rendimento individual de ambas as culturas (Nelson *et al.*, 2018). Para isso, o método de índice de competitividade colabora para entender a viabilidade do sistema consorciado, além de ajudar na identificação da cultura predominante (Souza, 2019). Práticas inadequadas podem causar restrições nas fases de crescimento e no desenvolvimento da planta, por isso a necessidade do planejamento e manejo da cultura (Corrêa *et al.*, 2019).

O uso da cobertura morta tem um papel fundamental na região do semiárido, por diminuir a demanda por irrigação, além de conservar a umidade do solo, diminuir da temperatura e por fornecer nutrientes, resultando um aumento da produtividade no sistema, especialmente em áreas com escassez de água e elevada taxa de evapotranspiração (El-Mageed *et al.*, 2018; Ding *et al.*, 2018). A associação entre a palma e o sorgo com a presença da cobertura morta, cria um sistema com temperatura amena, favorecendo a disponibilidade hídrica para ambas as culturas. Entretanto, o uso de combinações e proteção vegetal, são algumas das estratégias aplicadas para minimizar a redução na produção (Jardim *et al.*, 2021; Salvador *et al.*, 2021a).

Com relação a essas técnicas agrícolas do sistema de rotação gramínea com uma leguminosa consorciada com a palma forrageira na presença da cobertura morta, a literatura ainda é limitada. Com isso, é necessário mais estudo relacionado a essa prática agrícola, principalmente para região do semiárido.

Com isso, a hipótese do trabalho é que a combinação palma-feijão guandu-sorgo apresenta benefícios de produção superiores quando comparada ao sistema de cultivo exclusivo com essas variedades. A adoção da cobertura morta sobre o solo minimiza os efeitos do plantio conjunto na produtividade das plantações, contribuindo para uma redução da variação sazonal na oferta de alimentos para os animais em regiões como o semiárido e visando aprimorar o lucro para os agropecuaristas.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

2.1 Culturas resilientes/adaptadas para o cultivo no semiárido brasileiro

Palma forrageira

No planejamento de um cultivo agrícola, a seleção de uma variedade adequada às condições climáticas para uma região, é um dos aspectos fundamentais desta fase. Com

isso, é crucial considerar certas particularidades das espécies vegetais, como a demanda hídrica, adaptação às condições do local, aceitabilidade e capacidade de produção de biomassa, entre outros (Alves *et al.*, 2020; Araújo Júnior *et al.*, 2021; Inácio *et al.*, 2020). O emprego de plantas adaptadas é uma solução essencial para regiões áridas e semiáridas, já que as mudanças climáticas são prejudiciais para a produção vegetal (Maia e Gurgel, 2013).

No cenário agropecuário, uma cultura que contribui para o aumento da quantidade de forragem é de grande relevância, principalmente em regiões com restrições hídricas, a palma forrageira é uma cultura mais disseminada devido ao seu metabolismo CAM. O CAM (metabolismo ácido das crassuláceas) proporciona alta eficiência no uso da água e sendo adaptada a condições desfavoráveis, resulta na sua significância no avanço agropecuário, sendo essencial o seu cultivo para o desenvolvimento sustentável em regiões com escassez de recursos hídricos como o semiárido (Dubeux *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2015), demonstrando uma eficiência no aproveitamento hídrico, sendo considerado uma superioridade 3 vezes maior para plantas C4 e 6 vezes superior ao das plantas C3, tornando uma cultura de grande potencial para ser utilizada em áreas semiáridas (Liu *et al.*, 2018).

A planta tem características morfofisiológicas singulares por ser xerófila, exibindo uma notável adaptabilidade para ambientes áridos e semiáridos. Ao longo do dia, os poros estomáticos estão fechados, reduzindo a perda de água para atmosfera. Essa estratégia facilita seu desenvolvimento em ambientes com pouca disponibilidade de água e preserva a turgidez celular, garantindo a vitalidade da planta (Figura 1). A planta apresenta uma cutícula densa e cerosa que cobre os cladódios, diminuindo a evaporação de água, além de ter um papel de proteção contra insetos vetores de doenças; proporção superfície/volume reduzida; estômatos em menor número; vacúolo de grandes dimensões minimizam ainda mais a transpiração e otimizam no armazenamento de água; a planta possui quatro tipos de raízes (estruturais, absorventes, esporão e aréolas) que evitam a perda de água em períodos de seca do solo (Kim *et al.*, 2017; Melgar *et al.*, 2017). Esses atributos morfofisiológicos tornam a planta resiliente e adaptável, permitindo que sobreviva em regiões com média anual de precipitação em torno de 150 mm (Dubeux *et al.*, 2021; Queiroz *et al.*, 2015).

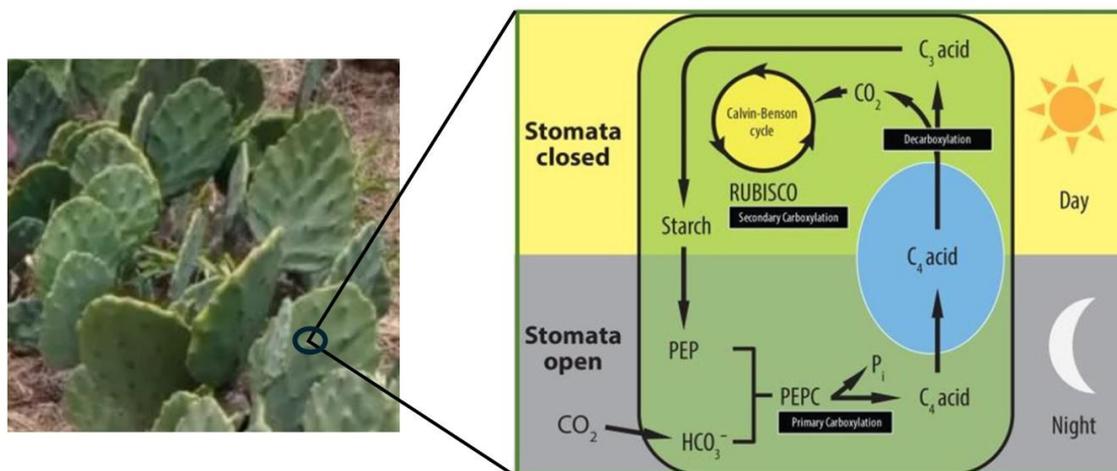


Figura 1. Representação simplificada do Metabolismo Ácido das Crassuláceas em plantas de palma forrageira. Adaptado de (Borland *et al.* 2014).

A cultura se destaca quando comparadas as outras plantas forrageiras tradicionais, pois além de atender à necessidade nutricional, é uma fonte crucial de água, devido ao seu armazenamento na estrutura foliar modificada (cladódio), tornando-se em uma cultura valiosa para locais com recursos hídricos é escasso (Barbosa *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2018).

Feijão-guandu

A região semiárida, marcada por sua escassez de água e recursos naturais limitados, exige abordagens inovadoras e sustentáveis para a agricultura e a pecuária (Souza, *et al.*, 2021). O feijão-guandu se destaca como uma cultura resiliente, capaz de prosperar em condições adversas de solo e clima. Além disso, ele oferece múltiplos benefícios, como a produção de grãos ricos em proteínas, a fixação de nitrogênio atmosférico, a melhoria da qualidade do solo e a diversificação da dieta animal (Buch *et al.*, 2020; Salvador *et al.*, 2021b). Seu ciclo pode variar entre 80 e 180 dias para variedades de porte baixo e porte normal (Pinheiro *et al.*, 2013). Este tipo de leguminosa possui um metabolismo do tipo C3, ou seja, utiliza uma via com três moléculas de carbono na fotossíntese, sendo significativa relevância áreas tropicais e subtropicais, especialmente nos continentes africano e asiático (Pinheiro *et al.*, 2013).

O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) emerge como uma planta de grande relevância devido às suas múltiplas funcionalidades. O papel fundamental do feijão-guandu como planta forrageira, seu uso na alimentação animal, sua contribuição para a conservação do solo e sua associação benéfica com a palma forrageira (*Opuntia* spp.) na região semiárida do Brasil merecem destaque. Essa planta possui um sistema radicular profundo e

ramificado, o que viabiliza a recuperação química de solos degradados através da fixação biológica de nitrogênio e liberação do fósforo retido no solo, ao mesmo tempo que viabiliza a sobrevivência da cultura em áreas com pouca água disponível (Araújo, Moreira e Guedes, 2019b; Sewsaran *et al.*, 2019a).

A utilização do feijão-guandu na alimentação animal é respaldada por estudos que destacam sua riqueza nutricional. Os grãos de feijão-guandu possuem alto teor de proteínas, aminoácidos essenciais e minerais, tornando-os uma fonte valiosa de nutrição para o gado, ovinos e caprinos (Alves *et al.*, 2015). Além disso, sua digestibilidade e palatabilidade são características que o tornam atraente para os animais. A oferta de forragem da cultura é composta por alto valor nutritivo, tornando-se uma fonte de energia e proteína para os ruminantes no SAB (Khoury *et al.*, 2015).

Outro benefício importante associado ao feijão-guandu é sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo através da fixação simbiótica, um processo que contribui para a redução da necessidade de adubação nitrogenada e, conseqüentemente, diminui os custos de produção agrícola (Verslype *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2019; Sewsaran *et al.*, 2019). Pode produzir cerca de 20 a 40 ton ha⁻¹ de massa verde e 5 a 15 ton ha⁻¹ de massa seca e fixar 283 kg ha⁻¹ de N no solo (Alves *et al.*, 2004; Spósito *et al.*, 2018; Salvador *et al.*, 2021a). Além disso, suas raízes profundas desempenham um papel essencial na estruturação do solo e na prevenção da erosão.

A prática do consórcio entre o feijão-guandu e a palma forrageira surge como uma estratégia promissora para a região semiárida. A palma forrageira, adaptada às condições climáticas desafiadoras, oferece sombra e suplementação alimentar para os animais, enquanto o feijão-guandu enriquece o solo e fornece proteínas essenciais. Estudos como o de Salvador *et al.* (2021) destacam os ganhos significativos na produção animal e na saúde do solo obtidos por meio dessa associação.

Sorgo forrageiro

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é da família da Poaceae, com sua origem de regiões tropicais, sendo considerada uma planta com características xerófilas, tornando uma cultura tolerante a períodos de seca, sendo capaz de sobreviver em climas semiáridos (Kirchner *et al.*, 2019), o seu processo fotossintético é caracterizado como o tipo C4, permite a concentração de CO₂ na bainha do feixe vascular (Wang *et al.*, 2021). O sorgo forrageiro é uma cultura resiliente que se adapta bem a essas condições, apresentando elevada tolerância à seca e ao calor. Nesse contexto, seu cultivo para a produção de

forragem se destaca como uma opção viável para garantir a disponibilidade de alimento animal ao longo do ano.

Além disso, o sorgo forrageiro desempenha um papel crucial na conservação do solo. Sua capacidade de desenvolver raízes profundas contribui para a estabilização do solo, reduzindo o risco de erosão, e sua cobertura vegetal protege o solo contra a perda de umidade e a degradação (Claudio e Macedo, 2009). Esses benefícios tornam o sorgo forrageiro uma escolha estratégica para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas na região. A cultura também se destaca por uma elevada produção de massa fresca e seca, do desenvolvimento do sistema radicular, adaptação a temperaturas elevadas, déficit hídrico e ser cultivado em solos com grau de acidez e com uma produção de massa verde e seca entre 37 a 52 ton ha⁻¹ e 10 a 14 ton ha⁻¹, respectivamente. (Jardim *et al.*, 2020; Perazzo *et al.*, 2013).

A prática do consórcio entre o sorgo forrageiro e a palma forrageira emerge como uma abordagem promissora para maximizar a eficiência na utilização dos recursos disponíveis (Salvador *et al.*, 2021a). A palma forrageira, adaptada às condições áridas, complementa a dieta animal com sua alta umidade e valor nutricional, enquanto o sorgo forrageiro oferece fibra e energia, resultando em uma dieta mais equilibrada para o gado e outros animais (Jardim *et al.*, 2020).

Portanto, o potencial do sorgo forrageiro na região semiárida brasileira, destacando seus benefícios como planta forrageira, sua contribuição para a conservação do solo e seu desempenho quando consorciado com a palma forrageira. O conhecimento gerado a partir desta pesquisa tem o potencial de melhorar a resiliência dos sistemas agropecuários na região, promovendo a sustentabilidade e a segurança alimentar.

2.2 Culturas consorciadas como estratégia agrícola no semiárido

A utilização de duas ou mais culturas agrícolas é um método de adensamento de cultivo, ou consórcio de produção simultâneo de uma determinada área de grande relevância que tem como objetivo de melhorar o uso da terra e dos recursos disponíveis, tornando-se uma alternativa para lugares que tem uma certa limitação agrícola (Du *et al.*, 2018).

O aumento produtivo por unidade de área é uma das vantagens de grande relevância no uso e eficiência do solo com a diversidade de espécies vegetais (Bezerra *et al.*, 2007; Cavalcante *et al.*, 2014; Diniz *et al.*, 2017; Samarappuli e Berti, 2018; Jardim *et al.*, 2020), bem como em situações de limitação agrícola, quando bem manejado. Essa

interação entre as espécies pode contribuir no aumento da resiliência da cultura, resultando no aumento significativo na produção de forragem (Mäkinen *et al.*, 2015; Jardim *et al.*, 2020).

Em regiões áridas e semiáridas, o consórcio é utilizado em faixas que possibilita no melhor uso da água e eficiência em cultivos, otimizando o ambiente com a umidade do solo, promovendo o desenvolvimento da cultura (Carvalho *et al.*, 2021). Outros parâmetros como a luz, a água e fertilizantes podem tornar o consórcio mais eficiente, contribuindo significativamente na produção e segurança alimentar, assim como é um benefício econômico para os produtores (Agegnehu, Ghizaw e Sinebo, 2008; Foley *et al.*, 2011; Jensen *et al.*, 2015; Yin *et al.*, 2018).

O consórcio associado com práticas de cultivos e cobertura morta tem sido explorado por pesquisadores para otimizar os recursos desse sistema (Yin *et al.*, 2018). Antes da implantação desse modelo de adensamento, é importante selecionar as espécies que foram consorciadas, o agrupamento entre elas, respeitando a densidade populacional e o espaçamento para obter o seu potencial produtivo de ambas as culturas sem ocorrer o processo de antagonismo (Oliveira Filho *et al.*, 2016).

O consórcio entre plantas do tipo cacto e gramíneas é utilizado em regiões de clima semiárido onde tem uma elevada demanda hídrica, este método reduz as perdas de rendimento, tornando mais eficiente o sistema de produção na utilização de espécies como a palma forrageira consorciado com o sorgo ou feijão-guandu (Carvalho *et al.*, 2017; Diniz *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2018).

A palma forrageira por apresentar características de adaptação ao semiárido e de boa aceitação como forragem aos animais, a planta possui baixo teor de fibras, não suprimindo as necessidades do animal, por isso a implementação de outra espécie forrageira, possibilita atender esse déficit nutricional (Santos e Santos, 2018).

O sorgo é uma forrageira adaptada ao clima semiárido, possui alto teor de fibras e conseqüentemente alta produção de biomassa (Aguilar *et al.*, 2015; Inácio Silva *et al.*, 2017). O sorgo consorciado com a palma forrageira maximiza a produção com acúmulo de matéria seca da forragem, além de obter maior eficiência no uso da terra e antecipação da colheita da cultura, tornando uma alternativa viável para regiões semiáridas (Amorim *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2018). Além da parte econômica, a palma em sistema consorciado é mais lucrativa comparado com um plantio exclusivo (monocultivo) (Lima *et al.*, 2018).

Outra planta adaptada à condição semiárido, recomendada e bastante utilizada em consórcio, além de ser palatável, tem boa produção de forragem por ter alto teor

nutricional, fonte de energia e proteína que supre a necessidade animal é a leguminosa feijão-guandu (Choudhary *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2013; Khoury *et al.*, 2015). É uma planta cultivada em consórcio por apresentar baixo índice de competitividade por nutrientes.

O consórcio entre gramíneas com leguminosas possuem algumas vantagens, como a redução da demanda da utilização de agrotóxicos para o controle fitopatogênicos e plantas invasoras (Martin-Guay *et al.*, 2018). O sistema consorciado é considerado como mais resiliente quando comparado com o monocultivo que está mais sujeito a problemas de eventos climáticos, além do estresse biótico ou abiótico (Raseduzzaman e Jensen, 2017).

2.3 Cobertura morta e efeito dos arranjos no solo

O uso da cobertura morta no solo tem uma relevância por mantê-lo úmido por mais tempo, não deixando exposto a ações climáticas como insolação e o vento. A cobertura contribui nos processos químicos, físicos e biológicos, minimizando a ação da evaporação e oscilações na temperatura, proporcionando condições ideais para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular (Santos, Estrela e Pereira, 2018). Além de minimizar os riscos de escoamento e perdas do solo quando se encontra sem cobertura, em que atua como proteção superficial, eliminando a energia cinética da água chuva, possibilitando a retenção do conteúdo de hídrico (Lima *et al.*, 2020).

O solo submetido a cobertura morta, a camada protetiva contribui na conservação da umidade com a manutenção que resulta no desenvolvimento da biomassa vegetal (Lopes e Montenegro, 2019). A prática de conservação e manejo do solo com a utilização de diferentes tipos de cobertura morta, proporciona maior eficiência no controle de erosão hídrica, evita, perdas por escoamento superficial e permite maior infiltração (Silva *et al.*, 2011). Esse método é recomendado para regiões de clima de semiárido, pois reduz a perda de água com a prevenção e diminuição da ação erosiva superficial, além do seu papel de manter a umidade do solo por um longo tempo (Borges *et al.*, 2014).

Shen *et al.* (2012) relatam a importância da cobertura morta no aumento da umidade nas profundidades 0,2 a 0,8 m resultando em uma superioridade na produtividade com a presença da palhada comparando com o solo sem cobertura. Além disso, a presença da cobertura morta possibilita maior eficiência da irrigação, proporcionando melhor uso da água pelo sistema (Karlberg *et al.*, 2007; Montenegro *et al.*, 2013).

A cobertura do solo reduz a concentração de sais na solução no sistema radicular (Yang *et al.*, 2018); a implantação da cobertura morta com materiais vegetais agrícola conserva a camada do solo e a água, melhorando o rendimento das plantas, contribuindo no aumento de matéria orgânica, melhorando sua qualidade nas características biológicas, físicas e químicas (El-Mageed, Semida e Abd El-Wahed, 2016; El-Mageed *et al.*, 2018).

Os arranjos de cultivos propostos neste documento têm um potencial de melhoria na qualidade do solo. Tanto a palma como as culturas consorciadas têm alta capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico em simbiose com as bactérias do solo e produção de biomassa orgânico no solo, melhorando na fertilidade, pois a cobertura morta contribui na proteção e redução de erosão, retenção da umidade promoção da atividade microbiológica, além da melhoria na estrutura física do solo, ciclagem de nutrientes, resultando em um ambiente mais saudável e produtivo no solo, sendo essencial para o crescimento das plantas.

A cobertura morta é amplamente utilizada nas regiões áridas e semiáridas, mostrando uma efetividade em manter a umidade do solo (Zhang *et al.*, 2022; Zhu *et al.*, 2021). A cobertura do solo mantém a umidade do solo, reduz a taxa de evaporação da superfície que reduz a transferência de água para atmosfera e do solo (Défossez *et al.*, 2021).

Outa técnica agrícola bastante utilizada em diversas regiões do planeta que vai contribuir na qualidade do solo é a rotação de culturas, pois se refere a uma sequência regular de diferentes espécies agrícolas ao longo do tempo no mesmo sistema produtivo (Hegewald *et al.*, 2018). Adoção desta técnica traz vantagens agrícolas, incluindo a melhoria da fertilidade e preservação das características do solo, aumento da disponibilidade e eficiência da água, diminuição das plantas daninhas e fitopatógenos (Salassi, Deliberto e Guidry, 2013). Isso colabora para o aumento do crescimento e da produtividade das culturas, resultando em uma maior rentabilidade financeira ao produtor (Zhao *et al.*, 2020).

O aumento da produtividade das plantações no sistema de rotação de culturas, é diretamente afetado pela microbiota do solo, onde esses microrganismos benéficos têm a capacidade de diminuir o número de microrganismos nocivos, contribuindo em uma menor incidência de doenças nas culturas (Chamberlain *et al.*, 2020). Essa ação microbiana é apta a fornecer nutrientes as culturas, devido a decomposição do material orgânico e pela interação simbiótica com certas espécies vegetais, resultando na melhoria do desempenho da cultura (Hegewald *et al.*, 2018).

A diversidade de raízes com a exploração de diferentes camadas do solo, evita a competição entre as culturas por recursos. A prática da rotação de culturas consorciadas de uma leguminosa para uma gramínea, reduz a presença de fitopatógenos no solo, resulta a utilização nutrientes com mais eficiência.

De acordo com Maluf *et al.* (2015), a decomposição dos resíduos vegetais foi notadamente influenciada pelas concentrações de nitrogênio, e as taxas de liberação dos macronutrientes foram determinadas pelas quantidades desses elementos nos resíduos, sendo o potássio o nutriente liberado mais rapidamente devido à sua ausência como componente estrutural das plantas. Contudo, no caso da utilização de materiais vegetais para o uso da cobertura morta em ambientes áridos e semiáridos, recomenda-se uma relação C:N elevada com o intuito de prolongar sua duração no campo.

2.4 Rotação de cultura

A definição de rotação de culturas é caracterizada pela repetida sequência de culturas ao longo do tempo em um sistema agrícola, sendo amplamente empregada em diversas localidades do mundo. O uso da rotação proporciona vantagens agrônômicas, como melhoria na fertilidade do solo e a preservação das características do solo, incremento na disponibilidade e eficiência no uso da água, diminuição de plantas espontâneas, pragas e doenças. Tais vantagens contribuem para o maior desenvolvimento e rendimentos das culturas, resultando em um ganho financeiro ao produtor (Hegewald *et al.*, 2018; Salassi *et al.*, 2013; Yin *et al.*, 2020).

Com o foco na questão ambiental, a rotação de culturas tem contribuído na sustentabilidade da agricultura, resultando em vantagens como a variação no padrão da extração e de ciclagem de nutrientes, aprimorando as condições nutricionais do solo (Candido *et al.*, 2021). A essência da prática da rotação de culturas envolve no plantio intercalado de diferentes espécies na mesma área. Esse método requer uma observação baseada em princípios, tais como a inclusão constante de leguminosas, manutenção do equilíbrio da fertilidade do solo através das práticas agrícolas, a prevenção do uso de espécies vulneráveis a mesma praga e doença e aumento do conteúdo da matéria orgânica no solo (Henig *et al.*, 2019).

O cultivo de leguminosas oferecem algumas vantagens como serviços ecossistêmicos úteis e relevantes, como por exemplo a melhoria da eficiência na utilização do nitrogênio, conservação da água, redução das emissões de N₂, melhoria da

saúde do solo e incremento da biodiversidade (Gan *et al.*, 2017; Lal, 2017; Luce *et al.*, 2015; Zander *et al.*, 2016).

3. REFERÊNCIAS

Abd El-Mageed, T. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. E. A. M., & Abd El Tawwab, A. R. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (bicolor L. Moench) under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, 208, 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>

Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2008). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, 28(2), 257–263. <https://doi.org/10.1051/agro:2008012>

Aguiar, M. D. S. M. A., Siva, F. F., Donato, S. L. R., Rodrigues, E. S. O., Costa, L. T., Mateus, R. G., Souza, D. R., & Da Silva, V. L. (2015). Palma forrageira em dietas de novilhas leiteiras confinadas: Desempenho e viabilidade econômica. *Semina: Ciências Agrárias*, 36(2), 1013–1030. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>

Alves, A. A., Reis, E. M., & Neto, M. F. da S. (2015). Forrageiras indicadas para a alimentação animal no Semiárido brasileiro. <http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Alves, C. P., Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B. de, Cruz Neto, J. F. da, & Santos, J. P. A. de S. (2020). Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27(2). <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>

Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., Silva, G. I. N., Souza, L. S. B., & Silva, T. G. F. (2022). Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1, 373–392.

Alves, S. M. C., Abboud, A. C. de S., Ribeiro, R. de L. D., & Almeida, D. L. de. (2004). Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39, 1111–1117.

Amorim, D. M., Silva, T. G. F. da, Pereira, P. de C., Souza, L. S. B. de, & Minuzzi, R. B. (2017). Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 47(1), 62–71. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>

Araújo, B. de A., Moreira, F. J. C., & Guedes, F. L. (2019a). Emergência e crescimento inicial de feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. *Revista Agraria Academica*, 2(4), 90–101. <https://doi.org/10.32406/V2N42019/90-101/AGRARIACAD>

Araújo, B. de A., Moreira, F. J. C., & Guedes, F. L. (2019b). Emergência e crescimento inicial de feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação.

Revista Agraria Academica, 2(4), 90–101. <https://doi.org/10.32406/v2n42019/90-101/agrariacad>

Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. J. da, Alves, C. P., Souza, C. A. A. de, Costa, S. A. T. da, Cunha, M. V. da, Simões, A. do N., Silva, J. R. I. da, Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2021). Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>

Barbosa, M. L., da Silva, T. G. F., Zolnier, S., e Silva, S. M. S., & Ferreira, W. P. M. (2018). Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. *Revista Ciencia Agronomica*, 49(3), 399–408. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180045>

Bezerra, A., Patrícia, A., Pitombeira, B., Távora, A. F., José, F., Chagas, D., & Neto, V. (2007). Rendimento, componentes da produção e uso eficiente da terra nos consórcios sorgo x feijão-de-corda e sorgo x milho. *Revista Ciência Agronômica*, 38(1), 104–108.

Borges, T. K. de S., Montenegro, A. A. de A., Santos, T. E. M. dos, Silva, D. D. da, & Silva Junior, V. de P. e. (2014). Influência de práticas conservacionistas na umidade do solo e no cultivo do milho (*Zea mays* L.) em semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 38(6), 1862–1873. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832014000600021>

Borland, A. M., Hartwell, J., Weston, D. J., Schlauch, K. A., Tschaplinski, T. J., Tuskan, G. A., Yang, X., & Cushman, J. C. (2014). Engineering crassulacean acid metabolism to improve water-use efficiency. In *Trends in Plant Science* (Vol. 19, Issue 5, pp. 327–338). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.01.006>

Buch, D. U., Sharma, O. A., Pable, A. A., & Barvkar, V. T. (2020). Characterization of microRNA genes from Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) and understanding their involvement in drought stress. *Journal of Biotechnology*, 321, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.06.019>

Candido, G., Belmiro Saburo Shimada, Silva, V. B. Da, & Goulart, G. R. (2021). Rotação de culturas na sustentabilidade de um sistema de produção agrícola. *Anais Do I Congresso Nacional de Ciências Agrárias On-Line*, 27. <https://doi.org/10.51189/rema/1616>

Carvalho, A. A. de, Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, Moura, M. S. B. de, Araujo, G. G. L. de, & Tolêdo, M. P. S. (2017). Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(7), 481–487. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V21N7P481-487>

Carvalho, A. A., Montenegro, A. A. de A., de Lima, J. L. M. P., da Silva, T. G. F., Pedrosa, E. M. R., & Almeida, T. A. B. (2021). Coupling water resources and agricultural practices for Sorghum in a semiarid environment. *Water (Switzerland)*, 13(16), 1–27. <https://doi.org/10.3390/w13162288>

- Carvalho, C. B. M., Edvan, R. L., Carvalho, M. L. A. M., Reis, A. L. A., & Nascimento, R. R. (2018). Uso de cactáceas na alimentação animal e seu armazenamento após colheita. *Archivos de Zootecnia*, 67(259), 440–446. <https://doi.org/10.21071/AZ.V67I259.3803>
- Cavalcante, L. A. D., R. A. Santos, G., M. Silva, L., L. Fagundes, J., & A. Silva, M. (2014). Response of cactus pear genotypes to different crop densities. *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 44(4), 424–433. <https://doi.org/10.1590/s1983-40632014000400010>
- Chimonyo, V. G. P., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2018). Sorghum radiation use efficiency and biomass partitioning in intercrop systems. *South African Journal of Botany*, 118, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.06.009>
- Choudhary, A. K., Kumar, S., Patil, B. S., Bhat, J. S., Sharma, M., Kemal, S., Ontagodi, T. P., Datta, S., Patil, P., Chaturvedi, S. K., Sultana, R., Hegde, V. S., Choudhary, S., Kamannavar, P. Y., & Vijayakumar, A. G. (2013). Narrowing yield gaps through genetic improvement for Fusarium wilt resistance in three pulse crops of the semi-arid tropics. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 45(3), 341–370.
- Claudio, M., & Macedo, M. (2009). *Revista Brasileira de Zootecnia Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas*. www.sbz.org.br
- Corrêa, R. D. G., Furlani, C. E. A., Zerbato, C., Oliveira, D. T. De, Noronha, R. H. D. F., & Warikoda, N. K. (2019). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Sowing operation direction and population densities in corn growing e densidades populacionais no cultivo do milho*. 183–187.
- Défossez, P., Veylon, G., Yang, M., Bonnefond, J. M., Garrigou, D., Trichet, P., & Danjon, F. (2021). Impact of soil water content on the overturning resistance of young Pinus Pinaster in sandy soil. *Forest Ecology and Management*, 480. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118614>
- Ding, D., Zhao, Y., Feng, H., Hill, R. L., Chu, X., Zhang, T., & He, J. (2018). Soil water utilization with plastic mulching for a winter wheat-summer maize rotation system on the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 201, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.029>
- Diniz, W. J. da S., da Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. da S., dos Santos, D. C., de Moura, M. S. B., de Araújo, G. G. L., & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52(9), 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- Dominschek, R., Barroso, A. A. M., Lang, C. R., de Moraes, A., Sulc, R. M., & Schuster, M. Z. (2021). Crop rotations with temporary grassland shifts weed patterns and allows herbicide-free management without crop yield loss. *Journal of Cleaner Production*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127140>

- DU, J. bo, HAN, T. fu, GAI, J. yi, YONG, T. wen, SUN, X., WANG, X. chun, YANG, F., LIU, J., SHU, K., LIU, W. guo, & YANG, W. yu. (2018). Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 747–754. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61789-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1)
- Dubeux, J. C. B., Santos, M. V. F. dos, Cunha, M. V. da, Santos, D. C. dos, Souza, R. T. de A., Mello, A. C. L. de, & Souza, T. C. de. (2021). Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. In *Animal Feed Science and Technology* (Vol. 275). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>
- El-Mageed, T. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. E. A. M., & Abd El Tawwab, A. R. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (*bicolor* L. Moench) under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, 208(June), 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>
- El-Mageed, T. A., Semida, W. M., & Abd El-Wahed, M. H. (2016). Effect of mulching on plant water status, soil salinity and yield of squash under summer-fall deficit irrigation in salt affected soil. *Agricultural Water Management*, 173, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.025>
- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O’Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., ... Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Gan, Y., Hamel, C., Kutcher, H. R., & Poppy, L. (2017). Lentil enhances agroecosystem productivity with increased residual soil water and nitrogen. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 32(4), 319–330. <https://doi.org/10.1017/S1742170516000223>
- Hardinsyah, H., Gunawan, W. Ben, Nurkolis, F., Alisaputra, D., Kurniawan, R., Mayulu, N., Taslim, N. A., & Tallei, T. E. (2023). Antiobesity potential of major metabolites from *Clitoria ternatea* kombucha: Untargeted metabolomic profiling and molecular docking simulations. *Current Research in Food Science*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100464>
- Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K., & Christen, O. (2018). Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. In *European Journal of Agronomy* (Vol. 101, pp. 63–77). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.003>
- Henig, E. V., Santos, I. A. Dos, & Mendes, J. M. (2019). NOVA VIDA NO SERTÃO: A contribuição das Tecnologias Sociais Agroecológicas para a convivência com o Semiárido . *Revista de Pesquisa Em Políticas Públicas* , 1, 1–23.

- Henrique Novais Spósito, T., Pedro Barbosa, L., Frizzeira, N., & Boulhosa Fabris, L. (2018). Diferentes adubações na cultura do feijão guandu. *Colloquium agrariae*, *14*(Especial), 13–20. <https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.nesp.000251>
- Inácio, J. G., Da Conceição, M. G., Dos Santos, D. C., De Oliveira, J. C. V., Chagas, J. C. C., De Oliveira Moraes, G. S., Dos Santos Silva, E. T., & De Andrade Ferreira, M. (2020). Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *33*(1), 35–43. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0916>
- Inácio Silva, J. R., Silva Souza, R. M., Almeida Santos, W., Quintão de Almeida, A., Soares de Souza, E., & Dantas Antonino, A. C. (2017). Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. In *Scientia Plena* (Vol. 13, Issue 10). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109908>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, G. Í. N. da, Biesdorf, E. M., Pinheiro, A. G., Silva, M. V. da, Araújo Júnior, G. do N., Santos, A. dos, Alves, H. K. M. N., Souza, M. de S., Morais, J. E. F. de, Alves, C. P., & Silva, T. G. F. da. (2020). Potencial produtivo da cultura do *Sorghum bicolor* (L.) Moench no semiárido brasileiro: revisão. *Pubvet*, *14*(4), 1–12. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, H. K. M. N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, & Moura, M. S. B. de. (2021). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, *188*. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, & Souza, M. de S. (2020). Interação de agroecossistema consorciado com palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, *5*(1), 069–087. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>
- Jensen, E. S., Bedoussac, L., Carlsson, G., Journet, E.-P., Justes, E., & Hauggaard-Nielsen, H. (2015). Enhancing Yields in Organic Crop Production by Eco-Functional Intensification. *Sustainable Agriculture Research*, *4*(3), 42. <https://doi.org/10.5539/sar.v4n3p42>
- Karlberg, L., Rockström, J., Annandale, J. G., & Steyn, J. M. (2007). Low-cost drip irrigation-A suitable technology for southern Africa?. An example with tomatoes using saline irrigation water. *Agricultural Water Management*, *89*(1–2), 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.12.011>
- Khoury, C. K., Castañeda-Alvarez, N. P., Achicanoy, H. A., Sosa, C. C., Bernau, V., Kassa, M. T., Norton, S. L., van der Maesen, L. J. G., Upadhyaya, H. D., Ramírez-Villegas, J., Jarvis, A., & Struik, P. C. (2015). Crop wild relatives of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]: Distributions, ex situ conservation status, and potential genetic resources for abiotic stress tolerance. *Biological Conservation*, *184*, 259–270. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2015.01.032>

- Kim, K., Kim, H., Park, S. H., & Lee, S. J. (2017). Hydraulic strategy of cactus trichome for absorption and storage of water under arid environment. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01777>
- Kirchner, J. H., Robaina, A. D., Peiter, M. X., Torres, R. R., Mezzomo, W., Ben, L. H. B., Pimenta, B. D., & Pereira, A. C. (2019). Vista do Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 14, 1–9.
- Lal, R. (2017). *Improving Soil Health and Human Protein Nutrition by Pulses-Based Cropping Systems* (pp. 167–204). <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.05.003>
- Li, M., Guo, J., Ren, T., Luo, G., Shen, Q., Lu, J., Guo, S., & Ling, N. (2021). Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107550>
- Lima, C. A., Montenegro, A. A. de A., de Lima, J. L. M. P., Almeida, T. A. B., & Dos Santos, J. C. N. (2020). Use of alternative soil covers for the control of soil loss in semiarid regions. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(3), 531–542. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020193900>
- Lima, L. R., Da Silva, T. G. F., De Caldas Pereira, P., De Moraes, J. E. F., & De Sáassis, M. C. (2018). Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, 31(1), 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- Lina, A., & Eloisa, L. (2018). How do young cacti (seeds and seedlings) from tropical xeric environments cope with extended drought periods? *Journal of Arid Environments*, 154, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.03.009>
- Liu, D., Palla, K. J., Hu, R., Moseley R. C., Mendoza, C., Chen, M., Abraham, P. E., Labbé, J. L., Kalluri, U. C., Tschaplinski, T. J., Cushman, J. C., Borland, A. M., Tuskan, G. A., & Yang, X. (2018). *Perspectives on the basic and applied aspects of crassulacean acid metabolism (CAM) research*. Plant Science. <https://sci-hub.se/10.1016/j.plantsci.2018.06.012>
- Lopes, I., & Montenegro, A. A. D. A. (2019). Spatialization of electrical conductivity and physical hydraulic parameters of soils under different uses in an alluvial valley. *Revista Caatinga*, 32(1), 222–233. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n122rc>
- Maia, A. L., & Gurgel, T. C. P. (2013). Um olhar sobre a utilização de plantas forrageiras da caatinga como estratégia de convivência com a seca no alto-oeste. *Revista Geotemas*, 3(1), 31–43. <https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/454>
- Makate, C. (2019). Effective scaling of climate smart agriculture innovations in African smallholder agriculture: A review of approaches, policy and institutional strategy needs. In *Environmental Science and Policy* (Vol. 96, pp. 37–51). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.01.014>

- Mäkinen, H., Kaseva, J., Virkajärvi, P., & Kahiluoto, H. (2015). Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Research*, *183*, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.006>
- Martin-Guay, M. O., Paquette, A., Dupras, J., & Rivest, D. (2018). The new Green Revolution: Sustainable intensification of agriculture by intercropping. *Science of the Total Environment*, *615*, 767–772. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.024>
- Melgar, B., Pereira, E., Oliveira, M. B. P. P., Garcia-Castello, E. M., Rodriguez-Lopez, A. D., Sokovic, M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2017). Extensive profiling of three varieties of *Opuntia* spp. fruit for innovative food ingredients. *Food Research International*, *101*, 259–265. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.024>
- Meza-Herrera, C. A., Santamaría-Estrada, C. E., Flores-Hernández, A., Cano-Villegas, O., la Peña, C. G. De, Macias-Cruz, U., Calderón-Leyva, G., Ángel-García, O., Mellado, M., Carrillo-Moreno, D., & Véliz-Deras, F. G. (2019). The *Opuntia* effect upon the out-of-season embryo implantation rate in goats: Corpus luteal number, corpus luteal diameter and serum progesterone concentrations. *Livestock Science*, *228*, 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.002>
- Montenegro, A. A. A., Abrantes, J. R. C. B., De Lima, J. L. M. P., Singh, V. P., & Santos, T. E. M. (2013). Impact of mulching on soil and water dynamics under intermittent simulated rainfall. *Catena*, *109*, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.03.018>
- Nelson, W. C. D., Hoffmann, M. P., Vadez, V., Roetter, R. P., & Whitbread, A. M. (2018). Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, *217*, 150–166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.014>
- Nxele, X., Klein, A., & Ndimba, B. K. (2017). Drought and salinity stress alters ROS accumulation, water retention, and osmolyte content in sorghum plants. *South African Journal of Botany*, *108*, 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.11.003>
- Oliveira Filho, A. F., Coelho Bezerra, F. T., Pitombeira, J. B., Dutra, A. S., & Barros, G. L. (2016). Agronomic and biological efficiency in the castor bean intercropped with cowpea or maize. *Revista Ciencia Agronomica*, *47*(4), 729–736. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160087>
- Pedreira, C. G. S., Silva, V. J., Faria, A. F. G., Pequeno, D. N. L., Silva, L. S., & Sollenberger, L. E. (2019). Growth analysis of brachiariagrasses and ‘tifton 85’ bermudagrass as affected by harvest interval. *Crop Science*, *59*(4), 1808–1814. <https://doi.org/10.2135/cropsci2019.01.0030>
- Perazzo, A. F., Santos, E. M., Pinho, R. M. A., Campos, F. S., Ramos, J. P. de F., de Aquino, M. M., da Silva, T. C., & Bezerra, H. F. C. (2013). Características agronômicas e eficiência do uso da chuva em cultivares de sorgo no semiárido. *Ciencia Rural*, *43*(10), 1771–1776. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013001000007>
- Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on

- the FAO56 method and the dual Kc approach. In *Agricultural Water Management* (Vol. 241). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- Pinheiro, A. G., de Souza, L. S. B., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., de Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., & da Silva, T. G. F. (2021). Yield gap and cultivation strategies in improving forage production for the Brazilian semi-arid region—review. *Revista Brasileira de Geografia Física*, *14*(4), 2403–2426. <https://doi.org/10.26848/RBGF.V14.4.P2403-2426>
- Pinheiro, G. G., Zanotti, R. F., Paiva, C. E. C., Lopes, J. C., & Gai, Z. T. (2013). Efeito do estresse salino em sementes e plântulas de feijão guandu. *Enciclopédia Biosfera*, *9*, 901–912.
- Pinheiro, G., Zanotti, R., Paiva, C. E., Lopes, J. C., & Gai, Z. T. (2013). Efeito do estresse salino em sementes e plântulas de feijão guandu. *Enciclopedia biosfera*, *9*(16). <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3414>
- Pino, F., & Heinrichs, A. J. (2017). Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. *Journal of Dairy Science*, *100*(1), 224–235. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11551>
- Queiroz, M. G. de, Silva, T. G. F. da, Zolnier, S., Silva, S. M. S. e, Lima, L. R., & Alves, J. de O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *19*(10), 931–938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Rai, R. K., Bhatta, L. D., Acharya, U., & Bhatta, A. (2018). Assessing climate-resilient agriculture for smallholders. *Environmental Development*, 1–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dineu.2015.08.001>
- Rallo, G., Paço, T. A., Paredes, P., Puig-Sirera, Massai, R., Provenzano, G., & Pereira, L. S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. In *Agricultural Water Management* (Vol. 250). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- Raseduzzaman, M., & Jensen, E. S. (2017a). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, *91*, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- Raseduzzaman, M., & Jensen, E. S. (2017b). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, *91*(April), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- Rocchetti, G., Pellizzoni, M., Montesano, D., & Lucini, L. (2018). Italian opuntia ficus-indica cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*, *7*(2). <https://doi.org/10.3390/foods7020024>
- Salassi, M. E., Deliberto, M. A., & Guidry, K. M. (2013). Economically optimal crop sequences using risk-adjusted network flows: Modeling cotton crop rotations in the southeastern United States. *Agricultural Systems*, *118*, 33–40. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2013.02.006>

- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., de Souza, L. S. B., & da Silva, T. G. F. (2021a). Intensification of forage cactus production systems by rotating intercropping with grasses, legumes, and oilseeds: A review. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2369–2390. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2322-2343>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., de Souza, L. S. B., & da Silva, T. G. F. (2021b). Intensification of forage cactus production systems by rotating intercropping with grasses, legumes, and oilseeds: A review. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2369–2390. <https://doi.org/10.26848/RBGF.V14.4.P2322-2343>
- Samarappuli, D., & Berti, M. T. (2018). Accepted manuscript Development Accepted manuscript. *Journal of Cleaner Production*, 194, 515–524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.083>.This
- Santos, M. A. dos, & Santos, B. R. C. dos. (2018). Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos da mandioca e bagaço da cana de açúcar : Revisão Palm silage forage with the cassava and sugarcane bagasse by-products : Review Ensilaje de palma doce consorciada con residuos de yuca y bagazo de caña : *Pubvet Medicina Veterinária e Zootecnia*, 12(11), 1–8. <https://www.pubvet.com.br/artigo/5210/silagem-da-palma-forrageira-consorciada-com-resiacuteduos-da-mandioca-enbsp-bagaccedilo-da-cana-de-accediluacutecar-revisatildeo>
- Santos, S. J. A., Estrela, J. W. M., & Pereira, C. P. (2018). *Influência Da Cobertura Morta Sob O Uso De Água Salina Na Produção De Mudas De Gliricídia*. January 2016. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.icointerpdvagro.2016.00033>
- Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., & John, K. (2019a). Resistance screening of 14 *Cajanus cajan* (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.04.007>
- Sewsaran, R., Khan, A., Stone, R., & John, K. (2019b). Resistance screening of 14 *Cajanus cajan* (L.) Millsp. cultivars to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera:Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, 82, 67–72. <https://doi.org/10.1016/J.JSPR.2019.04.007>
- Shen, J. Y., Zhao, D. D., Han, H. F., Zhou, X. B., & Li, Q. Q. (2012). Effects of straw mulching on water consumption characteristics and yield of different types of summer maize plants. *Plant, Soil and Environment*, 58(4), 161–166. <https://doi.org/10.17221/404/2011-pse>
- Silva, A. S., da Silva, I. de F., Neto, L. de F. da S., & de Souza, C. (2011). Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região Nordeste do Brasil. *Ciencia Rural*, 41(9), 1556–1562. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011000900011>

Silva, T. G. F., Pirmo, J. T. A., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. D. S., Souza, C. A. A. DE, & Silva, M. D. C. (2015). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28, 10–18.

Souza, M. de S. (2019). *Desempenho agrônomo do consórcio palma-milheto com cobertura morta em ambiente semiárido* [Dissertação de mestrado, UFRPE]. http://ww2.pgpv.ufrpe.br/sites/default/files/testes-dissertacoes/dissertacao_marcondes.pdf

Srinivasa Rao, C., Kareemulla, K., Krishnan, P., Murthy, G. R. K., Ramesh, P., Ananthan, P. S., & Joshi, P. K. (2019). Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework. *Ecological Indicators*, 105(August 2017), 621–633. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.038>

St. Luce, M., Grant, C. A., Zebarth, B. J., Ziadi, N., O'Donovan, J. T., Blackshaw, R. E., Harker, K. N., Johnson, E. N., Gan, Y., Lafond, G. P., May, W. E., Khakbazan, M., & Smith, E. G. (2015). Legumes can reduce economic optimum nitrogen rates and increase yields in a wheat–canola cropping sequence in western Canada. *Field Crops Research*, 179, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.003>

Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ª Edição* (Artmed, Vol. 6).

Verslype, N. I., Caldas, R. M. de S., Machado, J., & Andrade, J. da S. (2015). *Potencial para o cultivo do girassol na Microrregião do Pajeú através do modelo digital do terreno | Potential for sunflower crop in the Microrregião do Pajeú through the digital terrain model | Revista Geama. Environmental Sciences.* <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/507>

Wang, S., Huang, D. you, Zhu, Q. hong, Li, B. zhong, Xu, C., Zhu, H. hua, & Zhang, Q. (2021). Agronomic traits and ionomics influence on Cd accumulation in various sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112019>

Yang, H., Liu, H., Zheng, J., & Huang, Q. (2018). Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annuum* L.) in the arid environment of Northwest China. *Irrigation Science*, 36(1), 61–74. <https://doi.org/10.1007/s00271-017-0566-4>

Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., Fan, H., Guo, Y., & Coulter, J. A. (2020). Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241(June). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>

Yin, W., Guo, Y., Hu, F., Fan, Z., Feng, F., Zhao, C., Yu, A., & Chai, Q. (2018). Wheat-Maize intercropping with reduced tillage and straw retention: A step towards enhancing economic and environmental benefits in arid areas. *Frontiers in Plant Science*, 9(October), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01328>

- Yin, W., Yu, A., Guo, Y., Wang, Y., Zhao, C., Fan, Z., Falong, H., & Chai, Q. (2018). Straw retention and plastic mulching enhance water use via synergistic regulation of water competition and compensation in wheat-maize intercropping systems. *Field Crops Research*, 229(March), 78–94. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.10.003>
- Zander, P., Amjath-Babu, T. S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schläfke, N., Kuhlman, T., Bachinger, J., Uthes, S., Stoddard, F., Murphy-Bokern, D., & Watson, C. (2016). Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2), 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0365-y>
- Zhang, W., Dong, A., Liu, F., Niu, W., & Siddique, K. H. M. (2022). Effect of film mulching on crop yield and water use efficiency in drip irrigation systems: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105392>
- Zhu, G., Yong, L., Zhang, Z., Sun, Z., Wan, Q., Xu, Y., Ma, H., Sang, L., Liu, Y., Wang, L., Zhao, K., & Guo, H. (2021). Effects of plastic mulch on soil water migration in arid oasis farmland: Evidence of stable isotopes. *Catena*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105580>

-----CAPÍTULO II-----

**DESEMPENHO DO CONSÓRCIO PALMA-FEIJÃO GUANDU-SORGO SOB
DIFERENTES ARRANJOS DE CULTIVO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO**

CAPÍTULO II: DESEMPENHO DO CONSÓRCIO PALMA-FEIJÃO GUANDU-SORGO SOB DIFERENTES ARRANJOS DE CULTIVO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

RESUMO

O entendimento das melhores estratégias para o cultivo de espécies forrageiras, juntamente com o aprimoramento das técnicas de manejo, é vital para o equilíbrio no setor da agropecuária. Dessa maneira, no semiárido, a variabilidade na produção de forragem, causada pelas condições edafoclimáticas, pode ser suprida com a introdução de espécies adaptadas e demais práticas como a consorciação de espécies, irrigação e a cobertura morta, possibilitando a sustentabilidade alimentar dos rebanhos. Com isso, o objetivo da pesquisa é avaliar o efeito do consórcio da palma forrageira com o feijão-guandu e o sorgo, na presença e ausência da cobertura morta, no crescimento, desenvolvimento e na produção das culturas. A pesquisa foi desenvolvida no período de agosto de 2022 a novembro de 2023, no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras – Centro REF, Serra Talhada – PE, Brasil na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST/UFRPE). Foi conduzido em dois ciclos produtivos da palma forrageira em sistema exclusivo e consorciado com feijão-guandu e o sorgo. A área experimental foi em blocos casualizados com seis tratamentos, com quatro repetições. No primeiro ciclo composto da palma exclusiva na presença e ausência da cobertura morta; feijão-guandu exclusivo na presença e ausência da cobertura morta; e o consórcio palma com o feijão-guandu na presença e ausência da cobertura morta. O segundo ciclo composto da palma exclusiva na presença e ausência da cobertura morta; sorgo exclusivo na presença e ausência da cobertura morta; e o consórcio palma com o sorgo na presença e ausência da cobertura morta. Foram realizadas a mensuração biométrica, taxa de crescimento, rendimento produtivo do sistema, eficiência biológica, habilidade de competição e foram submetidos ao teste de homoscedasticidade, teste de normalidade, análise de variância mediante a teste F, ao nível de 5% de significância, os efeitos significativos comparados pelo teste de médias de Tukey a 5%. No consórcio entre palma, feijão-guandu e o sorgo foi possível perceber sinergismo na presença da cobertura morta, que foi propícia ao bom desenvolvimento e aumento da produtividade de ambas, refletido em eficiência biológica. O sistema consorciado foi mais vantajoso em comparação ao exclusivo. A presença da cobertura morta esteve diretamente associada à otimização do desempenho da cultura, o que permitiu taxas de crescimento altas e significativas, destacando-se a manutenção da umidade do solo produzindo 15,32 kg ha⁻¹ de biomassa verde e 6,49 kg ha⁻¹ de biomassa seca o feijão-guandu, o sorgo a produção foi de 10,51 kg ha⁻¹ de biomassa verde e 4,23 kg ha⁻¹ de biomassa seca no primeiro ciclo, enquanto a palma produziu 22,56 kg ha⁻¹ de biomassa verde e 10 kg ha⁻¹ de biomassa seca no segundo ciclo na presença da cobertura morta. O sistema consorciado (palma+feijão guandu+sorgo) na presença da cobertura morta promoveram um maior rendimento de forragem de 428,88 Mg.ha⁻¹ de massa fresca total e 160,06 Mg.ha⁻¹ de massa seca total. Conclui-se que a adoção do consórcio em palma-feijão-guandu e palma-sorgo foram eficazes apresentando melhores rendimentos e, conseqüentemente, na maior produtividade.

Palavras-chave: cobertura morta; forrageiras; resiliência agrícola; taxa de crescimento.

PERFORMANCE OF THE PALMA-FEIJÃO-GUANDU-SORGO CONSORTIUM UNDER DIFFERENT CULTIVATION ARRANGEMENTS IN SEMIARID ENVIRONMENT

ABSTRACT

Understanding the best strategies for cultivating forage species, along with improving management techniques, is vital for maintaining balance in the agricultural sector. In the semi-arid region, variability in forage production, caused by edaphoclimatic conditions, can be mitigated through the introduction of adapted species and practices such as intercropping, irrigation, and mulching, thus ensuring the sustainability of livestock feed. This research aims to evaluate the effect of intercropping forage cactus with pigeon pea and sorghum, both with and without mulch, on the growth, development, and production of these crops. The study was conducted from August 2022 to November 2023 at the International Reference Center for Agrometeorological Studies of Forage Cactus and Other Forage Plants – REF Center, Serra Talhada – PE, Brazil, at the Academic Unit of Serra Talhada (UAST/UFRPE). It was carried out over two production cycles of forage cactus in monoculture and intercropped systems with pigeon pea and sorghum. The experimental area was organized in randomized blocks with six treatments and four replications. The first cycle included forage cactus monoculture with and without mulch, pigeon pea monoculture with and without mulch, and forage cactus intercropped with pigeon pea with and without mulch. The second cycle included forage cactus monoculture with and without mulch, sorghum monoculture with and without mulch, and forage cactus intercropped with sorghum with and without mulch. Biometric measurements, growth rates, productive yield of the system, biological efficiency, and competition ability were assessed and subjected to homoscedasticity testing, normality testing, and analysis of variance using the F-test at a 5% significance level, with significant effects compared by Tukey's test at 5%. In the intercropping of forage cactus, pigeon pea, and sorghum, synergies were observed in the presence of mulch, which contributed to the good development and increased productivity of all crops, reflecting in biological efficiency. The intercropped system proved more advantageous compared to the monoculture. The presence of mulch was directly associated with optimizing crop performance, leading to high and significant growth rates, notably maintaining soil moisture, producing 15.32 kg ha⁻¹ of green biomass and 6.49 kg ha⁻¹ of dry biomass for pigeon pea, and 10.51 kg ha⁻¹ of green biomass and 4.23 kg ha⁻¹ of dry biomass for sorghum in the first cycle, while forage cactus produced 22.56 kg ha⁻¹ of green biomass and 10 kg ha⁻¹ of dry biomass in the second cycle with mulch. The intercropped system (forage cactus + pigeon pea + sorghum) with mulch resulted in higher forage yields, producing 428.88 Mg.ha⁻¹ of total fresh mass and 160.06 Mg.ha⁻¹ of total dry mass. It is concluded that adopting intercropping of forage cactus with pigeon pea and forage cactus with sorghum was effective, resulting in better yields and, consequently, higher productivity.

Keywords: mulching; forage; agricultural resilience; growth rate.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a pecuária desempenha um papel significativo para a economia, respondendo por aproximadamente 31% do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio, além de se destacar na região semiárida brasileiro (SAB) por oferecer uma estabilidade financeira à população (Veloso *et al.*, 2020). A região tem como característica um déficit hídrico e variações anuais, combinado com o manejo agrícola ineficiente, resultando em um impacto na produção de forragem em períodos com anomalias climáticas e em períodos de escassez de água (Er-Raki *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2021). O ambiente possui limitações biofísicas como o baixo índice de precipitação (300 a 800 mm ano⁻¹), com distribuição irregular das chuvas, elevadas temperaturas, extremos climáticos como a seca e enchentes, além de uma alta variação climática sazonal e interanual, resultando em atividades agropecuárias suscetíveis aos riscos (Singh e Chudasama, 2021).

Diante disso, é fundamental alcançar a estabilidade na produção de forragem para alimento animal na região. Por isso, é crucial para assegurar a segurança alimentar de pequenas e médias propriedades rurais, além de promover renda, com isso se minimiza os impactos socioambientais causados pelo setor (Moraes *et al.*, 2019). Nesse contexto, a exploração de alternativas produtivas e o manejo integrado de práticas agrícolas são essenciais para garantir o aumento de forragem aos rebanhos. Diante dos desafios climáticos, a utilização de plantas tolerantes como cactáceas, leguminosas e gramíneas, sistemas de cultivo consorciados, irrigação e cobertura morta são essenciais para aumentar a oferta de forragem, garantir segurança alimentar e melhorar a eficiência no uso dos recursos naturais (Alves *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2018; Nunes *et al.*, 2020).

Espécies como a palma, o feijão-guandu e o sorgo podem diminuir a escassez de forragem no semiárido brasileiro. Essas plantas são adaptadas às condições adversas da região, proporcionam maior estabilidade produtiva e nutricional para os rebanhos, assegurando um fornecimento constante de forragem (Li *et al.*, 2019; Pinheiro *et al.*, 2021a; Sousa *et al.*, 2019). Além da seleção de espécies forrageiras adequadas ao clima semiárido, a produção de forragem pode ser ampliada adotando-se técnicas agrícolas que melhorem a utilização da terra e a eficiência no consumo de água (Araújo Júnior *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023).

A prática do consórcio de culturas, uso da irrigação e da cobertura morta, juntamente com o aumento da densidade de plantio, podem estimular uma maior produção de biomassa (Diniz *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2018). Alves *et al.* (2022), observaram uma vantagem no consórcio de palma com milheto, contudo, a interação entre

palma e o feijão-guandu ainda é pouco explorado, além disso, são necessários estudos sobre consórcios com maior densidade de ambas as culturas. Em estudos relatados por Diniz *et al.* (2017) e Lima *et al.* (2018), a palma consorciada com o sorgo, alcançou maior produtividade, retorno econômico e eficiência no uso da água.

O uso da cobertura morta é outra prática agrícola resiliente que busca conservar a umidade do solo, proporcionando diversos benefícios em ambiente edáfico, onde essa técnica melhora no rendimento das culturas, especialmente em áreas com baixa disponibilidade de água e altas taxas de evapotranspiração (Ding *et al.*, 2018; El-Mageed *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2018).

Aliada à prática do sistema consorciado, a irrigação é fundamental para o êxito dos cultivos agrícolas em regiões áridas e quentes (Alves *et al.*, 2020). Para assegurar a eficiência da irrigação na região semiárida, é essencial utilizar a irrigação complementar para mitigar o déficit hídrico durante a maior parte do ano, reduzindo a sazonalidade na oferta de forragem e garante a sustentabilidade alimentar dos rebanhos (Nunes *et al.*, 2020b).

Para o consórcio da palma forrageira com o feijão-guandu na presença da cobertura morta, ainda existe uma lacuna referente ao crescimento e desenvolvimento das culturas face à modificação no sistema de produção. Similarmente, o consórcio de palma com o sorgo na presença de cobertura morta necessita de mais estudos para avaliar plenamente seu impacto na produtividade e sustentabilidade na região do semiárido brasileiro.

Diante do exposto, a hipótese deste trabalho é que a palma forrageira quando consorciada com a cultura do feijão-guandu e, posteriormente com o sorgo forrageiro, responderá positivamente aos diferentes arranjos de produção, especialmente na presença da cobertura morta, maximizando seu rendimento. Com isso, o objetivo da pesquisa é avaliar o efeito do consórcio da palma forrageira com o feijão-guandu e o sorgo, na presença e ausência da cobertura morta com indicadores de crescimento, eficiência biológica e habilidade competitiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e área de estudo

Este estudo foi realizado no município de Serra Talhada, PE, Brasil, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST) no centro de referência internacional de estudos agrometeorológicos de

palma e outras plantas forrageiras cuja coordenadas geográficas são Latitude 7°56'20" Sul; Longitude 141 38°17'31" Oeste e Altitude 499 m. Segundo a classificação de Köppen, a área experimental está localizada em uma região considerada como semiárida de clima BSh com pluviometria anual inferior de 700 mm onde o período de chuva se concentra nos meses entre fevereiro a abril com variação de temperatura de 20,1 a 32,9°C e com umidade relativa do ar de 63% (Alvares *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2015).

O solo da área é caracterizado como Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico de acordo com Santos *et al.* (2018), e as propriedades físicas e químicas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Característica física e química Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, cultivado com palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Serra Talhada-PE.

Propriedade física												
Profundidade	ρ	ρ_s	\emptyset	Areia	Silte	Argila						
--- m ---	--- g cm ⁻³ ---		%	----- g kg ⁻¹ -----								
0,0 - 0,20	1,58	2,48	35,8	831,85	123,6	44,55						
Propriedades químicas do solo												
Profundidade	CE	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V	
--- m ---	dS m ⁻¹	-	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----								%
0,0 - 0,20	0,69	6,8	72,31	1,01	0,03	4,25	1,9	0,0	0,6	7,8	92,35	

ρ - densidade do solo; ρ_s - densidade dos sólidos; \emptyset - porosidade total; C.E - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; CTC - capacidade de troca de cátions; V - saturação de bases.

2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, sendo três sistemas de cultivo (palma exclusiva, consórcio palma+leguminosa/gramínea, rotação leguminosa/gramínea) e dois níveis de cobertura morta (sem e com cobertura morta), totalizando seis tratamentos: I) palma exclusiva sem cobertura morta; II) palma exclusiva com cobertura morta; III) consórcio palma+leguminosa/gramínea sem cobertura morta; IV) consórcio palma+leguminosa/gramínea com cobertura morta; V) rotação leguminosa/gramínea sem cobertura morta; VI) rotação leguminosa/gramínea com cobertura morta), com quatro repetições. A figura 1 a seguir representa os tratamentos do experimento em dois ciclos da cultura da palma consorciado em primeiro ciclo com o feijão-guandu e no segundo ciclo com a cultura do sorgo.

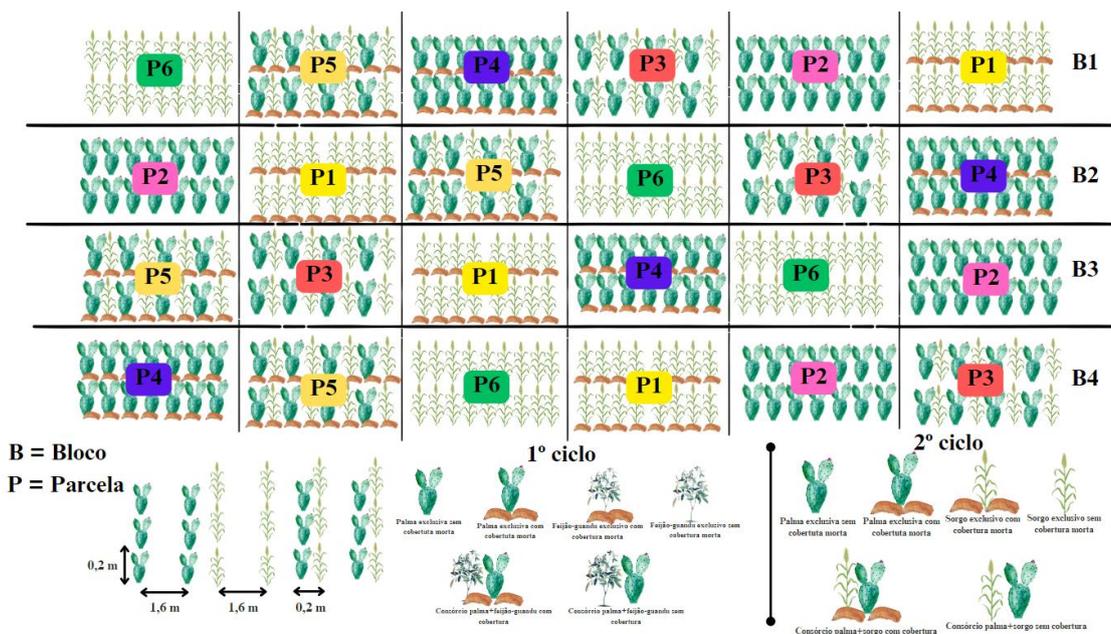


Figura 1. Representação esquemática dos seis tratamentos aplicados em dois ciclos da palma.

O material vegetal utilizado no experimento foi o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana - OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), resistente a cochonilha do carmim, que foi plantada em julho de 2016 em espaçamento de 1,6 m entre linhas e 0,2 m entre plantas ($31.250 \text{ plantas ha}^{-1}$) que já se encontra no 5º ciclo produtivo, onde as parcelas contêm $25,6\text{m}^2$. No presente estudo, foram avaliados dois ciclos experimentais, sendo o primeiro correspondente ao período de julho de 2022 a março de 2023, o segundo ciclo foi de março a novembro de 2023.

Para compor o sistema consorciado (palma+leguminosa/gramínea) e a rotação (leguminosa/gramínea) foram escolhidos foi o feijão-guandu - FG (*Cajanus cajan* L.), variedade crioula e o sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), cultivar BRS Ponta Negra.

O semeio do feijão-guandu foi realizado durante o primeiro ciclo da palma forrageira, semeado na profundidade de 0,05 m e a uma distância de 0,20 m da fileira de palma, sendo 20 plantas por metro linear. O ciclo do feijão-guandu teve duração de 180 dias, sendo o semeio em julho de 2022 e colheita em janeiro de 2023, sendo avaliado apenas um ciclo dessa cultura. O sorgo forrageiro foi conduzido durante o segundo ciclo da palma forrageira, semeado na profundidade de 0,05 m e a uma distância de 0,20 m da fileira de palma, sendo 20 plantas por metro linear. Para a cultura do sorgo forrageiro foram conduzidos dois ciclos com duração de 90 dias cada ciclo, sendo o primeiro ciclo com semeio e colheita em março e junho de 2023, respectivamente, e o segundo ciclo (rebrotar) com colheita em outubro de 2023.

A cobertura morta foi colocada uma única vez e foi composta por palha de capim corrente (*Urochloa mosambicensis*), implantada 15 dias antes das culturas do semeio da cultura consorciada utilizando aproximadamente 17,6 toneladas.

Durante o período experimental, foram monitorados e coletados dados climatológicos de estação meteorológica automática que se encontra na unidade experimental que pertence ao INMET.

A irrigação foi realizada três vezes por semana com sistema de irrigação de gotejamento onde a vazão é de 1,5 l.h⁻¹ com uma pressão de 100 kPa com espaçamento de entre as fitas de 1,5 m e o gotejo emissor em 0,2 m e a irrigação foi feita com base na taxa de 120% da evapotranspiração da cultura (ET_c) principal, com o coeficiente da cultura (K_c) de 0,52 para a cultura da palma forrageira durante todo o experimento (Queiroz *et al.*, 2015). O manejo da irrigação foi com base na evapotranspiração de referência (ET_o), usando o método de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), conforme equação 1 a seguir:

$$ET_o = \frac{0,408 \cdot \Delta (R_n - G) + \frac{Y \cdot 900 \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + Y(1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad \text{Eq.1}$$

em que, ET_o = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); Δ = declividade da curva da pressão de vapor em relação à temperatura (kPa °C⁻¹); R_n = saldo de radiação à superfície de cultivo (MJ m⁻² d⁻¹); G = densidade do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); t_{med} = temperatura do ar (°C); u₂ = velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

Para realização do cálculo da ET_o, os parâmetros foram coletados diariamente. A outra variável que é a precipitação foi coletada na estação experimental.

A água de irrigação utilizada foi proveniente de um poço artesiano com profundidade de 48 m, vazão de 12,4 m³ h⁻¹, com característica apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros químicos da água de irrigação

	Parâmetro				Classificação de Richards (1954)
	pH	Na	K	CE	
			Mg L ⁻¹	dS m ⁻¹	
Concentração	6,84	168,66	28,17	1,51	C3

2.5 Irrigação e umidade do solo

Antes de realizar as irrigações, a umidade do solo foi monitorada utilizando uma sonda capacitiva Diviner 2000® em 18 tubos de PVC com diâmetro de 50 mm e 0,70 m de comprimento, contendo 6 tubos de acesso na parcela, monitorado na profundidade 0,70

m. Espaçados a 0,10 m da fileira da palma e entre os consórcios. A sonda foi ajustada para condições locais seguindo a metodologia de (Sentek, 2001). As leituras da sonda capacitiva foram realizadas três vezes durante a semana antes da irrigação a cada 0,10 m de profundidade nas segundas, quartas e sextas.

2.6 Mensuração biométrica e biomassa das culturas e índices morfofisiológicos

A coleta de dados biométricos e de biomassa na cultura da palma foi realizada na colheita com o ciclo de 9 meses para o próximo corte da cultura. Contabilizou-se o número de plantas por parcela para verificar a densidade de plantio durante o período experimental, delimitando os estádios de crescimento e desenvolvimento (morfofisiológico) até a colheita.

Durante o período de crescimento e desenvolvimento, foram selecionadas 2 plantas representativas em cada parcela experimental deixando somente o cladódio basal. A mensuração da variável avaliada está descrita a Tabela 3.

Tabela 3. Características da palma representativo e basal consorciado com e sem a presença da cobertura morta.

Item	Variável	Descrição	Unidade de medida
1	Altura da planta (Alt)	Superfície do solo até o cladódio mais alto da planta	
2	Largura da planta (LP)	maior distanciamento horizontal entre as extremidades	
3	Largura do cladódio basal (LGB)	obtida a partir da maior largura do cladódio	cm
4	Comprimento do cladódio basal (CGB)	Obtido da parte do cladódio principal acima da superfície do solo, até o final da sua extremidade	
5	Total de cladódio (TCI)	Contabilização da quantidade de cladódio e da ordem	Nº de cladódio / planta
6	Numeração da ordem (NC1 e NC2)	Contabilização da quantidade da ordem que for surgindo oriundo do cladódio basal e sucessivamente	Nº de ordem / planta
7	Espessura (E)	Mensuração da espessura do cladódio com auxílio de um paquímetro	
8	Espessura do cladódio basal (EGB)		cm
9	Perímetro do cladódio (PC)	Mensuração a circunferência com auxílio da fita métrica	
10	Perímetro do cladódio basal (PGB)		

11	Peso da massa fresca do cladódio representativa (PMFGR)	Foram escolhidos 2 cladódios representativos para cada parcela	kg
12	Produtividade (Pr)	Em cada parcela foi cortado o cladódio presente	

O material coletado no experimento foi cortado e pesado por uma balança de precisão para se obter o peso da massa fresca total. As duas plantas representativas foram pesadas, cortadas em pedaços menores e colocados em sacos de papel identificados para estufa a 65°C de circulação forçada até atingir o peso constante. Após esse período, foi estimado a massa seca dos cladódios (MS, Mg ha⁻¹).

O monitoramento biométrico dos cultivos consorciados do feijão-guandu e o sorgo foram avaliados duas vezes em intervalos de 30 dias antes da colheita final, respectivamente. Variáveis avaliadas para o sorgo e feijão-guandu estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Descrição das variáveis adotadas na biometria do feijão-guandu e do Sorgo

Item	Variável	Descrição	Unidade de medida
1	Altura da planta	Obtida a partir da medição da base do colmo até o ponto de inserção da lâmina foliar mais alta	m
2	Número de folha viva	A contagem foi feita na avaliação biométrica	Unidades
3	Número de folha morta		
4	Número de ramificação		
5	Diâmetro do caule	Com auxílio de paquímetro, obtendo o valor a 10 cm da superfície do solo	mm

Para realização da massa fresca (kg), foram coletadas 5 plantas em cada parcela, pesada em balança de precisão, acomodadas em sacos de papel e transferidas para estufa com circulação forçada à 65°C até atingir o peso constante para determinar a massa seca (kg).

2.7 Parâmetros das taxas de crescimento do feijão-guandu e do sorgo

As biometrias foram realizadas no final do ciclo de cada cultura do experimento. Para isso, foram escolhidas duas réplicas em cada parcela experimental com auxílio de fita métrica e paquímetro.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) é uma indicação de variação e incremento de massa verde durante a produção em duas amostragens proposto por (Benincasa, 2003), conforme a equação 4:

$$TCA = \frac{(MV2 - MV1)}{(T2 - T1)} \quad \text{Eq.4}$$

Em que: TCA (Taxa de crescimento absoluto em g.dia⁻¹), MV (massa verde, em g), T (tempo, em dia) e 1 e 2 (amostras sucessivas).

A taxa de crescimento relativo (TCR) é uma variável que avalia o crescimento da planta em intervalo de tempo, conforme a equação 5:

$$TCR = \frac{(\ln MV2 - \ln MV1)}{(T2 - T1)} \quad \text{Eq.5}$$

Em que: TCR (Taxa de crescimento relativo, em g.g⁻¹.dia⁻¹), ln (logaritmo neperiano), MV (massa verde, em g), T (tempo, em dia) e 1 e 2 (amostras sucessivas).

A taxa assimilatória líquida (TAL) indica a eficiência do sistema assimilador de CO₂ e acúmulo de massa seca por unidade de área foliar durante a fase de crescimento conforme a equação 6:

$$TAL = \frac{M2 - M1}{T2 - T1} * \frac{\ln AF2 - \ln AF1}{T2 - T1} \quad \text{Eq.6}$$

Em que: TAL (Taxa de assimilação líquida, em Mg ha⁻¹ °Cdia⁻¹), MS (massa seca, em g), T (tempo em dia), 1 e 2 (amostras sucessivas) e ln (logaritmo neperiano).

A RAF é dada pela relação da área foliar com a massa seca total que representa a razão entre a superfície assimilatória e o assimilado pela superfície, conforme a equação 7:

$$RAF = \frac{AC2 - AC1}{MS2 - MS1} \quad \text{Eq.7}$$

Em que: RAF (razão da área foliar, em m².g⁻¹), AC (área foliar ajustado a cultura da palma, em m²), MS (massa seca, em g), e 1 e 2 (amostras sucessivas).

A TCC compreende a variação da massa seca com o tempo considerado a variável mais importante dentro dos parâmetros de produção analisados na fisiologia determinada conforme a equação 8:

$$TCC = \frac{MS2 - MS1}{T2 - T1} \quad \text{Eq.8}$$

Em que: TCC (taxa de crescimento da cultura, em g.m⁻².dia⁻¹), MS (massa seca, em g), e 1 e 2 (amostras sucessivas).

A fração da radiação fotossintética ativa foi determinada indiretamente pelo sensor acetômetro modelo AccuPAR LP 80. Para o cálculo da fRFA utilizou-se a equação 9:

$$fRFA_i = 1 - \frac{RFA_b}{RFA_t} \quad \text{Eq.9}$$

Ao final de cada ciclo do sistema rotativo, foram contabilizadas as plantas do sistema consorciado presentes na parcela experimental para obter a densidade de plantio final (desprezando uma planta nas extremidades antes do corte). Posteriormente, foi determinado a massa fresca (kg), com a realização do corte e pesados os cladódios mantendo em campo o cladódio basal e da primeira ordem, e selecionando 5 plantas por parcela. O feijão-guandu e o sorgo foram pesados por uma balança de precisão para extrapolar a produtividade das culturas. Após o corte, o material vegetativo selecionado foi acondicionado em sacos de papel e colocados em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir o peso constante para determinação da massa seca (kg) do material vegetativo avaliado no campo.

2.7 Eficiência biológica

Parâmetros de eficiência biológica entre as culturas foram consorciadas. Os índices dos parâmetros avaliados foram calculados conforme Diniz *et al.* (2017); Sadeghpour *et al.* (2013). O uso eficiente da terra no consórcio entre palma, feijão-guandu e o sorgo foram determinados pela equação 10 (LIU *et al.*, 2018):

$$UET = \frac{Y_{ab}}{Y_{aa}} + \frac{Y_{ba}}{Y_{bb}} \quad \text{Eq.10}$$

Em que, Y_{ab} e Y_{ba} – produtividade da palma, feijão-guandu e do sorgo no sistema consorciado; Y_{aa} e Y_{bb} – produtividade da palma, feijão-guandu e do sorgo em sistema monocultivo; o valor calculado da UET superior a 1,0 significa na vantagem do uso do sistema consorciado, entretanto, se o resultado for inferior ou igual a 1,0 tem desvantagem do sistema consorciado.

Os parâmetros RAET (razão de área equivalente no tempo), CET (coeficiente equivalente de terra) e IPS (índice de produtividade do sistema) foram determinados pelas equações 11, 12 e 13 respectivamente para avaliar a eficiência biológica do sistema consorciado (Diniz *et al.*, 2017; Xiao *et al.*, 2018):

$$RAET = \frac{(UET_p * t_p) + (UET_s * t_s)}{t_{ps}} \quad \text{Eq. 11}$$

$$CET = (UET_p * UET_s) \quad \text{Eq.12}$$

$$IPS = \left(\frac{Y_{aa}}{Y_{bb}} * Y_{ba} \right) + Y_{ab} \quad \text{Eq. 13}$$

em que, t_p - tempo em dias do ciclo da palma forrageira; t_s - tempo em dias do ciclo do feijão-guandu e o sorgo; t_{ps} - tempo total do sistema de cultivo.

Para se determinar os índices de competição foram usados coeficientes de adensamento relativo (k) no qual representa a vantagem e domínio de uma cultura consorciada sobre a outra, segundo as equações 14, 15 e 16 (Diniz *et al.*, 2017; Xiao *et al.*, 2018):

$$k = (k_{ps} * k_{sp}) \quad \text{Eq. 14}$$

$$k_{ps} = \frac{(Y_{ab} * Z_{ba})}{(Y_{aa} - Y_{ab}) * Z_{ab}} \quad \text{Eq. 15}$$

$$k_{sp} = \frac{(Y_{ba} * Z_{ab})}{(Y_{bb} - Y_{ba}) * Z_{ba}} \quad \text{Eq. 16}$$

em que, K_{ps} (coeficiente de adensamento relativo da palma sobre o sorgo); K_{sp} (coeficiente de adensamento relativo do sorgo sobre a palma); o resultado de k superior a 1,0 informa que o consorcio possui vantagem em sistema considerado como monocultivo; o valor k menor ou igual a 1,0, resulta que o sistema consorciado como não vantajoso em relação ao sistema de plantio em monocultivo.

2.8 Habilidade competitiva

Outro parâmetro avaliado é o índice de agressividade da cultura da palma sobre planta consorciada, equações 17 e 18:

$$A_{ab} = \left(\frac{Y_{ab}}{(Y_{aa} * Z_{ab})} \right) - \left(\frac{Y_{ba}}{(Y_{ba} * Z_{ba})} \right) \quad \text{Eq. 17}$$

$$A_{ba} = \left(\frac{Y_{ba}}{(Y_{bb} * Z_{ba})} \right) - \left(\frac{Y_{ab}}{(Y_{aa} * Z_{ab})} \right) \quad \text{Eq. 18}$$

em que: o coeficiente Z_{ab} é a proporção de plantio da palma em sistema consorciado (20% - 50.000 pl.ha⁻¹); Z_{ba} é o coeficiente da proporção de plantio da cultura consorciada com a palma (80% - 200.000 pl.ha⁻¹); o resultado de A_{ab} se for superior a 0, indica competitividade da palma sobre a cultura consorciada; se o valor for inferior a 0, mostra competitividade da cultura consorciada sobre a palma; caso o resultado for igual a zero, indica igualdade na competição das culturas consorciadas.

A comparação entre o monocultivo e o sistema consorciado foi avaliada pela perda ou ganho real de rendimento (PGAR) equação 10. A vantagem dessa comparação entre a palma e a cultura consorciada foi calculada pela razão de competitividade (RC) pelas equações 19, 20 e 21:

$$PGAR = [UET_p * \left(\frac{Y_{ba}}{Y_{bb} * Z_{ba}} \right) - 1] - [UET_s * \left(\frac{Y_{ab}}{Y_{aa} * Z_{ab}} \right) - 1] \quad \text{Eq. 19}$$

$$RCa = \frac{UET_p}{UET_s} * \frac{Z_{ba}}{Z_{ab}} \quad \text{Eq. 20}$$

$$RCb = \frac{UET_p}{UET_s} * \frac{Z_{ba}}{Z_{ab}} \quad \text{Eq. 21}$$

em que, a proporção da cultura consorciada com a palma foi determinada pelos coeficientes, UET_p (uso eficiente da terra parcial da palma forrageira); UET_s (uso eficiente da terra parcial do sorgo); Z_{ab} e Z_{ba} (proporção de plantio da palma forrageira consorciada com o sorgo).

2.9 Análise estatística

Os dados de crescimento, morfológicos, índice competitivo e eficiência biológica foram submetidos teste de normalidade (Shapiro-Wilk test), análise de variância ($p < 0,05$), e os efeitos significativos foram comparados pelo teste de médias de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas pelo software Statistica e a confecção dos gráficos utilizando o Sigmaplot (versão 14).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de condução do experimento, a precipitação acumulada foi de 373,20 mm, sendo as maiores lâminas concentradas entre outubro e dezembro. A irrigação total acumulada foi de 278 mm e a ETo acumulada foi de 716,1 mm, sendo a partir de outubro foi o período com maior demanda hídrica das culturas por ser um período fenológico que necessita maior recurso hídrico por estar passando da fase vegetativa para reprodutiva (Figura 2).

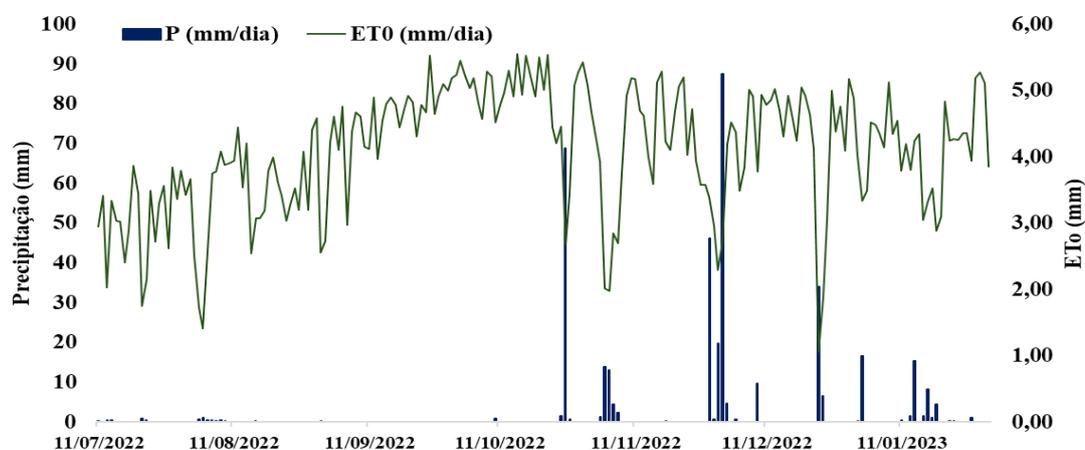


Figura 2. Distribuição da precipitação e evapotranspiração de referência do feijão-guandu no período de 11 de julho de 2022 a 31 de janeiro de 2023 – Serra Talhada, PE.

3.1 Variáveis biométricas e rendimento de forragem do feijão-guandu, sorgo e palma forrageira

3.1.1 Variáveis biométricas do feijão-guandu

Na Tabela 5, observa-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas variáveis biométricas do feijão-guandu conforme evidenciado pelo teste F. Não houve efeito significativo dos fatores para o comprimento de ramo (CR) e número de ramos (NR) ($p > 0,05$).

Tabela 5. Resumo da análise de variância da altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC), número de ramos (NR), comprimento de ramo (CR) e largura de ramo (LR) da cultura do feijão-guandu no sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Colheita						
Quadrado médio						
FV	GL	AP	DC	NR	CR	LR
Sist. de cult.	1	878,82**	29,53**	11,91ns	36,69ns	878,67*
S/C cob.	1	1315,87**	22,04*	13,41ns	111,88ns	1334,62*
Interação	1	6,91**	0,10**	18,77ns	4,71ns	279,47*
Bloco	3	12,35ns	1,22ns	1,98ns	21,84ns	261,67ns
Erro	9	20,47	2,16	6,35	13,41	127,58
CV(%)		2,91	8,85	24,57	21,64	21,06

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Observa-se uma tendência de aumento nas variáveis AP, DC e LR no sistema com a presença da cobertura morta (Tabela 6). Portanto, o aumento progressivo na morfologia da cultura retrata que as condições de manejo sejam na presença ou ausência da cobertura morta e o consórcio, influenciam positivamente no desenvolvimento e no crescimento da cultura.

Tabela 6. Altura de planta (AP), diâmetro de colmo (DC) e largura do ramo (LR) da cultura do feijão-guandu no sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Médias				
Cobertura	Sist. de cult.	AP	DC	LR
Sem	FG exc	138,20bB	16,73aB	56,08aA
	FG/P	154,34aB	14,17bA	32,90bB
Com	FG exc	171,16aA	19,24aA	65,99aA
	FG/P	157,65bA	16,36bA	59,53aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; AP – Altura de planta; DC – Diâmetro de colmo; CR – Comprimento de ramo; LR – Largura de ramo; FG exc – Feijão-guandu exclusivo; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

Dados semelhantes de altura de planta da pesquisa foi encontrado no trabalho de Thadeu *et al.* (2018), onde avaliou o efeito da adubação química e orgânica no feijão-guandu, a altura de planta teve uma variação de 1,46 a 1,80 m, enquanto neste estudo, ficou entre 1,38 e 1,71 m, onde a presença da cobertura morta apresentaram maiores com altura média no sistema exclusivo e consorciado 171,16 e 157,65 cm, respectivamente.

Essa semelhança com relação à altura sugere uma possível influência comum entre os fatores como a genética da planta, o manejo da cultura e a condição ambiental. Por isso que é importante compreender os fatores que interagem na otimização do crescimento e o rendimento do feijão-guandu em diferentes contextos agrícolas.

Os sistemas associados com a presença da cobertura morta, resultaram em plantas com maiores altura de planta (AP), isso é devido que à medida que o resíduo vegetal vai se decompondo, disponibiliza nutrientes as plantas, além de fazer um papel de reter umidade do solo. Na cultura do feijão-guandu consorciado com a palma mostrou-se um aumento significativo, indicando uma interação positiva entre as espécies no sistema de cultivo.

Contudo, nota-se que os tratamentos na presença da cobertura morta favoreceram no crescimento da cultura comparado sem a cobertura morta, apresentando menores médias. Isso sugere que a presença da cobertura morta estimulou a estrutura e a ramificação.

3.1.2 Variáveis do rendimento de forragem do feijão-guandu

Observa-se na Tabela 7 que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas variáveis de produtividade de massa fresca (MF) e seca (MS) do feijão-guandu.

Tabela 7. Variáveis do rendimento de forragem do feijão-guandu no sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Colheita			
Quadrado médio			
FV	GL	MF	MS
Sist. de cult.	1	82330428**	23167626**
S/C cob.	1	345211259**	74419706**
Interação	1	2315058**	3583862**
Bloco	3	4467231ns	4683541ns
Erro	9	6155168	2062314
CV(%)		19,74	23,89

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; MF – Massa fresca; MS – Massa seca; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Com relação ao rendimento de forragem da cultura do feijão-guandu, a presença da cobertura morta apresentou maior rendimento em MF e MS, diferenciando dos demais sistemas sem a cobertura morta ($p < 0,05$). No experimento de Pfüller *et al.* (2019) realizado na região Sul do Brasil, foi verificada ampla variação com relação a produtividade de biomassa verde da cultura, oscilando entre 10 a 26 t ha⁻¹ e 1370 kg ha⁻¹ de massa seca. Em contraste a esses resultados, o experimento apresentou uma produtividade mais consistente e significativa, evidenciando uma obtenção de 19,10 .ha⁻¹ e 9,84 Mg ha⁻¹ no sistema exclusivo e 15,32 Mg h⁻¹ e 6,49 Mg ha⁻¹ no sistema consorciado com a palma forrageira de massa verde e seca, respectivamente, em ambos os sistemas de cultivo, com a presença da cobertura morta (Tabela 8).

Tabela 8. Variáveis de rendimento de massa fresca (MF) e seca (MS) da cultura do feijão-guandu no sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Cobertura	Sist. de cult.	Médias	
		MF	MS
Sem	FG exc	10,57aB	4,58aB
	FG/P	5,27bB	3,12bB
Com	FG exc	19,10aA	9,84aA
	FG/P	15,32bA	6,49bA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MF – Massa fresca (Mg.ha⁻¹); MS – Massa seca (Mg.ha⁻¹); FG exc – Feijão-guandu exclusivo; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

A presença da cobertura morta teve um impacto significativo na produtividade do feijão-guandu. A biomassa verde e seca foram superiores na pesquisa de Thadeu *et al.* (2018), avaliaram diferentes tipos de adubação, onde a massa verde apresentou uma variação de 14,34 a 17,09 Mg.ha⁻¹ e de massa seca entre 4,09 a 5,29 Mg.ha⁻¹, mostrando o benefício do uso da cobertura morta, sendo notável melhoria na produtividade, tanto de massa fresca quanto a seca, em comparação com o tratamento da ausência da cobertura.

Esses resultados mostram uma adaptação do feijão-guandu com as condições do semiárido, sugerindo que as estratégias da incorporação de resíduos vegetais desempenham um papel importante para maximizar a produção da cultura na região.

Os resultados desta pesquisa indicam que adoção da cobertura morta nos tratamentos foi positiva, sendo no sistema do feijão-guandu exclusivo com a cobertura a produção foi 80,64% superior ao tratamento sem a cobertura e no feijão-guandu consorciado com a palma na presença da cobertura, foi de 190,44% com relação ao tratamento sem cobertura. Outro destaque é que os tratamentos com a cobertura morta,

não teve diferença significativa, onde esses resultados mostram que a adoção da cobertura morta é uma estratégia promissora para região do semiárido para otimizar a produção da cultura.

Observa-se que a presença da cobertura morta elevou na produtividade da MF e MS, no qual mostra a importância da cobertura morta na produtividade da cultura. No sistema FG exc, a presença do resíduo vegetal, aumentou no NR, entretanto, no consórcio com a palma sem a cobertura morta, o desempenho foi diferente, resultando resultados na presença da cobertura, sugerindo que houve um efeito negativo nessa interação devido a competição entre as espécies por recursos ou inibição no crescimento das culturas.

A utilização de resíduos vegetais como uma camada protetora no solo é altamente benéfica para aumentar a produtividade dos cultivos agrícolas. Essa prática auxilia na retenção da umidade do solo, fornece nutrientes durante a decomposição, aprimora as características físicas e químicas do solo, e estimula o desenvolvimento das raízes, o que, por conseguinte, favorece a maior absorção de água e nutrientes (El-Mageed *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2023).

3.2 Variáveis biométricas e rendimento de forragem do sorgo

3.2.1 Variáveis biométricas do sorgo

Na Tabela 9 estão representados os valores da ANOVA das variáveis biométricas do sorgo sem/com da cobertura morta em dois ciclos da cultura nos dois ciclos da cultura do sorgo. Observa-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas variáveis AP, DC e NFV no primeiro ciclo e no segundo ciclo a variável NFV, conforme o teste F. Não houve efeito significativo nas variáveis AP e DC no segundo ciclo da cultura do sorgo.

Tabela 9. Resumo da análise de variáveis da altura de planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e número de folha viva (NFV) da cultura do sorgo no sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

1º ciclo				
Fonte de variação	GL	AP	DC	NFV
Sistema de cultivo	1	43,49*	0,12*	0,25ns
Sem/Com cobertura	1	6,96ns	0,11*	9,00**
Interação	1	19,44**	0,06**	0,00**
Bloco	3	3,27ns	0,04ns	0,75ns
Erro	9	5,86	0,01	0,69
CV(%)		1,66	13,13	17,75
2º ciclo				
Fonte de variação	GL	AP	DC	NFV
Sistema de cultivo	1	8,02ns	0,008ns	0,25ns
Sem/Com cobertura	1	1356,69**	0,06*	6,25**
Interação	1	100,00ns	0,0006ns	0,25**

Bloco	3	169,40ns	0,03ns	0,41ns
Erro	9	50,17	0,02	0,41
CV(%)		5,55	11,04	8,75

Os asteriscos (*, **) denotam significância de 0,05 e 0,01 respectivamente; AP – altura de planta; DC – diâmetro de colmo; NFV – número de folha viva.

O fato que AP e DC terem sido significativos, sugere que o crescimento e o desenvolvimento da cultura foram maiores neste período, mostrando que o sistema de cultivo influencia no crescimento da planta.

Carvalho *et al.* (2021), trabalhando com o sorgo forrageiro no semiárido pernambucano, destacam a superioridade das plantas do sorgo quando foram submetidas a cobertura morta no sistema de cultivo, promovendo a elevação na morfofisiológica e na produtividade da cultura.

Na Tabela 10, são representadas as médias das variáveis biométricas da cultura do sorgo de dois ciclos. Nota-se no primeiro ciclo a ausência/presença da cobertura morta não foi afetada sobre AP, o que pode estar atrelado que a cultura se adaptou durante o período experimental, entretanto, houve diferença significativa entre o sistema de cultivo, com destaque o sistema consorciado. No segundo ciclo, a presença da cobertura morta nos sistemas de cultivos foi responsável pelos maiores valores em relação ao sistema sem a presença da cobertura morta.

Tabela 10. Variáveis biométricas da cultura do sorgo no sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Cobertura	Sist. de cult.	1º ciclo do sorgo		2º ciclo do sorgo	
		AP	DC	NFV	NFV
Sem	S exc	144,36aA	0,92aA	6,50aB	6,75aB
	S/P	145,46aA	0,62bB	6,25aB	6,75aB
Com	S exc	143,48bA	0,96aA	8,00aA	7,75aA
	S/P	148,98aA	0,91bA	7,75aA	8,25aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; S exc – Sorgo exclusivo; S/P – Sorgo consorciado com palma; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

A altura de planta (AP) e diâmetro de colmo (DC) quando submetida na presença da cobertura morta para o segundo ciclo da cultura do sorgo apresentou uma superioridade comparada sem a cobertura morta (Tabela 11). Observa-se que no tratamento com a cobertura morta apresentou valores médios superiores com relação a sem a cobertura, com um incremento de 15,56% em AP e 10,48% em DC.

Tabela 11. Altura de planta (AP) e diâmetro de colmo (DC) da cultura do sorgo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

		2º ciclo do sorgo	
--	--	-------------------	--

Médias		
Cobertura	AP	DC
Sem	118,37	1,24
Com	136,79	1,37

Nota: AP – Altura de planta (cm); DC – Diâmetro de colmo (mm);

3.2.2 Variáveis de rendimento de forragem do sorgo

Na Tabela 12, nota-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) em massa fresca (MF) e seca (MS) da cultura do sorgo no primeiro e segundo ciclo da cultura, conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 12. Rendimento de massa fresca (MF) e seca (MS) do sorgo em sistema de cultivo e consorciado sem/com a cobertura morta em dois ciclos da cultura, em Serra Talhada - PE.

1º ciclo do sorgo			
Fonte de variação	GL	MF	MS
Sistema de cultivo	1	0,17ns	0,45ns
Sem/Com cobertura	1	43,46*	8,74**
Interação	1	3,78**	0,26**
Bloco	3	9,64ns	0,13ns
Erro	9	3,93	0,12
CV(%)		22,36	11,13
2º ciclo do sorgo			
Fonte de variação	GL	MF	MS
Sistema de cultivo	1	50,87*	13,91ns
Sem/Com cobertura	1	271,50**	70,56**
Interação	1	2,34**	1,41**
Bloco	3	5,34ns	1,52ns
Erro	9	9,79	3,82
CV(%)		15,18	22,89

Os asteriscos (*, **) denotam significância de 0,05 e 0,01 respectivamente; MF – massa fresca; MS – massa seca; CV – Coeficiente de variação; GL – Grau de liberdade.

Na Tabela 13 pode-se observar os valores médios do rendimento da cultura do sorgo em dois ciclos produtivos sob condição exclusivo e consorciado com a palma sem/com a cobertura morta.

Tabela 13. Massa fresca (MF) e seca (MS) do sorgo em sistema de cultivo e sem/com cobertura, em Serra Talhada-PE.

Médias - Sorgo 1ª colheita			
Cobertura	Sist. de cult.	MF	MS
Sem	S exc	7,42aB	2,41aB
	S/P	6,24aB	2,49aB
Com	S exc	9,75aA	3,63aA
	S/P	10,51aA	4,23aA
Médias - Sorgo 2ª colheita			
Cobertura	Sist. de cult.	MF	MS

Sem	S exc	17,89aB	7,67aB
	S/P	15,09bB	5,21bB
Com	S exc	26,89aA	11,27aA
	S/P	22,56bA	10,00aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MF – massa fresca Mg.ha⁻¹; MS – massa seca Mg.ha⁻¹; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S exc – Sorgo exclusivo; S/P – Sorgo consorciado com palma.

No primeiro ciclo do sorgo, verifica-se que a presença de resíduos vegetais causou um impacto positivo na produtividade. No sistema do sorgo exclusivo, quando foram comparados com os sistemas de cultivo e sem/com a cobertura morta, verificou-se um incremento de 68,42% e 69,87% na produtividade de massa fresca e seca, respectivamente. O efeito foi ainda maior no sistema consorciado, com uma superioridade de 11,05% e 16,52% na produtividade de massa fresca e seca, respectivamente, quando comparado ao tratamento sem a cobertura morta. Sousa *et al.* (2019), constataram uma redução na biomassa seca da cultura do milho em sistema de cultivo sem a cobertura morta.

O mesmo efeito foi observado no segundo ciclo do sorgo, onde no tratamento sorgo exclusivo com a presença da cobertura morta, a superioridade com relação na ausência da cobertura morta, foi de 50,30% e 55,02% de produtividade de massa fresca e seca, respectivamente. No sistema consorciado com a palma forrageira na presença de resíduos vegetais, o incremento foi de 49,50% e 91,93% de massa fresca e 210,46% e 136,40% de seca, nos sistemas exclusivo e consorciado respectivamente. Os resultados demonstram a relevância da cobertura morta na prática agrícola, mostrando sua eficácia na produtividade do sorgo, em especial quando consorciado com a palma forrageira.

A explicação da redução de biomassa fresca e seca da cultura do sorgo sem a cobertura morta pode estar ligado ao aumento de gasto energético necessário para a manutenção da cultura, devido à diminuição da umidade do solo, levando a planta a investir mais na sua sobrevivência do que no acúmulo de fotoassimilados (Taiz *et al.*, 2017).

Por esse motivo, a intensificação sustentável de cultivos agrícolas como práticas como a irrigação, cobertura morta e consórcio de cultivos adaptadas ao clima semiárido, pode impulsionar o aumento da oferta de forragem sem que se prejudique o ecossistema. Essas práticas vêm ganhando destaque na região por ser promissora e sustentável (Salvador *et al.*, 2021).

A cultura do sorgo tem uma particularidade de reduzir seu vigor produtivo com os cortes realizados e iniciando outro ciclo. Segundo Silva *et al.* (2012), os cortes realizados na cultura causam um estresse, causando uma redução de carboidratos de reserva, resultando uma diminuição do seu potencial produtivo. No nosso estudo, observou-se que não teve redução do rendimento de forragem do primeiro ao segundo ciclo da cultura, e sim um aumento nos rendimentos massa fresca e seca com maiores valores de rendimento do sorgo no segundo ciclo da cultura.

A partir dos resultados, nota-se que os maiores valores de rendimento de massa fresca e seca na cultura do sorgo foi no sistema exclusivo com relação ao consórcio com a palma, a explicação para isso é que houve competição interespecífica entre as culturas (Makino, Ceccon e Fachinelli, 2019), pois no sistema, tem uma competição inter e intraespecífica entre o sorgo e a palma por recursos como água, luz e nutrientes.

3.3 Variáveis biométricas e rendimento de forragem da palma forrageira

3.3.1 Variáveis biométricas da palma

Na Tabela 14, foi constatada diferença significativa ($p < 0,05$) entre sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta nos parâmetros analisados da cultura da palma sobre número total de cladódio (NTC) no primeiro ciclo e no segundo ciclo as variáveis foram altura de planta (AP) e número total de cladódio (NTC). Em análise de variância para a cultura da palma consorciada com o feijão-guandu durante o primeiro ciclo produtivo, as variáveis que indicaram efeito significativo isolado ($p < 0,05$) no sistema de cultivo foram altura de planta (AP), número total de cladódios de 1ª ordem (NTC1) e número total de 2ª ordem (NTC2) nos fatores sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta. No segundo ciclo produtivo da cultura da palma foram as variáveis NTC1 e NTC2.

Tabela 14. Resumo da análise de variância da biometria da cultura da palma em sistema de cultivo exclusivo e consorciado em dois ciclos produtivos sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

1º ciclo da palma exclusiva e consorciado com feijão-guandu					
Quadrado médio					
FV	GL	AP	NTC	NTC1	NTC2
Sist. de cult.	1	370,56**	2,25ns	1,56**	0,06**
S/C cob.	1	495,06**	132,25**	33,06**	95,06**
Interação	1	1,56ns	0,25**	0,06ns	5,06ns
Bloco	3	40,27ns	3,75ns	0,22ns	0,56ns
Erro	9	32,43	5,97	0,22	1,00
CV(%)		7,84	15,39	9,01	9,97
2º ciclo da palma exclusiva e consorciado com sorgo					
Quadrado médio					
FV	GL	AP	NTC	NTC1	NTC2
Sist. de cult.	1	126,56**	49,00**	0,25ns	5,06ns
S/C cob.	1	1072,56**	182,25**	25,00**	264,06**

Interação	1	115,56**	4,00**	1,00ns	22,56ns
Bloco	3	8,39ns	2,25ns	0,91ns	3,89ns
Erro	9	8,50	1,75	0,97	6,28
CV(%)		4,01	7,72	20,23	20,16

Nota: Os asteriscos (**,*) denotam significância de 0,01 e 0,05; AP – Altura de planta; NTC – Número total de cladódios; NTC1 – Número total de cladódio de primeira ordem; NTC2 – Número total de cladódio de segunda ordem; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – sem/com a cobertura morta; FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

É importante ressaltar que a significância da variável pode estar relacionada aos fatores de cada tratamento, como na interação entre o cultivo consorciado ou exclusivo e, na presença e ausência da cobertura morta, além da qualidade do solo, condições climáticas e a prática de manejo que podem influenciar no crescimento da cultura.

A Tabela 15 mostra que os valores médios dos parâmetros biométrico da cultura da palma, com maiores valores de NTC (19,25 un) no sistema consorciado com o feijão-guandu e na presença da cobertura morta no primeiro ciclo da palma. No segundo ciclo da palma consorciado com o sorgo, percebeu-se que AP e NTC se destacou na presença da cobertura morta, apresentando valores médios de 86,50 cm e 21,75 un, respectivamente.

Tabela 15. Parâmetros biométricos da cultura da palma consorciado com feijão-guandu e o sorgo durante dois ciclos produtivos.

1º ciclo da palma consorciado com o feijão-guandu			
Médias			
Cobertura	Sist. de cult.	NTC	
Sem	P exc	12,75aB	
	P/FG	13,25aB	
Com	P exc	18,25aA	
	P/FG	19,25aA	
2º ciclo da palma consorciado com o sorgo			
Médias			
Cobertura	Sist. de cult.	AP	NTC
Sem	P exc	64,50aB	11,50aB
	P/S	64,75aB	16,00aB
Com	P exc	75,50bA	19,25bA
	P/S	86,50aA	21,75aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; AP – Altura de planta (cm); NTC – Número total de cladódios (un); Sist. de cult. – Sistema de cultivo; P exc – Palma exclusivo; P/FG – Palma consorciado com o feijão-guandu; P/S – Palma consorciado com o sorgo.

Para o primeiro ciclo da cultura da palma exclusivo e consorciado com o feijão-guandu na presença da cobertura morta, observa-se que AP, NTC1 e NTC2 no primeiro ciclo e no segundo ciclo as variáveis NTC1 e NTC2 apresentando todos os valores foram superiores (Tabela 16). Observa-se que os fatores sistema consorciado e sem/com a

cobertura morta, apresentaram os maiores valores médios em AP, NTC1 e NTC2 tanto no primeiro ciclo da cultura da palma. No segundo ciclo produtivo, a presença da cobertura morta resultou em maiores valores médios de NTC1 e NTC2.

Tabela 16. Altura de planta (AP), Número total de cladódio de 1ª ordem (NTC1), Número total de cladódio de 2ª ordem (NTC2) da cultura da palma em sistema exclusivo e consorciado com feijão-guandu no primeiro ciclo e com o sorgo no segundo ciclo produtivo sem/com cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

1º ciclo da palma consorciado com o feijão-guandu							
Médias							
Sist. de cult.	AP	NTC1	NTC2	Cobertura	AP	NTC1	NTC2
P exc	67,87	3,50	8,25	Sem	67,12	3,87	7,62
P/FG	77,50	4,25	7,00	Com	78,25	6,75	12,5
2º ciclo da palma consorciado com o sorgo							
Médias							
Cobertura	NTC1		NTC2				
Sem	3,62		8,37				
Com	6,12		16,50				

Nota: AP – Altura de planta (cm); NTC1 – Número total de cladódio de primeira ordem (un); NTC2 – Número total de cladódio de segunda ordem (un); Sist. de cult. – Sistema de cultivo; P exc – Palma exclusivo; P/FG – Palma consorciado com o feijão-guandu; P/S – Palma consorciado com o sorgo.

A presença da cobertura morta no tratamento exclusivo foi maior comparado com os outros tratamentos, no qual a cobertura morta pode ter ajudado na conservação da umidade do solo, disponibilizando o recurso hídrico as plantas, além do fato que a cobertura morta da palhada e da serrapilheira do feijão-guandu pode ter fornecido nutrientes à cultura à medida que o material vegetal se decompôs.

3.3.2 Variáveis de rendimento de forragem da cultura da palma

Os valores do rendimento de massa fresca (RMF) e rendimento de massa seca (RMS) da cultura da palma cultivado sob diferentes consórcios durante dois ciclos produtivos (1º ciclo – feijão-guandu e 2º ciclo – sorgo) são apresentados na Tabela 17. Observa-se que a interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura morta promoveram efeito significativo nas variáveis rendimento de massa fresca (RMF) e seca (RMS) nos dois ciclos da cultura da palma, conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 17. Resumo da análise de variância do rendimento de massa fresca (RMF) e seca (RMS) da cultura da palma consorciado com feijão-guandu e o sorgo durante dois ciclos produtivos, em Serra Talhada-PE.

1º ciclo da palma consorciado com feijão-guandu			
Quadrado médio			
FV	GL	RMF	RMS
Sist. de cult.	1	235,91ns	11,93ns
S/C cob.	1	2637,78**	77,79*
Interação	1	111,89*	3,44*
Bloco	3	26,58ns	3,41ns

Erro	9	119,09	3,77
CV(%)		13,84	20,01
2º ciclo da palma consorciado com sorgo			
Quadrado médio			
FV	GL	RMF	RMS
Sist. de cult.	1	1834,24*	26,87*
S/C cob.	1	31185,35*	382,52*
Interação	1	4135,10*	0,30*
Bloco	3	17,69ns	1,86
Erro	9	53,84	3,59
CV(%)		4,31	8,68

Nota: Os asteriscos (**,*) denotam significância de 0,01 e 0,05, respectivamente; RMF – Rendimento de massa fresca (Mg.ha⁻¹); RMS – Rendimento de massa seca (Mg.ha⁻¹); Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem ou com cobertura; FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação.

O tratamento palma exclusiva com a presença da cobertura morta, diferenciou-se da palma exclusiva sem a cobertura morta, apresentando uma vantagem produtiva de RMF de 31,46% e RMS de 49,01%, e no sistema consorciado, a vantagem foi de 49,01% em RMF e 67,59% RMS (Tabela 18). Silva *et al.* (2014), ao analisarem a mesma variedade de palma, na região do semiárido observaram um destaque na eficácia no aproveitamento da água na produção de biomassa seca.

Tabela 18. Rendimento de massa fresca (RMF) e seca (RMS) da palma forrageira em sistemas de cultivo exclusivo e consorciado com o feijão-guandu no primeiro ciclo e com o sorgo no segundo ciclo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada - PE.

1º ciclo da palma exclusiva e consorciado com feijão-guandu			
Cobertura	Sist. de cult.	RMF	RMS
Sem	P exc	64,81aB	7,10aB
	P/FG	67,20aA	7,90aA
Com	P exc	85,20aB	10,58aB
	P/FG	98,17aA	13,24aA
2º ciclo da palma exclusiva e consorciado com sorgo			
Cobertura	Sist. de cult.	RMF	RMS
Sem	P exc	131,40aB	15,81bB
	P/S	120,65bB	18,12aB
Com	P exc	187,53bA	25,31bA
	P/S	241,11aA	28,18aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; RMF – Rendimento de massa fresca (Mg.ha⁻¹); RMS – Rendimento de massa seca (Mg.ha⁻¹); Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

As variáveis RMF e RMS no consórcio com a cobertura morta foram superiores aos demais sistemas, apresentando ~51,47, 15,22 e 46,08 vezes para P exc SC e CC, e P/FG SC, respectivamente. A razão disso pode explicada com base na eficácia da palma consorciada na utilização da água, sendo convertida em biomassa. Lima *et al.* (2018)

adotando um sistema consorciado, verificaram um aumento da eficiência do uso da água com base biomassa.

A palma, graças a sua significativa produção de biomassa e a sua eficiência no uso da água, destaca-se pelo seu potencial na produção de matéria-prima (Yang *et al.*, 2015). A cultura do feijão-guandu tem um potencial que está ligado aos impactos que são gerados pela fixação biológica de nitrogênio na área de cultivo, o que resulta no fornecimento do nutriente para a cultura seguinte (Neres *et al.*, 2012).

Em relação a presença/ausência da cobertura morta, verificou-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre a condição no sistema exclusivo e consorciado, onde, os sistemas com a presença da cobertura morta, destacaram-se com uma superioridade de RMF 42,71% e de RMS 60,08% no sistema exclusivo e 99,84% de RMF e 55,51% de RMS no sistema consorciado.

A palma no sistema consorciados e com a cobertura, destacou-se com maior rendimento de 98,17 e 241,11 Mg.ha⁻¹ de RMF e 13,24 e 28,18 Mg.ha⁻¹ de RMS entre os sistemas de cultivo. Na pesquisa conduzida por Jardim *et al.* (2021), que investigaram o efeito do consórcio entre a palma e o sorgo forrageiro no semiárido, os autores registraram um aumento na produção de 47% em comparação ao sistema exclusivo da palma.

O comportamento do RMF e RMS no segundo ciclo foi similar ao primeiro ciclo, quando é observado que nos sistemas da palma tanto exclusivo e com a presença da cobertura morta, ocorreu uma tendência de aumento da biomassa. Quando avaliada a diferença em RMF, verificou-se no sistema exclusivo um desempenho de ~83,49, 28,57, em SC e CC, respectivamente, e de ~78,24, 11,33 Mg.ha⁻¹ de RMS. A explicação para este resultado está associada à irrigação com o consórcio, resultando em plantas mais robustas e vigorosas no sistema de cultivo. Consequentemente, o sistema consorciado em ambientes semiáridos, facilita a utilização eficiente dos recursos naturais como água, luminosidade e a radiação, sendo aproveitado entre as espécies (Jardim *et al.*, 2021).

O aumento da produção das variáveis indica uma melhoria no crescimento e na produção de biomassa com o passar do tempo. A presença do consórcio com a cobertura morta pode ter melhorado a disponibilidade de nutrientes e água para a cultura da palma, resultando em uma maior produção das biomassas. Em síntese, a presença do consórcio e da cobertura morta afetaram significativamente a produção de biomassa.

Isso mostra que a prática agrônômica utilizada em diversas regiões como a rotação de cultura que consiste na alternância de diferentes espécies vegetais na mesma área de cultivo ao longo do tempo (Hegewald *et al.*, 2018), é relevante incorporar essa prática no

sistema agrícola proporciona vantagens, tais como aprimoramento da fertilidade e preservação das estruturas do solo, incremento na disponibilidade e eficiência no uso da água, e a diminuição de plantas espontâneas, pragas e doenças (Salassi, Deliberto e Guidry, 2013).

A transição da cultura do feijão-guandu para o sorgo, intensifica a decomposição, reduzindo significativamente a quantidade de cobertura. No entanto, no tratamento a palma consorciada com o feijão-guandu desacelerou a decomposição. Com a introdução da cultura do sorgo, o processo acelera. O mesmo pode ser visto com o tratamento consorciado com a palma. No entanto, os resultados estão sujeitos a variáveis como a quantidade e qualidade do material vegetal que é utilizado como cobertura, o cenário climático, a extensão da fase experimental e a quantidade de água incorporada ao sistema produtivo, elementos diretamente ligados à velocidade na decomposição do resíduo vegetal (Qin *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2023).

Portanto, é importante considerar os diferentes arranjos de cultivo, como o sistema exclusivo ou consorciado, juntamente com a presença ou ausência da cobertura morta, para compreender os fatores que afetam a capacidade de retenção de água, aeração e disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso mostra a importância do manejo do solo que pode alterar as propriedades físicas, as quais são fundamentais na sustentabilidade na agricultura.

3.4 Rendimento de forragem do sistema de cultivo palma+feijão guandu+sorgo em sistema exclusivo e consorciado na ausência e presença da cobertura morta

Na Tabela 19, observa-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com a cobertura morta (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas variáveis de rendimento de forragem massa fresca (MFt) e seca (MSt) da palma+feijão-guandu+sorgo conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 19. Resumo da análise de variância do rendimento da massa fresca total (MFt) e seca total (MSt) da palma, feijão-guandu e do sorgo em sistema cultivo exclusivo e consorciados e sem/com a implantação uso da cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Rendimento de forragem			
Quadrado médio			
Fonte de variação	GL	MFt	MSt
Sist. de cult.	2	4532562**	107610027**
S/C cob.	1	235747691**	49989965**
Interação	2	58991525**	14172311**
Bloco	3	3000983*	3124478ns
Erro	15		

CV (%)	23,1	30,89
--------	------	-------

**,* - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; MFt – Massa fresca total; MSt – Massa seca total; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

A cultura da palma forrageira foi afetada de forma positiva no tratamento consorciado no que diz respeito ao rendimento de forrageira de massa fresca (MFp) e seca (MSp), apresentando valores médios de $407,75 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $671,14 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de (MFp) e $32,35 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $73,34 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (MSp) no tratamento sem cobertura e com a cobertura morta, respectivamente (Tabela 20). Por outro lado, a palma no tratamento com a cobertura morta no sistema consorciado, teve seus parâmetros de produção superior de $64,74\%$ (MFp) e $126,70\%$ (MSp) em função do tratamento sem a cobertura morta, verificando que a cobertura morta aumentou no rendimento de massa fresca e seca da palma. O mesmo foi observado na massa fresca do feijão-guandu/sorgo com $45,38\%$ de (MFfg/s) e $107,76\%$ em (MSfg/s) no tratamento com a presença da cobertura morta.

Tabela 20. Rendimento de massa fresca da palma (MFp), feijão-guandu/sorgo (MFfg/s) e total (MFt), rendimento de massa seca da palma (MSp), feijão-guandu/sorgo (MSfg/s) e total (MSt) de três sistemas de cultivo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Cob.	Sist. de cult.	MFp	MFfg/s	MFt	MSp	MSfg/s	MSt
Sem	P	198,40	-	198,40bB	22,22	-	22,22cB
	FG/S	-	10,60	10,60cB	-	45,93	45,93bB
	P/FG/S	407,75	21,13	428,88aB	32,35	41,74	74,09aB
Com	P	268,60	-	268,60bA	33,11	-	31,11cA
	FG/S	-	19,14	19,14cA	-	98,58	98,58bA
	P/FG/S	671,14	30,72	701,86aA	73,34	86,72	160,06aA

Nota: CV – coeficiente de variação; Cob. – Cobertura; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; letra minúscula avalia o sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia sem/com da cobertura morta; letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com relação ao rendimento de massa fresca total (MFt), pôde-se observar que o sistema consorciado (P/FG/S) com a cobertura morta teve o maior valor, com uma média de $701,86 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nota-se que o sistema consorciado na presença da cobertura morta foi um fator chave para o aumento de forragem.

A produtividade do sistema consorciado ser mais elevado do que ao sistema exclusivo está associado aos fatores intrínsecos das culturas, pois as culturas tem uma elevada capacidade de produção de massa fresca e seca, eficiência no uso da água (Silva *et al.*, 2014), acúmulo de massa seca por unidade de área (Nunes *et al.*, 2020), alta adaptabilidade, boas opções de culturas para serem implantadas em sistemas consorciados.

De maneira geral, o sistema consorciado palma/feijão-guandu/sorgo promove um aumento na produtividade de ambas as culturas quando comparadas no sistema exclusivo, mostrando que o consórcio é uma prática viável para ser implantada no semiárido. Esse aumento se deve que as culturas tem a capacidade biológica em se adaptar ao sistema consorciado (Diniz *et al.*, 2017). Portanto, os sistemas consorciados palma com feijão-guandu e palma com sorgo apresentaram um incremento no rendimento de forragem em relação ao sistema exclusivo, por conta de sua eficiência no uso da terra e dos recursos (Zhang *et al.*, 2020).

Vale ressaltar que o consórcio entre palma, feijão-guandu e o sorgo, há diferença entre o metabolismo das plantas consorciadas. A palma forrageira, cactácea, apresenta metabolismo ácido das crassuláceas, possuem alta eficiência no uso da água, uma grande quantidade da reserva está acumulada em seus cladódios, abre o estômato à noite, perde ácidos e fecha durante o dia (Scalisi *at al.*, 2016). Já o feijão-guandu e o sorgo, apresentam metabolismos C3 e C4, sendo o inverso do metabolismo da palma.

3.5 Taxas de crescimento do feijão-guandu e do sorgo em sistemas exclusivos e consorciados com a palma forrageira na ausência/presença da cobertura morta

Na Tabela 21, observa-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura morta (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) do feijão-guandu conforme evidenciado pelo teste F. Não houve efeito significativo dos fatores para a taxa de crescimento relativo (TCR) ($p > 0,05$).

Tabela 21. Resumo da análise de variância das taxas de crescimento taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) da altura da planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do feijão-guandu em sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira e sem/com uso da cobertura morta.

AP					
Quadrado médio					
Fonte de variação	GL	TCA	TCR	TCC	TAL
Sist. de cult.	1	0,29ns	0,00ns	1,18**	2327,58**
S/C cob.	1	9,78**	0,00ns	22,20**	23279,13**
Interação	1	0,17*	0,00ns	0,34*	2216,52**
Bloco	3	0,00ns	0,00ns	0,02ns	0,08ns
Erro	9	0,02	0,00	0,03	3,19
CV (%)		7,67	67,11	5,44	1,33
MF					
Fonte de variação	GL	TCA	TCR	TCC	TAL

Sist. de cult.	1	0,75ns	0,00ns	111,19**	1334,98**
S/C cob.	1	1653,84**	0,00ns	1251,74**	255315,45**
Interação	1	198,31**	0,00ns	185,91**	10089,70**
Bloco	3	7,20ns	0,00ns	8,51ns	25,72ns
Erro	9	17,00	0,00	8,55	48,63
CV (%)		10,51	55,11	13,45	0,32

**,* - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Mesmo resultando um efeito significativo entre os sistemas de cultivo e na ausência/presença da cobertura morta, isso indica uma estabilidade no crescimento da cultura do feijão-guandu, independentemente do tipo do arranjo.

Verifica-se que o feijão-guandu tem uma plasticidade em se adaptar as condições e o manejo (Tabela 22). O feijão-guandu é extensivamente cultivado em sistema consorciado com outras espécies, o que reduz a competição de nutrientes (Pinheiro *et al.*, 2021b). Para os parâmetros de crescimento da cultura do feijão-guandu, TCA, TCC e TAL na presença da cobertura obtiveram os valores médios superiores comparados sem a presença da cobertura morta. Em média, TCA, TCC e TAL em altura de planta (AP), obtiveram 1,28 ($\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$), 13,13 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) e 357,56 ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{dia}^{-1}$), respectivamente no sistema feijão-guandu exclusivo (FG exc). Em relação a massa fresca (MF) no sistema consorciado com a palma forrageira (FG/P) na presença da cobertura morta apresentou maiores valores com 0,03 em TCA ($\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$), 0,26 em TCC ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) e 2,99 em TAL ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{dia}^{-1}$).

Tabela 22. Taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) da altura da planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do feijão-guandu em sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira e sem/com a implantação uso da cobertura morta.

		AP		
Cobertura	Sist. de cult.	TCA ($\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$)	TCC ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	TAL ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{dia}^{-1}$)
Sem	FG	0,87aB	8,75aB	274,80aB
	FG/P	0,59aB	4,81bB	241,47bB
Com	FG	1,28aA	13,13aA	357,56aA
	FG/P	1,02aA	9,94bA	328,02aA
		MF		
Cobertura	Sist. de cult.	TCA ($\text{g} \cdot \text{dia}^{-1}$)	TCC ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$)	TAL ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{dia}^{-1}$)
Sem	FG	0,02aA	0,19aA	1,83aA
	FG/P	0,01bB	0,22aA	1,16aB
Com	FG	0,03aA	0,13aB	2,55aA
	FG/P	0,03aA	0,26aA	2,99aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; FG – Feijão-guandu; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma.

Os resultados revelam que tanto o sistema de cultivo e a presença de resíduos vegetais, exercem uma influência no crescimento e no desenvolvimento da cultura, impactando diretamente a produtividade de biomassa.

A presença da cobertura morta foi um fator crucial na otimização no desempenho do feijão-guandu nos arranjos de cultivos para TCA, TCC e TAL. A presença da cobertura morta demonstrou uma vantagem e superioridade com relação ao tratamento sem a cobertura morta, promovendo taxas de crescimento mais elevadas nas variáveis TCA, TCC e TAL. O cultivo do feijão-guandu exclusivo (FG exc) e no consorciado (FG/P) na presença da cobertura morta, apresentaram os maiores índices morfofisiológicos, com os maiores acúmulos de TCA, TCC e TAL. Essa dinâmica está atrelada a cobertura morta, pois consegue manter a umidade do solo por períodos mais prolongados e em maior quantidade, reduzindo perdas por evaporação, além disso, a decomposição do material orgânico vegetal, resulta na liberação de nutrientes essenciais para cultura (Salvador *et al.*, 2024).

A hipótese da baixa altura de planta e massa fresca da cultura no tratamento sem a cobertura morta, é atribuída pela baixa disponibilidade de água no solo, que compromete as respostas fisiológicas, como a senescência foliar, redução do crescimento e a área foliar, e fechamento estomático (Santos *et al.*, 2011).

Na Tabela 23, observa-se que a interação entre o sistema de cultivo (Sist. de cult.) e sem/com cobertura morta (S/C cob.) promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) do sorgo segundo o teste F. Não houve efeito significativo dos fatores para a taxa de crescimento relativo (TCR) ($p > 0,05$).

Tabela 23. Resumo da análise de variância das taxas de crescimento das taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) da altura da planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do sorgo em sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira e sem/com e sem a implantação uso da cobertura morta.

AP					
Quadrado médio					
Fonte de variação	GL	TCA	TCR	TCC	TAL
Sist. de cult.	1	0,29*	0,00ns	50,76**	3954,20**
S/C cob.	1	0,71**	0,00**	90,44**	28666,72**
Interação	1	0,00*	0,00ns	0,56*	14,38*
Bloco	3	0,04ns	0,00ns	2,63ns	292,11ns
Erro	9	0,04	0,00	0,68	352,08
CV (%)		22,31	30,78	9,05	6,24
MF					

Fonte de variação	GL	TCA	TCR	TCC	TAL
Sist. de cult.	1	0,00ns	0,00ns	0,00*	0,05*
S/C cob.	1	0,00**	0,00**	0,02*	6,46**
Interação	1	0,00*	0,42ns	0,00*	1,22**
Bloco	3	0,00ns	0,00ns	0,00ns	0,56ns
Erro	9	0,00	0,00	0,00	2,89
CV (%)		20,48	17,46	28,43	26,53

** , * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Os resultados demonstram que o sistema de cultivo e a presença da cobertura morta exerce uma vantagem no crescimento da cultura, resultando em um fator positivo no crescimento e no desenvolvimento, além na produção de biomassa da cultura. Isso é observado quando os resultados da presença da cobertura morta foram superiores quando comparados ao tratamento sem a cobertura morta.

Pôde-se observar que a ausência da cobertura morta afetou nas taxas de crescimento da cultura, exceto TCR (Tabela 24). A ausência da cobertura morta deteve os menores valores em TCA, TCC e TAL tanto no sistema exclusivo como no consorciado.

Tabela 24. Taxas de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento da cultura (TCC), taxa de assimilação líquida (TAL) da altura da planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do sorgo em sistema exclusivo e consorciado sem/com a implantação uso da cobertura morta.

		AP		
Cobertura	Sist. de cult.	TCA (g.dia ⁻¹)	TCC (g.m ⁻² .dia ⁻¹)	TAL (Mg.ha ⁻¹ °Cdia ⁻¹)
Sem	S	0,87aB	8,75aB	274,80aB
	S/P	0,59bB	4,81bB	241,47bB
Com	S	1,28aA	13,13aA	357,56aA
	S/P	1,02bA	9,94bA	328,02aA
		MF		
Cobertura	Sist. de cult.	TCA (g.dia ⁻¹)	TCC (g.m ⁻² .dia ⁻¹)	TAL (Mg.ha ⁻¹ °Cdia ⁻¹)
Sem	S	0,02aB	0,19aB	1,83aB
	S/P	0,01bB	0,13bB	1,16bB
Com	S	0,03aA	0,22bA	2,55bA
	S/P	0,03aA	0,26aA	2,99aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S – Sorgo exclusivo; S/P – Sorgo consorciado com palma.

No estudo conduzido por Jardim *et al.* (2021), onde investigaram o cultivo do arranjo consorciado entre palma e o sorgo em um ambiente semiárido, foi observado um aumento na produção de 47% quando comparado em um sistema de cultivo exclusivo. A

pesquisa também indicou que a introdução do sistema de irrigação e a utilização do consórcio, resultaram em plantas mais robustas e estáveis.

O experimento realizado por Carvalho *et al.* (2021) com a cultura do sorgo associado com a cobertura morta, notou-se que as taxas de crescimento da cultura foram significativas maiores quando comparado ao tratamento sem a presença da cobertura morta, o que corrobora com os resultados da nossa pesquisa.

Na Tabela 25 são apresentados os valores da taxa de crescimento relativo (TCR) da altura de planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do sorgo no segundo ciclo da cultura do sorgo. Observa-se que a taxa de crescimento relativo apresentou comportamento diferente com relação a cobertura morta. No sistema exclusivo, a presença da cobertura morta, o valor médio foi superior ao tratamento sem a cobertura morta em AP e MF.

Tabela 25. Parâmetro de taxa de crescimento relativo (TCR) da altura da planta (AP) e da massa fresca (MF) da cultura do sorgo em sistema exclusivo e consorciado com a palma forrageira e sem/com a implantação uso da cobertura morta.

AP	
Cobertura	TCR (g.g ⁻¹ .dia ⁻¹)
Sem	0,0055
Com	0,010
MF	
Cobertura	TCR (g.g ⁻¹ .dia ⁻¹)
Sem	0,055
Com	0,08

De modo geral, para o primeiro ciclo, o consórcio da palma com feijão-guandu e nos dois ciclos da cultura do sorgo, foram observados valores superiores de TCA, TCC e TAL na presença da cobertura morta. Isso mostra a resiliência entre as espécies, pois mesmo diante a competição, houve uma complementaridade, conforme era esperado em arranjos de cultivo consorciados (Alves *et al.*, 2022).

3.6 Avaliação MAC, MAB e IAF com o medidor AccuPAR nas culturas feijão-guandu, sorgo e palma em sistemas exclusivos e consorciados

3.6.1 Avaliação MAC, MAB e IAF com o medidor AccuPAR na cultura do feijão-guandu em sistemas exclusivos e consorciados com a palma

A análise de variância para a cultura do feijão-guandu foi feita apenas nos sistemas de cultivo exclusivo e consorciado, incluindo apenas os casos em que a cultura encontrava presente. Com base na análise de variância, revelou-se efeitos nas variáveis média acima

(MAC), média abaixo (MAB) e índice da área foliar (IAF) no sistema de cultivo e, sem/com a cobertura morta, além de demonstrar influência desses parâmetros sobre as condições de crescimento da cultura do feijão-guandu (Tabela 26). Observa-se interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura morta promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) nas variáveis MAC, MAB e IAF.

Tabela 26. Resumo da análise de variância da taxa de crescimento cultura do feijão-guandu em sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Leitura do accuPAR do feijão-guandu – colheita final				
Quadrado médio				
FV	GL	MAC	MAB	IAF m².m⁻²
Sist. de cult.	1	3002076**	35711**	0,00ns
S/C cob.	1	1147148**	109776**	3,85**
Interação	1	18769**	21704**	0,14**
Bloco	3	81ns	241ns	0,00ns
Erro	9			
CV(%)		0,78	3,94	2,43

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAF – Índice da área foliar; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

No sistema com os tratamentos exclusivo e consorciado com a presença da cobertura morta apresentaram superioridade de média acima (MAC), média abaixo (MAB) e índice da área foliar (IAF) (Tabela 27). Isso é um indicador do desempenho da cultura dentro dos sistemas de cultivo, e que o sistema consorciado, apesar de apresentar uma variação morfológica, não causou nenhuma interferência no desenvolvimento do feijão-guandu consorciado com a palma, mostrando que o sistema é eficaz entre as espécies, mostrando a relevância da prática do consórcio, promovendo um uso eficiente dos recursos e otimização no desempenho do sistema. Foi observado que o feijão-guandu é uma planta vantajosa em sistemas consorciados (Manoj *et al.*, 2021).

Tabela 27. Parâmetros da taxa de crescimento cultura do feijão-guandu em sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Colheita do feijão-guandu				
Cobertura	Sist. de cult.	MAC	MAB	IAF
Sem	FG exc	1267,77bB	206,10bB	2,76aB
	FG/P	2202,60aB	374,25aB	2,57bB
Com	FG exc	1871,80bA	445,42aA	3,55bA
	FG/P	2669,62aA	466,25aA	3,74aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAF – Índice da área foliar (m².m⁻²); FG exc – Feijão-guandu exclusivo; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

Observa-se que o IAF do feijão-guandu na presença da cobertura morta, apresentaram valores médios de 3,55 e 3,74 (m^2m^{-2}) no sistema exclusivo e consorciado, respectivamente, com uma superioridade de 28,62% no sistema exclusivo e 45,52% no sistema consorciado.

Conforme apontado por Khalid *et al.* (2019), a presença da radiação solar sobre a parte superior da planta, contribui na síntese de carboidratos destinados aos processos fisiológicos e metabólicos, o que resulta no maior desenvolvimento de biomassa. A absorção da radiação fotossintética ativa pelas folhas, é um fator crucial na produção de biomassa, além que a diminuição da intensidade luminosa vai causar a redução no rendimento de biomassa na cultura do feijão-guandu (Manoj *et al.*, 2021).

Nota-se um padrão semelhante com o tratamento com feijão-guandu exclusivo e consorciado com palma, onde o índice de área foliar resultou em um efeito significativo no desenvolvimento das espécies, provando a eficácia da prática do consórcio, maximizando na produtividade. Essa harmonia na parte morfológica entre as culturas coexiste de forma sinérgica, resultando em uma otimização na utilização dos recursos disponíveis, além de promover um sistema de cultivo sustentável.

3.6.2 Avaliação MAC, MAB e IAC com o medidor AccuPAR na cultura da palma em sistemas exclusivos e consorciados com o feijão-guandu

Na Tabela 28 estão representados o resultado da análise de variância dos parâmetros MAC, MAB e IAC da cultura da palma no primeiro ciclo consorciado com o feijão-guandu (Tabela 28). Observa-se que houve interação entre o sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta, resultando um efeito significativo ($p < 0,05$) dos parâmetros analisados, conforme evidenciado pelo teste F.

Tabela 28. Resumo da análise de variância da taxa de crescimento cultura da palma em sistema exclusivo e consorciado sem/com a implantação da cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Leitura do accuPAR no 1º ciclo da palma				
Quadrado médio				
FV	GL	MAC	MAB	IAC $m^2.m^{-2}$
Sist. de cult.	1	3576663**	118,81ns	9,34**
S/C cob.	1	365359**	20851,36**	2,53**
Interação	1	37869**	35344**	0,62**
Bloco	3	1567ns	450,44ns	0,04ns
Erro	9			
CV(%)		2,56	6,40	7,87

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; FV – Fonte de variação; CV – coeficiente de variação; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAF – Índice da área do cladódio.

Na Tabela 29, nota-se uma superioridade nas MAC, MAB e IAF no tratamento com a presença da cobertura morta nos sistemas palma exclusiva e consorciado com o feijão-guandu.

Tabela 29. Parâmetros da taxa de crescimento cultura da palma em sistema de cultivo consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

1º ciclo da palma				
Cobertura	Sist. de cult.	MAC	MAB	IAC m^2m^{-2}
Sem	P exc	1045,87bB	258,70bB	1,44bB
	P/FG	1247060aB	374,25aA	2,57aB
Com	P exc	1250,80bA	451,90aA	1,84bA
	P/FG	1647,12aA	352,45bA	3,76aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAC – Índice da área do cladódio ($m^2.m^{-2}$); P exc – Palma exclusiva; P/FG – Palma consorciada com o feijão-guandu; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

Observa-se um efeito significativo com a interação entre os fatores, mostrando uma relação entre as variáveis investigadas com as condições de cultivo. Dado que foi observado um efeito significativo, pode-se inferir que o equilíbrio hídrico da planta, nas condições ambientais presentes, não teve a necessidade de medidas de prevenção a perda de água, evidenciando a capacidade de tolerância e adaptação das culturas às diferentes condições de solo e clima no sistema de cultivo. A estratégia que a planta utiliza para evitar a perda de água, é a realização do fechamento estomático (Chaves *et al.*, 2016).

3.6.3 Avaliação MAC, MAB e IAF com o medidor AccuPAR na cultura do sorgo em sistemas exclusivos e consorciado com a palma

Com relação aos parâmetros da taxa de crescimento da cultura do sorgo, observa-se uma interação entre os fatores estudados, promovendo efeito significativo no sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta pelo teste F nos dois ciclos da cultura do sorgo (Tabela 30).

Tabela 30. Parâmetros da taxa de crescimento cultura do sorgo consorciado com a palma sem/com a implantação da cobertura morta.

Sorgo 1ª colheita				
Quadrado médio				
FV	GL	MAC	MAB	IAF m².m⁻²
Sist. de cult.	1	254293**	36873*	0,64**
S/C cob.	1	1109388**	5497031**	0,36**
Interação	1	1398010**	179288**	0,04**
Bloco	3	87ns	3556ns	0,00ns
Erro	9			
CV(%)		0,34	5,11	0,92
Sorgo 2ª colheita				
FV	GL	MAC	MAB	IAF m².m⁻²
Sist. de cult.	1	65862**	76203**	0,52**
S/C cob.	1	104*	12038**	0,24*
Interação	1	70823**	10962**	0,16*
Bloco	3	29,64ns	10,55ns	0,88ns
Erro	9			
CV(%)		0,22	1,18	7,17

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAF – Índice da área foliar; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Observa-se na Tabela 31 que os parâmetros de crescimento da cultura do sorgo em dois ciclos, a presença da cobertura morta apresentou um comportamento diferente entre os ciclos, no qual os sistemas de cultivo e sem/com a presença da cobertura proporcionou diferença nos valores da taxa de crescimento. De maneira geral, os valores do índice da área foliar do sorgo no tratamento com a cobertura morta, apresentando resultados superiores em consideração sem a presença da cobertura morta. A elevação no IAF no tratamento com a cobertura morta foi de 20,09% no sistema exclusivo e de 7,45% no sistema consorciado no primeiro ciclo da cultura e no segundo ciclo da cultura foi de 5,09% no S exc e de 17,33% no S/P na presença da cobertura morta, respectivamente.

Tabela 31. Parâmetros da taxa de crescimento cultura do sorgo em dois ciclos em sistema cultivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Sorgo 1º ciclo				
Cobertura	Sist. de cult.	MAC	MAB	IAF m².m⁻²
Sem	S exc	2176,60aA	763,85aB	2,04bB
	S/P	1837,55bB	456,12bB	2,55aB
Com	S exc	2112,05bB	1724,42bA	2,45bA
	S/P	2955,37aA	1840,12aA	2,74aA
Sorgo 2º ciclo				
Cobertura	Sist. de cult.	MAC	MAB	IAF m².m⁻²

Sem	S exc	1839,22aB	871,71aA	2,75aB
	S/P	1843,97aA	681,34bA	2,25bA
Com	S exc	1977,40aA	764,50aB	2,89aA
	S/P	1716,02bB	678,83bA	2,64bB

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAF – Índice da área foliar ($m^2.m^{-2}$); S exc – Sorgo exclusivo; S/P – Sorgo consorciado com palma; P exc – Palma exclusiva; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

3.6.4 Avaliação MAC, MAB e IAC com o medidor AccuPAR na cultura da palma em sistemas exclusivos e consorciados com sorgo

Os parâmetros MAC, MAB e IAC apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) quando submetida a diferente sistema de cultivo (exclusivo e consorciado) e sem/com a cobertura morta, apresentando interação entre os fatores para o segundo ciclo do cultivo da cultura (Tabela 32).

Tabela 32. Parâmetros da taxa de crescimento cultura da palma em sistema exclusivo e consorciado com o feijão-guandu sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Leitura do accuPAR da palma – 2º ciclo				
Quadrado médio				
FV	GL	MAC	MAB	IAC $m^2.m^{-2}$
Sist. de cult.	1	3576663**	118,81ns	9,34**
S/C cob.	1	365359**	20851,36**	2,53**
Interação	1	37869**	35344**	0,62**
Bloco	3	1567ns	450,44ns	0,04ns
Erro	9			
CV(%)		2,56	6,40	7,87

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAC – Índice da área do cladódio; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Observa-se que no segundo ciclo da cultura da palma, todas as variáveis de crescimento apresentaram uma superioridade quando avaliado o sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta, com um desempenho de 27,77% no sistema exclusivo e 46,30% no sistema consorciado com o sorgo na presença da cobertura morta, respectivamente (Tabela 33).

Tabela 33. Parâmetros da taxa de crescimento cultura da palma em sistema exclusivo e consorciado com o sorgo sem/com a implantação da cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Palma 2º ciclo				
Cobertura	Sist. de cult.	MAC	MAB	IAC $m^2.m^{-2}$
Sem	P exc	1045,87bB	258,70bB	1,44bB

	P/S	1247060aB	374,25aA	2,57aB
Com	P exc	1250,80bA	451,90aA	1,84bA
	P/S	1647,12aA	352,45bA	3,76aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna minúscula e maiúscula, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; a letra minúscula avalia o fator sistema de cultivo; a letra maiúscula avalia o fator cobertura; MAC – média acima; MAB – Média abaixo; IAC – Índice da área do cladódio (m².m⁻²); P exc – Palma exclusiva; P/S – Palma consorciado com sorgo; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

3.7 Índices de competição e eficiência biológica da palma consorciada durante dois ciclos produtivos com feijão-guandu e o sorgo

Na Tabela 34, são expostos os índices de habilidade competitiva dos sistemas da palma-feijão-guandu (P/FG) e palma-sorgo (P/S) em um ciclo do feijão-guandu, dois ciclos da palma e o sorgo.

Tabela 34. Índices de habilidade competitiva da palma forrageira consorciado com feijão-guandu e sorgo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Tratamento	CARab	CARba	CAR	Aab	Aba	RCa	RCb	PGARa	PGARb	PGAR
P/FG-SC	-0,86	-2,58	2,24	-3,35	3,35	0,42	2,43	235,62	409,26	675,91
P/FG-CC	-0,70	-3,42	2,43	-1,42	1,42	0,65	1,53	266,65	571,56	807,18
P/S-SC	-0,58	-3,83	2,23	2,56	-2,56	2,49	0,49	490,85	233,98	724,84
P/S-CC	-0,66	-0,99	0,69	2,25	-2,25	1,80	0,58	506,27	280,71	786,98

P/FG-SC – Palma consorciado com feijão-guandu sem cobertura morta; P/FG-CC – Palma consorciado com feijão-guandu com cobertura morta; CARab - coeficientes de adensamento da palma; CARba - feijão-guandu-sorgo; CAR - coeficiente de adensamento relativo; Aab - agressividade da palma sobre o feijão-guandu-sorgo; Aba - agressividade do feijão-guandu-sorgo sobre a palma; RCa - razão de competitividade da palma; RCb - feijão-guandu-sorgo; PGARa - perda ou ganho atual de rendimento da palma; PGARb - feijão-guandu-sorgo; PGAR - perda ou ganho atual de rendimento.

Os índices CARab e CARba obtidos na pesquisa, indicaram resultados negativos, isso mostra que os sistemas consorciados foram superiores na produtividade com relação ao sistema exclusivo. Observa-se valores positivos e superiores a um no coeficiente de adensamento relativo (CAR), significando uma vantagem do sistema de cultivo consorciado comparado ao sistema monocultivo. Salvador *et al.* (2024), estudando o consórcio com a cultura da palma, apresentaram resultados do CAR semelhantes.

Com relação Aab e Aba no sistema consorciado P/FG, observa-se que o feijão-guandu se sobressai em relação a palma, no entanto, no consórcio P/S, a cactácea é dominante ao sorgo. O mesmo ocorreu no estudo de Diniz *et al.* (2017), em que a palma apresentou uma dominância sobre a cultura secundária no sistema consorciado. A superioridade da espécie em relação a outra no sistema consorciado ocorre devido a maior eficácia produtiva a cultura dominante (Morais *et al.*, 2018).

Os índices PGARa, PGARb e PGAR resultaram em valores positivos, indicando que o sistema consorciado entre P/FG e P/S é vantajoso o que representa uma significância em termos de rendimento e uma eficiência do sistema, superando o sistema

em monocultivo. Porém, observou-se no sistema consorciado que a perda ou ganho atual de rendimento (PGAR) no consórcio P/FG, o feijão-guandu apresentou um elevado retorno produtivo com destaque no sistema com a cobertura morta (PGARb > PGARa), indicando que a palma é susceptível na perda de rendimento no sistema quando é comparado a cultura do feijão-guandu. No entanto, no sistema com o sorgo, o efeito foi o contrário, resultando no PGARa superioridade a PGARb, demonstrando que a palma é a cultura dominante. Isso indica que o PGAR, no sistema consorciado é mais vantajoso do que o sistema exclusivo (Bi *et al.*, 2019).

Na Tabela 35, estão apresentados os índices de eficiência biológica da palma consorciado com as culturas do feijão-guandu e o sorgo. Observa-se que não houve diferença significativa ($p > 0,01$) entre as variáveis estudadas durante os ciclos das culturas. O UET (uso eficiente da terra parcial das culturas consorciadas) apresentou valores superiores a 1,0, indicando uma vantagem do sistema consorciado.

Tabela 35. Índices de eficiência biológica da palma forrageira consorciado com feijão-guandu e sorgo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Tratamento	UET	RAET	CET	IPS	LER
P/FG-SC	3,73	3,97	3,26	35,03	3,73
P/FG-CC	3,26	3,52	2,67	38,81	3,26
P/S-SC	3,15	7,96	2,49	77,90	3,15
P/S-CC	3,50	8,20	3,05	133,08	3,50

P/FG-SC – Palma consorciada com feijão-guandu sem a cobertura morta; P/FG-CC – Palma consorciada com feijão-guandu com a cobertura morta; P/S-SC – Palma consorciada com sorgo sem a cobertura morta; P/S-CC – Palma consorciada com sorgo com a cobertura morta; P/FG/S SC - Palma consorciada com feijão-guandu/sorgo sem a cobertura morta; P/FG/S CC - Palma consorciada com feijão-guandu/sorgo com a cobertura morta; UET - uso eficiente da terra parcial das culturas consorciadas; RAET – Razão de área equivalente no tempo; CET – Coeficiente equivalente de terra; IPS – Índice de produtividade do sistema (Mg MS ha^{-1}); LER – Uso eficiente da terra total.

Com relação aos índices RAET e LER, estes foram >1 e CET ficando acima de 0,25%, indicando uma vantagem na produção consorciada, resultando em uma eficiência biológica do sistema consorciado quando comparado ao sistema exclusivo. Com isso, é viável gerar a mesma quantidade de produtividade, utilizando uma menor área de terra, ou até mesmo impulsionar a produção em uma área cultivada no sistema monocultivo (Xu *et al.*, 2020).

Com isso, os sistemas consorciados combinados a cobertura morta podem otimizar a produção da região do semiárido, sem que haja necessidade de expandir novas áreas agrícolas, com isso resultando na redução dos impactos no ambiente e promovendo um avanço socioeconômico na região (Gitari *et al.*, 2020).

O índice IPS que indica a equiparação do rendimento da cultura consorciada com a palma, mostrou-se vantajoso no consórcio com destaque aos sistemas P/FG e P/S na

presença da cobertura morta, produzindo 38,81 Mg.MS ha⁻¹ e 133,08 Mg.MS ha⁻¹, respectivamente. Os resultados deste estudo, corroboram com os valores de IPS de Diniz *et al.* (2017), em que o rendimento na produção no consórcio foi superior ao do sistema exclusivo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados das taxas de crescimento indicaram uma estabilidade nas culturas do feijão-guandu e o sorgo, independentemente do tipo de sistema de cultivo empregado, sendo refletido na sua capacidade de adaptação às condições de manejo. A presença da cobertura morta foi um fator fundamental na otimização do desempenho da cultura, promovendo taxas de crescimento elevadas e eficientes, com destaque pela manutenção da umidade do solo.

Os resultados indicam influência do sistema de cultivo e a cobertura morta nos parâmetros de crescimento da cultura da palma. O índice da área foliar foi superior no sistema consorciado que ressalta a eficácia do sistema de cultivo, mostrando que o uso é eficiente e melhorou o seu desempenho.

A presença da cobertura morta resultou em um benefício ao desenvolvimento e ao crescimento da cultura do feijão-guandu, resultando em maiores alturas de planta, incremento na produtividade na biomassa fresca e seca. O consórcio com a palma apresentou vantagens combinado com a cobertura morta, mostrando uma possível sinergia desses fatores. Esses resultados revelam a importância da utilização do consórcio com a palma combinado com a cobertura morta, otimizando a cultura do feijão-guandu em condições semiáridas.

Sobre a produtividade da cultura do sorgo, os resultados destacam a importância do uso da cobertura morta, principalmente no consórcio. A presença da cobertura morta aumentou a produtividade, além de ter contribuído na conservação da umidade do solo. Diferentemente do sistema sem a cobertura morta, resultando na menor biomassa.

Conclui-se que a presença de resíduos vegetais como cobertura teve um impacto positivo no rendimento das biomassas fresca e seca na cultura da palma no sistema consorciado. Mostra assim a eficiência do sistema consorciado alinhado com a cobertura morta.

O tratamento consorciado palma+feijão guandu+sorgo com a cobertura morta fez a diferença e ampliou significativamente a produção da palma forrageira, conseguindo 64,74 e 120,70% a mais de massa fresca e seca, respectivamente, no entanto, comparado

ao tratamento sem cobertura. Efeito competitivo similar, mas com quantidade superior proporcionado pela cobertura morta sobre a produção da massa fresca e seca do feijão-guandu/sorgo.

Com base nos resultados de habilidade de competição, verifica-se uma clara vantagem do sistema consorciado comparado com o sistema monocultivo. A eficiência da adoção do consórcio se destacou com melhor rendimento de forragem e consequentemente na maior produtividade.

O sistema consorciado palma-feijão-guandu e palma-sorgo na presença da cobertura morta, evidenciaram uma eficiência biológica promissora, promovendo uma eficiência no uso da terra e na produtividade. Essa abordagem pode proporcionar um aumento significativo na produção agrícola sem expandir as áreas cultivadas, contribuindo na sustentabilidade ambiental e no desenvolvimento socioeconômico na região semiárida.

São necessárias mais pesquisas dedicadas ao cultivo em conjunto da palma forrageira com outras forrageiras como o feijão-guandu e o sorgo. Além disso, é importante explorar o uso da cobertura morta com o propósito de alcançar resultados mais favoráveis e identificar alternativas para promover a produção de forragens na região do semiárido.

5. REFERÊNCIAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration. January 1998.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, C. P., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L. S. B. de, Araújo, G. G. L. de, Souza, C. A. A. de, Salvador, K. R. da S., Leite, R. M. C., Pinheiro, A. G., & Silva, T. G. F. da. (2022). How to enhance the agronomic performance of cactus-sorghum intercropped system: planting configurations, density and orientation. *Industrial Crops and Products*, 184, 115059. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115059>
- Alves, C. P., Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B. de, Cruz Neto, J. F. da, & Santos, J. P. A. de S. (2020). Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27(2). <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, C. P., Araújo, G. G. L. de, Steidle Neto, A. J., Salvador, K. R. da S., Pinheiro, A. G., & Silva, T. G. F. da. (2022). Integrated management of agronomic practices in the forage cactus: maximising productivity, biological efficiency and economic profitability.

Journal of the Professional Association for Cactus Development, 24, 307–329.
<https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.514>

- Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. do N., Souza, C. A. A., Leite, R. M. C., Silva, G. I. N., Souza, L. S. B., & Silva, T. G. F. (2022). Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1, 373–392.
- Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A. M. da R. F., Silva, M. J. da, Alves, C. P., Souza, C. A. A. de, Costa, S. A. T. da, Cunha, M. V. da, Simões, A. do N., Silva, J. R. I. da, Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2021). Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy*, 131, 126375. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>
- Benincasa, M. M. P. (2003). *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. (FUNEP, Ed.; FUNEP). FUNEP.
- Bi, Y., Zhou, P., Li, S., Wei, Y., Xiong, X., Shi, Y., Liu, N., & Zhang, Y. (2019). Interspecific interactions contribute to higher forage yield and are affected by phosphorus application in a fully-mixed perennial legume and grass intercropping system. *Field Crops Research*, 244, 107636. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107636>
- Carvalho, A. A. de, Montenegro, A. A. de A., Silva, L. J. da S. e, Costa, R. S., & Almeida, G. C. (2021). Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residuária tratada associado com cobertura morta. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 14, 1–14.
- Chaves, M. M., Costa, J. M., Zarrouk, O., Pinheiro, C., Lopes, C. M., & Pereira, J. S. (2016). Controlling stomatal aperture in semi-arid regions—The dilemma of saving water or being cool? *Plant Science*, 251, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2016.06.015>
- Ding, D., Zhao, Y., Feng, H., Hill, R. L., Chu, X., Zhang, T., & He, J. (2018). Soil water utilization with plastic mulching for a winter wheat-summer maize rotation system on the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management*, 201, 246–257. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.12.029>
- Diniz, W. J. da S., da Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. da S., dos Santos, D. C., de Moura, M. S. B., de Araújo, G. G. L., & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52(9), 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- El-Mageed, T. A., El-Samnoudi, I. M., Ibrahim, A. E. A. M., & Abd El Tawwab, A. R. (2018). Compost and mulching modulates morphological, physiological responses and water use efficiency in sorghum (bicolor L. Moench) under low moisture regime. *Agricultural Water Management*, 208(June), 431–439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.042>
- Er-Raki, S., Bouras, E., Rodriguez, J. C., Watts, C. J., Lizarraga-Celaya, C., & Chehbouni, A. (2021). Parameterization of the AquaCrop model for simulating table grapes growth and water productivity in an arid region of Mexico. *Agricultural Water Management*, 245, 106585. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106585>
- Gitari, H. I., Nyawade, S. O., Kamau, S., Karanja, N. N., Gachene, C. K. K., Raza, M. A., Maitra, S., & Schulte-Geldermann, E. (2020). Revisiting intercropping indices with

- respect to potato-legume intercropping systems. *Field Crops Research*, 258, 107957. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107957>
- Hegewald, H., Wensch-Dorendorf, M., Sieling, K., & Christen, O. (2018). Impacts of break crops and crop rotations on oilseed rape productivity: A review. In *European Journal of Agronomy* (Vol. 101, pp. 63–77). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.08.003>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, H. K. M. N., Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, & Moura, M. S. B. de. (2021). Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. *Journal of Arid Environments*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>
- Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B. de, Alves, C. P., Ferreira Nunes de Araújo, J., de Souza, C. A. A., Pinheiro, A. G., de Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. da. (2021). Intercropping forage cactus with sorghum affects the morphophysiology and phenology of forage cactus. *African Journal of Range & Forage Science*, 40(2), 129–140. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.1949749>
- Khalid, M. H. B., Raza, M. A., Yu, H. Q., Sun, F. A., Zhang, Y. Y., Lu, F. Z., Si, L., Iqbal, N., Khan, I., Fu, F. L., & Li, W. C. (2019). Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*glycine max l. merr.*). *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2551–2569. https://doi.org/10.15666/aeer/1702_25512569
- Li, Y., Hu, A., Wang, X., & Zheng, J. (2019). Physicochemical and in vitro digestion of millet starch: Effect of moisture content in microwave. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>
- Lima, L. R., Da Silva, T. G. F., De Caldas Pereira, P., De Moraes, J. E. F., & De Sáassis, M. C. (2018). Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, 31(1), 191–201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n122rc>
- Lima, L. R., Silva, T. G. F. da, Jardim, A. M. da R. F., Souza, C. A. A. de, Queiroz, M. G. de, & Tabosa, J. N. (2018). Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(2), 113–118. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- Makino, P.A., Ceccon, G., Fachinelli, R. Produtividade e teor de nutrientes em populações de milho safrinha solteiro e consorciado com braquiária. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v. 18, n. 2, p. 206–2020, 2019. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v18n2p206-220>
- Manoj, K. N. , Umesh, M. R. , Ananda, N. , & Duttarganvi, S. (2021). Effects of low light intensity on radiation use efficiency and productivity of tropical pulses. *Journal of Agrometeorology*, 23(3), 249–256. <https://doi.org/10.54386/jam.v23i3.19>
- Martins, M. A., Tomasella, J., Rodriguez, D. A., Alvalá, R. C. S., Giarolla, A., Garofolo, L. L., Júnior, J. L. S., Paolicchi, L. T. L. C., & Pinto, G. L. N. (2018). Improving drought management in the Brazilian semiarid through crop forecasting. *Agricultural Systems*, 160, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.11.002>

- Moraes, G. S. de O., Ferreira, M. de A., Guim, A., Tabosa, J. N., Chagas, J. C. C., & Almeida, M. de P. (2019). Cactus [*Opuntia Stricta* (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: how do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? *Livestock Science*, 221, 133–138.
- Morais, E. C. de, Lima, J. S. S. de, Bezerra Neto, F., Silva, J. N. da, Nunes, R. L. C., & Linhares, P. C. A. (2018). Habilidade competitiva e biológica do consórcio beterraba com caupi-hortaliça proveniente de adubação verde e de arranjos espaciais. *Revista Ceres*, 65(5), 433–442. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201865050008>
- Neres, M. A., Castagnara, D. D., Silva, F. B., Oliveira, P. S. R. de, Mesquita, E. E., Bernardi, T. C., Guarianti, A. J., & Vogt, A. S. L. (2012). Características produtivas, estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do feijão-guandu cv. Super N, em cultivo singular ou em associação. *Ciência Rural*, 42(5), 862–869. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000500017>
- Nunes, J. da S. L., Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Carvalho, A. A. de, Souza, L. S. B. de, Montenegro, A. A. de A., & Silva, T. G. F. da. (2020a). Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 128–139. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>
- Nunes, J. da S. L., Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Carvalho, A. A. de, Souza, L. S. B. de, Montenegro, A. A. de A., & Silva, T. G. F. da. (2020b). Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 128–139. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>
- Pereira, P. D. C., Silva, T. G. F. DA, Zolnier, S., Morais, J. E. F. DE, & Santos, D. C. DOS. (2015). Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28(3), 184–195. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- Pfüller, E. E., Bueno Santos, D., Ferreira Aires, R., & Galeano Samaniego, M. D. P. (2019). Phenological aspects and productivity of summer species for soil coverage in Vacaria, RS. *Investigación Agraria*, 21(1), 23–30. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.junio.23-30>
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B. de, Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C. P., Souza, C. A. A. de, Leite, R. M. C., & Silva, T. G. F. da. (2021a). Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2403–2426. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2403-2426>
- Pinheiro, A. G., Souza, L. S. B. de, Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Alves, C. P., Souza, C. A. A. de, Leite, R. M. C., & Silva, T. G. F. da. (2021b). Lacunas de produtividades e estratégias de cultivo na melhoria da produção de forragem para a região semiárida brasileira - Revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2403–2426. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2403-2426>
- Qin, X., Huang, T., Lu, C., Dang, P., Zhang, M., Guan, X. kang, Wen, P. fei, Wang, T. C., Chen, Y., & Siddique, K. H. M. (2021). Benefits and limitations of straw mulching and incorporation on maize yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency. *Agricultural Water Management*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107128>
- Queiroz, M. G. de, Silva, T. G. F. da, Zolnier, S., Silva, S. M. S. e, Lima, L. R., & Alves, J. de O. (2015). Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em

- diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(10), 931–938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Esmaeili, A., Hosseini, M. B., & Hashemi, M. (2013). Forage yield, quality and economic benefit of intercropped barley and annual medic in semi-arid conditions: Additive series. *Field Crops Research*, 148, 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.03.021>
- Salassi, M. E., Deliberto, M. A., & Guidry, K. M. (2013). Economically optimal crop sequences using risk-adjusted network flows: Modeling cotton crop rotations in the southeastern United States. *Agricultural Systems*, 118, 33–40. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2013.02.006>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., Araújo Júnior, G. do N., Silva, M. J. da, Souza, L. F. de, Queiroz, M. A. Á., Campos, F. S., Gois, G. C., França, J. G. E. de, Nunes Filho, J., Steidle Neto, A. J., Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2024). Intercropping impacts growth in the forage cactus, but complementarity affords greater productivity, competitive ability, biological efficiency and economic return. *Agricultural Systems*, 218, 103958. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.103958>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., de Souza, L. S. B., & da Silva, T. G. F. (2021). Intensification of forage cactus production systems by rotating intercropping with grasses, legumes, and oilseeds: A review. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2369–2390. <https://doi.org/10.26848/rbfg.v14.4.p2322-2343>
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. Á. de, Lumbrebas, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Filho, J. C. de A., Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. In 5 (Ed.), *Embrapa Solos* (5th ed.). EMBRAPA.
- Santos, M. C. S., Lira, M. A., Tabosa, J. N., Mello, A. C. L., & Santos, M. V. F. (2011). Comportamento de clones de pennisetum submetidos a períodos de restrição hídrica controlada. *Archivos de Zootecnia*, 60(229), 31–39. <https://doi.org/10.21071/az.v60i229.4686>
- Sentek. (2001). *Calibration*. Water, 60.
- Silva, L.L.G.G., Alves, G.C., Souto, M., Figueiredo, H., Burity, H.A. Produtividade e carboidratos de reserva de pastagens sob intensidades de cortes. *Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal*, v. 20, n. 1-2, p.7-16, 2012.
- Silva, T. G. F., Primo, J. T. A., e Silva, S. M. S., de Moura, M. S. B., dos Santos, D. C., Silva, M. da C., & Araújo, J. E. M. (2014). Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido Brasileiro. *Bragantia*, 73(2), 184–191. <https://doi.org/10.1590/brag.2014.017>
- Silva, T. G. F., Queiroz, M. G., Zolnier, S., Souza, L. S. B., Souza, C. A. A., Moura, M. S. B., Araújo, G. G. L., Steidle Neto, A. J., dos Santos, T. S., Melo, A. L., Cruz Neto, J. F., Silva, M. J., & Alves, H. K. M. N. (2021). Soil properties and microclimate of two predominant landscapes in the Brazilian semiarid region: Comparison between a seasonally dry tropical forest and a deforested area. *Soil and Tillage Research*, 207, 104852. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104852>

- Singh, P. K., & Chudasama, H. (2021). Pathways for climate change adaptations in arid and semi-arid regions. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124744. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124744>
- Sousa, G. G. de, Rodrigues, V. D. S., Sales, J. R. da S., Cavalcante, F., Silva, G. L. da, & Leite, K. N. (2019). ESTRESSE SALINO E COBERTURA VEGETAL MORTA NA CULTURA DO MILHO. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(7), 3078–3089. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V12N700889>
- Sousa, P. G. R. de, Viana, T. V. de A., Carvalho, C. M. de, Campos, K. C., Silva, F. L. da, & Azevedo, B. M. de. (2019). Avaliação financeira do sorgo forrageiro no semiárido cearense. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(4), 1465. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1465-1485>
- Souza, M. de S., Araújo Júnior, G. do N., de Souza, L. S. B., Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, A., da Silva, G. I. N., de Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Leite, M. L. de M. V., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. da. (2023). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range and Forage Science*, 40(2), 219–230. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.2016967>
- Souza, M. S., Araújo Júnior, G. do N., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. da R. F., Silva, G. I. N., Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Leite, M. L. de M. V., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. da. (2023). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range & Forage Science*, 40(2), 219–230. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.2016967>
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6a Edição* (Artmed, Vol. 6).
- Thadeu, H. N. S., Lucas, P. B., Natalia, F., & Luciana, B. F. (2018). Diferentes adubações na cultura do feijão guandu. *COLLOQUIUM AGRARIAE*, 14(Especial), 13–20. <https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.nesp.000251>
- Veloso, G. A., Ferreira, M. E., Ferreira Júnior, L. G., & Barbosa da Silva, B. (2020). Modelling gross primary productivity in tropical savanna pasturelands for livestock intensification in Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100288>
- Wang, J., Zhang, Y., Gong, S., Xu, D., Juan, S., & Zhao, Y. (2018). Evapotranspiration, crop coefficient and yield for drip-irrigated winter wheat with straw mulching in North China Plain. *Field Crops Research*, 217, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.010>
- Xiao, J., Yin, X., Ren, J., Zhang, M., Tang, L., & Zheng, Y. (2018). Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and saves nitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field Crops Research*, 221(March), 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.009>
- Xu, Z., Li, C., Zhang, C., Yu, Y., van der Werf, W., & Zhang, F. (2020). Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*, 246, 107661. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107661>
- Yang, L., Lu, M., Carl, S., Mayer, J. A., Cushman, J. C., Tian, E., & Lin, H. (2015). Biomass characterization of Agave and Opuntia as potential biofuel feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, 76, 43–53. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.03.004>

-----CAPÍTULO III-----

**DESEMPENHO DO CONSÓRCIO PALMA-FEIJÃO GUANDU-SORGO SOB
DIFERENTES ARRANJOS DE CULTIVO EM AMBIENTE SEMIÁRIDO**

CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS E USO EFICIENTE DA ÁGUA EM PALMA-FEIJÃO GUANDU-SORGO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO E CONDIÇÕES DE COBERTURA MORTA NO SEMIÁRIDO

RESUMO

A estabilidade na produção de forragem na região do semiárido é influenciada pelas condições locais. Implementar vegetais apropriados e utilizar técnicas como a consorciação pode assegurar a alimentação dos rebanhos. Além disso, a incorporação de culturas adaptadas e a aplicação de manejo resilientes não apenas reduzem a sazonalidade na produção de forragem, mas também melhoram as trocas gasosas das plantas, contribuindo para sistemas de cultivo mais sustentáveis e lucrativos. A prática da cobertura morta também se mostra relevante, proporcionando benefícios adicionais, como a melhoria na retenção da umidade e a proteção do solo. O objetivo da pesquisa é investigar a fisiologia da palma, feijão-guandu e o sorgo nos sistemas exclusivo e consorciado na ausência e presença da cobertura morta, tendo o foco em trocas gasosas, fotossíntese e o balanço hídrico do solo na região do semiárido brasileiro. O estudo foi desenvolvido entre 2022 e 2023, no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras – Centro REF, no município de Serra Talhada-PE, na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST/UFRPE). Foram empregadas nos estudos as culturas palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana, feijão-guandu e o sorgo. O delineamento experimental foi blocos casualizados, sendo seis tratamentos com quatro repetições. Foram observados dados como trocas gasosas das culturas, CEes e pH do solo ao longo do tempo, balanço de água do solo e índices hídricos. No sistema consorciado, a cobertura morta elevou a transpiração do feijão-guandu mais do que o sistema exclusivo com $6,83 \text{ mol/m}^2/\text{s}^{-1}$, o que melhorou a eficiência fotossintética. Além disso, a cobertura morta diminuiu a salinidade do solo, portanto, melhorou a fotossíntese da palma em ambos os sistemas. Os tratamentos com cobertura morta promoveram melhor eficiência do uso da água. Isso ocorreu devido à taxa fotossintética mais alta, o que resultou em uma biomassa maior por unidade de água transpirada. A cobertura morta e as técnicas de cultivo estudadas foram eficazes para reduzir a salinidade do solo ao manter balanço hídrico e promover um ambiente mais equilibrado para o crescimento das plantas no semiárido. A presença da cobertura morta nos tratamentos foram significativos nos resultados da CE e do pH do solo, havendo uma diminuição da concentração de sais. Os tratamentos vieram com grandes perdas de drenagem profunda nos sistemas sem cobertura morta com média de 117,90 mm. O tratamento palma consorciada com cobertura morta obteve o maior valor positivo de armazenamento de água e a maior eficiência na utilização hídrica. Conclui-se que o uso da cobertura morta nos sistemas consorciados resultou em valores acentuados de armazenamento de água superiores, consistente com a reorganização do solo, melhor porosidade, e as flutuações observadas.

Palavras-chave: Balanço hídrico; Eficiência hídrica; Fisiologia vegetal; Interação de culturas; Manejo resiliente.

EVALUATION OF GAS EXCHANGE AND EFFICIENT WATER USE IN PALMA-BEAN GUANDU-SORGO UNDER DIFFERENT CULTIVATION SYSTEMS AND MULCHING CONDITIONS IN THE SEMI-ARID REGION

SUMMARY

The stability of forage production in the semi-arid region is influenced by local conditions. Implementing appropriate vegetation and using techniques such as intercropping can ensure livestock feed. Additionally, incorporating adapted crops and applying resilient management not only reduces the seasonality of forage production but also improves plant gas exchange, contributing to more sustainable and profitable cropping systems. The practice of mulching is also relevant, providing additional benefits such as improved moisture retention and soil protection. The research aims to investigate the physiology of cactus pear, pigeon pea, and sorghum in exclusive and intercropped systems with and without mulch, focusing on gas exchange, photosynthesis, and soil water balance in the Brazilian semi-arid region. The study was conducted between 2022 and 2023 at the International Reference Center for Agrometeorological Studies of Cactus Pear and Other Forage Plants – REF Center, in the municipality of Serra Talhada-PE, at the Academic Unit of Serra Talhada (UAST/UFRPE). The crops used in the studies were cactus pear variety Orelha de Elefante Mexicana, pigeon pea, and sorghum. The experimental design was randomized blocks with six treatments and four replications. Data observed included crop gas exchange, soil EC and pH over time, soil water balance, and water indices. In the intercropped system, mulch increased the transpiration of pigeon pea more than the exclusive system with $6.83 \text{ mol/m}^2/\text{s}$, which improved photosynthetic efficiency. Additionally, mulch decreased soil salinity, thereby improving the photosynthesis of cactus pear in both systems. Treatments with mulch promoted better water use efficiency due to higher photosynthetic rates, resulting in greater biomass per unit of water transpired. Mulch and the studied cultivation techniques effectively reduced soil salinity by maintaining water balance and promoting a more balanced environment for plant growth in the semi-arid region. The presence of mulch in the treatments significantly impacted soil EC and pH results, with a decrease in salt concentration. Treatments without mulch experienced significant deep drainage losses, averaging 117.90 mm. The intercropped cactus pear with mulch treatment achieved the highest positive water storage value and the highest water use efficiency. It is concluded that the use of mulch in intercropped systems resulted in significantly higher water storage values, consistent with soil reorganization, better porosity, and observed fluctuations.

Key words: Hydric balance; Water efficiency; Plant Physiology; Culture interaction; Resilient management.

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro se caracteriza por ser uma região de temperaturas diurnas elevadas, intensa radiação solar, apresentar baixa umidade atmosférica e pouca precipitação em torno de 800 mm ano⁻¹ (Alves *et al.*, 2020). Na região, a precipitação costuma ser irregular, concentrada em poucos meses ao longo do ano, o solo é pouco profundo e tem baixa capacidade de retenção de água, sendo um problema no setor agrícola (Alves *et al.*, 2020).

Com as irregularidades das chuvas, reduz-se o potencial produtivo dos sistemas de cultivo, levando o agricultor a procurar soluções que possam atenuar os efeitos causados pela instabilidade climática em sua propriedade (Wanderley *et al.*, 2017). O bioma é abundante, possuindo um complexo de vegetais e ambientes diversos, fisionomias distintas e flora variada, sendo composta por espécies vegetais arbóreas e herbáceas, plantas lenhosas de pequeno a grande porte, com destaque as cactáceas como uma família de maior importância na região do nordeste brasileiro (Neto *et al.*, 2017).

Para mitigar essas questões, a escolha de plantas forrageiras que sejam adaptadas ao clima da região pode minimizar os impactos na pecuária provocados pelas condições adversas do clima (Silva *et al.*, 2021). Nesse cenário, uma planta que merece atenção é a cactácea palma forrageira, pois seu metabolismo e suas características morfológicas se destacam por apresentar alta produção de biomassa, especialmente em ambientes com temperaturas elevadas e por apresentar escassez de água (Silva *et al.*, 2021).

Essa cultura se destaca por conter 90% de umidade no cladódio, o que ajuda a minimizar a necessidade de água pelo rebanho e possuir elevados níveis de carboidratos solúveis, vitaminas, minerais e alta digestibilidade (Jardim *et al.*, 2020). A palma forrageira possui uma grande resistência a longos períodos de seca e uma alta eficiência no uso da água, devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). A abertura dos estômatos para a captação de CO₂ do ar ocorre durante a noite, diminuindo a perda de água por transpiração, além que o CO₂ é transformado em malato e armazenado nos vacúolos das células na forma de ácido málico (Silva *et al.*, 2021b).

Entretanto, a cultura tem baixo teor de biomassa seca e proteína bruta, componentes vitais para a nutrição de animais, os quais podem, por conseguinte, enfrentar problemas gastrointestinais, provocando uma redução no desenvolvimento (Cardoso *et al.*, 2019). Por isso é importante equilibrar a dieta, além da sustentabilidade alimentar com a combinação de outras culturas forrageiras como o feijão-guandu e o sorgo em sistemas integrados, no qual tem um potencial de diminuir as despesas com a compra de

alimentos concentrados e otimiza no desempenho na propriedade (Buch *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2021; Sá *et al.*, 2021).

Atrelado às práticas agrícolas com o intuito de melhorar a eficiência do uso da água, o uso da cobertura morta é uma técnica utilizada de alto potencial, no qual reduz a perda de água por evaporação, promovendo a otimização mais eficiente da água de irrigação no sistema de cultivo, prologando sua disponibilidade para as plantas, além de diminuir o aparecimento de plantas invasoras (Silva *et al.*, 2020). Algumas pesquisas têm demonstrado que a inserção da cobertura morta em sistemas de cultivo tem minimizado a demanda hídrica via irrigação com a diminuição da evapotranspiração das plantas, reduzindo a variação térmica do solo, resultando assim no incremento da produtividade das culturas agrícolas (Murga-Orrillo *et al.*, 2018; Yin *et al.*, 2017).

Apesar das técnicas mencionadas poderem proporcionar vantagens, é crucial compreender a dinâmica hídrica no sistema solo-planta-atmosfera, em distintos arranjos de cultivo (Salvador *et al.*, 2024). Assim, o balanço de água no solo possibilita um planejamento hídrico nos diversos sistemas de irrigação, possibilitando entender com mais detalhes a exigência hídrica e sua interação com as plantas no sistema monocultivo e/ou consorciado (Pereira *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022).

Pesquisas sobre o estudo fisiológico da palma forrageira consorciado com outras forrageiras na presença da cobertura morta, principalmente com relação às trocas gasosas e fotossíntese ainda são limitadas, assim a execução de mais estudos que busquem ampliar o entendimento e a percepção da fisiologia da cultura em ambiente semiárido é relevante.

Diante disto, o objetivo desta pesquisa é investigar a fisiologia da palma, feijão-guandu e o sorgo nos sistemas exclusivo e consorciado na ausência e presença da cobertura morta, tendo o foco em trocas gasosas, fotossíntese e o balanço hídrico do solo na região do semiárido brasileiro. A pesquisa busca ampliar a compreensão sobre as práticas de manejo, e suas influências podem influenciar na eficiência fotossintética, nas taxas de transpiração, e o uso eficiente da água, possibilitando o desenvolvimento de estratégias sustentáveis para a produção de forragens para alimentação animal na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e Outras Plantas Forrageiras

(FIGURA 1), situado no município de Serra Talhada-PE, Brasil (Latitude: 7°59'S, Longitude: 38°15'O e Altitude: 499 m).

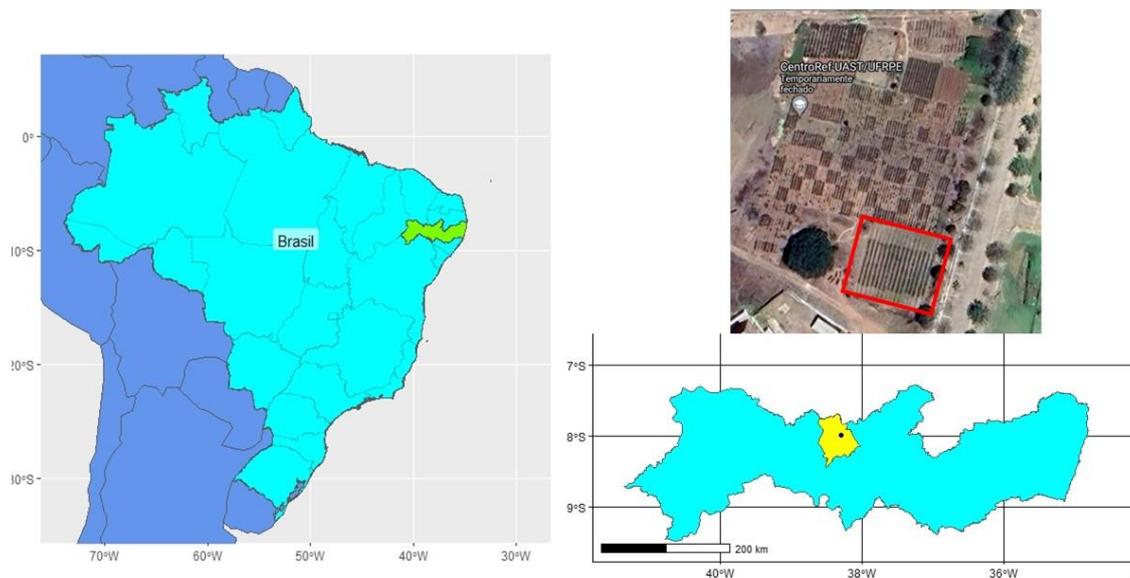


Figura 1. Mapa de localização da área experimental.

O clima da região segundo Köppen é do tipo BSw^h, com verão chuvoso e inverno seco (Alvares *et al.*, 2013). A temperatura do ar varia entre 20,1 a 32,9°C, precipitação média 642 mm ano⁻¹ e evapotranspiração 2.000 mm ano⁻¹ (Pereira *et al.*, 2015). O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico (Tabela 1), de acordo com Santos *et al.* (2018).

Tabela 1. Característica física e química Cambissolo Háplico Ta eutrófico típico, cultivado com palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Serra Talhada-PE.

Propriedade física											
Profundidade	ρ	ρ_s	\emptyset	Areia	Silte	Argila					
--- m ---	-- g cm ⁻³ --		%	--- g kg ⁻¹ ---							
0,0 - 0,20	1,58	2,48	35,8	831,85	123,6	44,55					
Propriedades químicas do solo											
Profundidade	CE	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	V
--- m ---	dS m ⁻¹	-	mg dm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----			-----			%	
0,0 - 0,20	0,69	6,8	72,31	1,01	0,03	4,25	1,9	0,0	0,6	7,8	92,35

ρ - densidade do solo; ρ_s - densidade dos sólidos; \emptyset - porosidade total; C.E - condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; CTC - capacidade de troca de cátions; V - saturação de bases.

O experimento foi delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições, em esquema fatorial 3x2, sendo representado por três tipos de cultivo (palma exclusivo; feijão-guandu/sorgo exclusivo; e palma consorciada com feijão-guandu/sorgo) e dois tipos de cobertura com e sem a cobertura morta, no qual as parcelas foram constituídas: (I - palma exclusiva sem cobertura morta (P SC); II - palma exclusiva com cobertura

morta (P CC); III – rotação feijão-guandu ou sorgo exclusivo sem cobertura morta (FG SC ou S SC); IV – rotação feijão-guandu ou sorgo exclusivo com cobertura morta (FG CC ou S CC); V – consórcio palma-feijão ou sorgo sem cobertura morta (P/FG SC ou P/S SC); VI - consórcio palma-feijão ou sorgo com cobertura morta (P/FG CC ou P/S CC) (Figura 1). No primeiro ciclo momento do experimento as espécies estudadas foram a palma forrageira com o feijão-guandu. No segundo momento ocorreu uma rotação de culturas com a entrada do sorgo forrageiro, permanecendo a palma forrageira (Figura 2).

Com relação à distância do consórcio foi de 0,2 m da parte basal da palma em fileira simples. A parcela experimental foi de 25,6 m², sendo quatro fileiras de 4 m de comprimento, totalizando 24 parcelas experimentais. A parcela útil foi considerada as duas fileiras centrais com exceção das plantas na extremidade. Para os tratamentos com a cobertura morta, foi utilizado matéria seca de capim corrente (*Urochloa mosambicensis*), implantada 15 dias antes das culturas do semeio da cultura consorciada com altura de 0,15 m sobre o solo, utilizando aproximadamente 17,6 toneladas por hectare.

Os tratamentos foram distribuídos de forma aleatória em blocos homogêneos, onde cada bloco contém uma repetição de cada tratamento. Para sortear uma parcela de um tratamento no bloco, utiliza-se o processo aleatório, como um sorteio de números ou o uso de ferramentas estatísticas como softwares. Isso garante a imparcialidade na escolha da parcela experimental.

O experimento com tratamentos em arranjo fatorial envolve a combinação sistemática de diferentes níveis ou mais fatores. Cada tratamento representa uma combinação única dos níveis dos fatores do experimento. No experimento são 6 tratamentos com 4 repetições. Os tratamentos foram aplicados em parcelas agrupadas em blocos homogêneos, garantindo controle estatístico e reduzindo a variação experimental.

2.1 Análise Fisiológica

A análise fisiológica da folha do feijão-guandu e o sorgo foram realizadas feitas no período diurno entre 7 e 9 horas e a palma forrageira a partir das 23 horas. Na cultura do feijão-guandu, a leitura foi feita no terceiro ramo da planta. No sorgo foi na terceira folha. Na cultura da palma, a leitura foi realizada na região central do cladódio da segunda ordem. Foram avaliadas as seguintes variáveis: fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, eficiência do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação utilizando o aparelho o analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA CID Bio Science modelo CI 340).

2.2 Variáveis de solo

O solo foi coletado no início e no final do ciclo do experimento. A primeira coleta foi realizada antes do semeio do feijão-guandu. A segunda coleta foi realizada na colheita da palma e do feijão-guandu. A terceira e última coleta do solo foi realizada na segunda colheita da palma e do sorgo. Foram considerados 12 pontos de amostragem de solo em cada parcela, entre 2ª e 3ª fileira de cada bloco próximo a fita de gotejo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, totalizando 48 pontos e duas amostras de solo para cada profundidade totalizando 96 amostras para determinar as CEEs e o pH do solo. O método de análise foi realizado conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo (EMBRAPA, 2017).

2.3 Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada três vezes durante a semana utilizando a sonda de Diviner 2000® em 18 tubos de PVC com diâmetro de 50 mm e 0,70 m de comprimento. Existiam 6 tubos de acesso na parcela, monitorando na profundidade 0,70 m, espaçados a 0,10 m da fileira da palma e entre os consórcios. A sonda foi calibrada para condições locais seguindo a metodologia de Sentek (2001). O aparelho é composto por uma cápsula de controle de umidade e registo de profundidade, display, datalogger, haste de 1,6 m de comprimento e um cabo de conexão da sonda com o display. As leituras da sonda capacitiva foram realizadas três vezes durante a semana antes da irrigação a cada 0,10 m de profundidade nas segundas, quartas e sextas.

2.4 Balanço de água no solo (BAS)

O balanço de água no solo foi determinado pelo método de Libardi (2005) seguindo a equação 1:

$$\pm \Delta h = P + I \pm R \pm Q - ET \quad \text{Eq.1}$$

em que: Δh – variação de armazenamento de água no solo (mm); P – precipitação (mm); I – irrigação (mm); R – escoamento superficial (mm); Q – fluxo total de drenagem (mm); ET – evapotranspiração real (mm).

Em relação à quantificação da variação do armazenamento da água no solo (Δh_L) esta foi determinada com base na diferença do valor final com a inicial do armazenado de água no solo na profundidade escolhida ($Z = L$) conduzido em intervalos de 14 dias com valores obtidos pela leitura do Diviner 2000®, seguindo a equação 2 a seguir:

$$\Delta h_L = (\theta_f - \theta_i) * L \quad \text{Eq.2}$$

em que: θ_f e θ_i – conteúdo de água volumétrico final e inicial, respectivamente; L – profundidade de interesse, análise do sistema radicular (mm).

A precipitação (P, em mm) foi monitorada com auxílio do pluviômetro localizado na área experimental em intervalos de setes dias.

O parâmetro total de água de irrigação (I) foi composto pela integração dos eventos da irrigação, conforme a equação 3:

$$\int_{t_i}^{t_j} i dt = I \quad \text{Eq.3}$$

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

O escoamento superficial (R, em mm) foi estimado pela metodologia do Serviço de Conservação dos Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, conhecido como método da “Curva Número”, considerando o solo avaliado do experimento e seu uso, umidade inicial e as propriedades hidrológicas do local, conforme a equação 4:

$$R = \frac{(P - 0,2 * (\frac{25400}{CN} - 254))^2}{(P + 0,8 * (\frac{25400}{CN} - 254))} \quad \text{Eq.4}$$

em que: CN - é o número da curva, que para esse estudo foi de 75, sendo o valor que melhor representa a condição de solo do experimento, com moderada taxa de infiltração quando completamente úmido e plantio em fileiras com curvas de nível de boa condição hidrológica.

A densidade de fluxo (q) foi quantificada pelo método de Darcy-Buckingham (LIBARDI, 2005), conforme a equação 5:

$$q = - K(\theta) * \frac{\Delta \Psi}{\Delta z} \quad \text{Eq.5}$$

em que: q – densidade de fluxo de água no solo (mm dia^{-1}) na profundidade de controle; $K(\theta)$ – condutividade hidráulica do solo em função da umidade do solo (mm dia^{-1}); $\Delta \Psi / \Delta z$ – gradiente do potencial de água no solo.

A condutividade hidráulica do solo foi determinada em função da umidade do solo $K(\theta)$ pela equação 6:

$$K(\theta) = K_0 e^{\gamma(\theta - \theta_0)} \quad \text{Eq.6}$$

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

A evapotranspiração (ET, em mm) foi determinada pela equação 1 do balanço de água do solo após os cálculos dos componentes no intervalo de 14 dias, sendo monitorado e registrado o período do tempo do experimento.

2.5 Índices hídricos

Os índices hídricos foram calculados com base no rendimento da biomassa seca, na quantidade de água fornecida ao cultivo por meio de precipitação (P) e irrigação (I), e a ETr. O índice no uso da água é um indicador empregado para medir a quantidade de água consumida pela planta para gerar biomassa seca a partir do volume de água aplicado no sistema de cultivo. E pode ser estabelecido com base em critérios como a produtividade comerciável ao longo do ciclo ou final. Os índices foram calculados de acordo com a metodologia de Fernández *et al.* (2020) .

A eficiência do uso da água da cultura (WUEc) foi calculada pela relação entre a evapotranspiração real (ETr) e a quantidade de água aplicada (P+I), seguindo a equação 8:

$$WUEc = \frac{ETr}{P+I} \quad \text{Eq.8}$$

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

A eficiência do uso da água da cultura (*WUEc) foi calculado com base na relação entre a biomassa total da cultura e a ETr, equação 9:

$$*WUEc = \frac{\text{Biomassa}}{ETr} \quad \text{Eq.9}$$

em que: *WUEc - eficiência do uso da água da cultura (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); biomassa = biomassa seca total da cultura (kg ha⁻¹); ETr = evapotranspiração real (m³ ha⁻¹).

A produtividade da água da água (WPc) foi obtida a partir da equação 10 com a relação entre o rendimento da biomassa seca final da cultura (Y) e o total da água envolvida na produção durante o ciclo (P + I):

$$WPc = \frac{Y}{P+I} \quad \text{Eq. 10}$$

em que: WPc = produtividade da água da cultura (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Y = rendimento de matéria seca (kg ha⁻¹); P = precipitação (m³ ha⁻¹); I = irrigação (m³ ha⁻¹).

A produtividade de água de irrigação (WPi) foi calculada sendo a relação do rendimento da produtividade da cultura sobre a quantidade de água de irrigação aplicada (I), equação 11:

$$WPi = \frac{Y}{I} \quad \text{Eq. 11}$$

em que: WPi = produtividade da água irrigação (kg ha⁻¹ m³ ha⁻¹); Y = rendimento de

matéria fresca e seca (kg ha^{-1}); I = irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F para a variação da irrigação e a presença da cobertura morta no solo com significância de $p < 0,01$ e $p < 0,05$ de probabilidade, sendo feitas análises pelo software Statistica e a confecção dos gráficos foram feitas utilizando o Sigmaplot (versão 14).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização do nosso estudo, a precipitação total foi de 209,6 mm, com o maior volume observado entre maio e início de junho, sendo que a partir do mês de agosto, a demanda hídrica aumentou significativamente em razão da fase vegetativa que exige mais água e passando para a fase reprodutiva, conforme Figura 2.

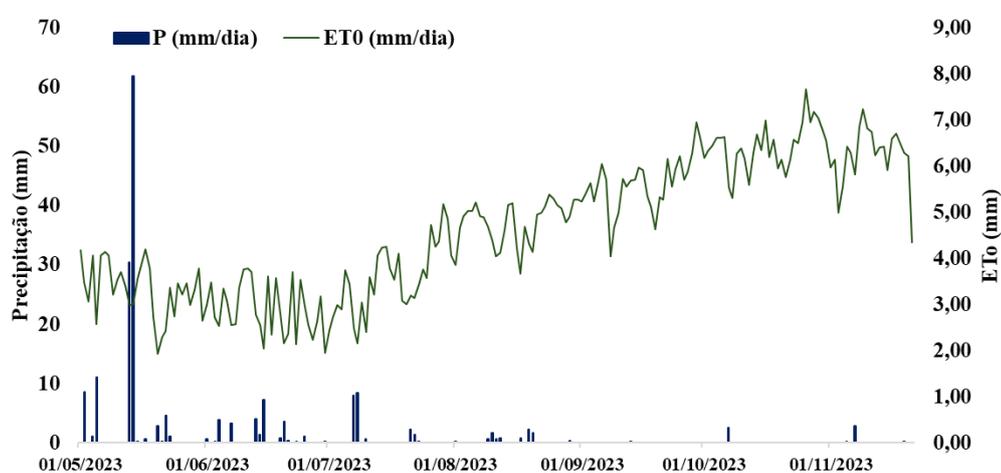


Figura 2. Distribuição da precipitação e evapotranspiração de referência do feijão-guandu no período de 11 de julho de 2022 a 31 de janeiro – Serra Talhada, Pesqueira-PE.

3.1 Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no feijão-guandu, palma e sorgo

3.1.1 Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no feijão-guandu e palma

Com relação aos parâmetros de trocas gasosas na primeira leitura do IRGA nas culturas do feijão-guandu observa-se interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura morta promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) em Pn (Taxa líquida de fotossíntese), E (taxa de transpiração); gs (Taxa de condutância estomática); Ci (concentração interna de CO_2); EUA (eficiência do uso da água), EiC (Eficiência instantânea de carboxilação) e eficiência de uso da água (EUA) na cultura do feijão-

guandu (Tabela 2). Observa-se que houve interação entre os fatores estudados em Pn (Taxa líquida de fotossíntese), gs (Taxa de condutância estomática) e EUA (Eficiência do uso da água) na cultura da palma. Não houve efeito significativo dos fatores para taxa de transpiração na palma forrageira.

Tabela 2 Resumo da análise de variância para variáveis fisiológicas do feijão-guandu e da palma forragem em sistema de cultivo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

1ª leitura							
Quadrado médio							
Feijão-guandu							
FV	GL	Pn	E	gs	EUA	Ci	EiC
Sist. de cult.	1	66,42**	2,10**	531,30**	0,26ns	212,86ns	0,0002ns
S/C cob.	1	369,02**	0,42**	4258,86**	7,34**	27899,02**	0,004*
Interação	1	40,76**	0,19**	115,67*	0,42**	9750,57**	0,03**
Bloco	3	0,93ns	0,03ns	46,90ns	0,05ns	87,40ns	0,00ns
Erro	9	2,81	0,15	16,87	0,06	66,13	0,00
CV (%)		8,59	6,29	3,69	8,15	6,08	13,05
Palma							
		Pn	E	gs	EUA		
Sist. de cult.	1	0,95ns	0,00002ns	1,30ns	339,26**		
S/C cob.	1	19,27**	0,001ns	35,79**	518,08**		
Interação	1	1,89*	0,00005ns	2,30**	153,19*		
Bloco	3	0,04ns	0,00ns	1,00ns	9,29ns		
Erro	9	0,44	0,00	1,37	21,30		
CV (%)		5,21	15,12	8,18	5,98		

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; Pn (Taxa líquida de fotossíntese ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); E (taxa de transpiração ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); gs (Taxa de condutância estomática ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); Ci – concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol}/\text{mol}^{-1}$); EUA – eficiência do uso da água [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})/(\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})$]; EiC – Eficiência instantânea de carboxilação [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})/(\mu\text{mol}/\text{mol})$]; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Nesse experimento, o feijão-guandu na presença da cobertura morta sobressaiu em relação ao tratamento sem a cobertura morta ($p < 0,05$), apresentando médias superiores nos parâmetros fisiológicos (Tabela 3). O mesmo comportamento foi verificado em Pn, gs e EUA na cultura da palma durante o primeiro ciclo.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros fisiológicos do feijão-guandu e da palma forrageira em sistemas de cultivo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada - PE.

Feijão-guandu							
Cobertura	Sist. de cult.	Pn	E	gs	EUA	Ci	EiC
Sem	FG exc	14,28aB	5,78aA	91,98bB	2,48aB	63,71bB	0,22aA
	FG/P	15,16aB	6,28aB	98,12aB	2,41aB	120,38aB	0,12bB
Com	FG exc	20,69bA	5,89bA	119,23bA	3,51bA	196,60aA	0,10bB
	FG/P	27,96aA	6,83aA	136,13aA	4,09aA	154,52bA	0,17aA
Palma							
Cobertura	Sist. de cult.	Pn	gs	EUA			
Sem	P exc	11,84aB	12,94aB	69,93aB			
	P/FG	11,64aB	12,75aB	72,92aB			

Com	P exc	13,34aA	15,17aA	75,12bA
	P/Fg	14,52aA	16,50 aA	90,52aA

Nota: Valores médios seguidos de mesma letra na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, para cada variável analisada; Pn (Taxa líquida de fotossíntese ($\text{micromol/m}^2/\text{s}^{-1}$)); E (taxa de transpiração ($\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1}$)); gs (Taxa de condutância estomática ($\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1}$)); Ci – concentração interna de CO₂ ($\mu\text{mol mol}^{-1}$); EUA – eficiência do uso da água [$(\text{micromol/m}^2/\text{s}^{-1})/(\text{mol/m}^2/\text{s}^{-1})$] EIC – Eficiência instantânea de carboxilação [$(\text{micromol/m}^2/\text{s})/(\text{micromol/mol})$]; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura; FG exc – Feijão-guandu exclusivo; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma; P exc – Palma exclusiva; P/FG – Palma consorciado com feijão-guandu.

A taxa de transpiração no feijão-guandu exclusivo foi de 5,89 mmol de H₂O m⁻²s⁻¹, e apresentou diferença no ponto de vista fisiológico quando foi comparado com o sistema consorciado na presença da cobertura morta 6,83 mmol de H₂O m⁻²s⁻¹. Essa redução de perda de água para a atmosfera em razão da retenção de umidade do solo pode ser atribuída à cobertura morta, impedindo a perda de água por evaporação do solo. Quando consorciado e na presença da cobertura morta, o sistema cria um microclima que proporciona um sombreamento parcial que reduz a temperatura do solo, diminuindo a evaporação direta da água do solo, o que aumenta a disponibilidade de água para a transpiração das plantas.

Com relação as taxas de líquida de fotossíntese (Pn) e condutância estomática (gs) ter sido significativo no feijão-guandu, pode estar relacionado ao fato cultura possuir mecanismos fisiológicos adaptados ao sistema de produção, indicando uma eficiência fotossintética e na abertura estomática mesmo com diferentes sistemas de produção. Esses resultados podem indicar que a cultura realizou uma homeostase, permitindo uma eficiência fotossintética e a abertura estomática. Observa-se que houve interação ($p < 0,01$) entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura morta. Na cultura da palma, só o fator sem/com a cobertura morta foi significativa em Pn.

Fica evidente que nos sistemas sem a presença da cobertura morta, tanto para o feijão e a palma, a taxa líquida de fotossíntese foi inferior aos arranjos na presença da cobertura morta. A explicação para essa ocorrência que nesses arranjos, o solo está exposto pode resultar um déficit hídrico, ocasionando o fechamento estomático das folhas para conservar a água. Isso vai limitar a entrada de CO₂, resultando na redução da taxa de fotossíntese (Zhang *et al.*, 2014). Adicionalmente o resíduo vegetal sobre o solo, melhora a estrutura do solo com o incremento da matéria orgânica, onde se tem melhor retenção de água e nutrientes, resultando condições favoráveis para o crescimento e desenvolvimento das raízes, além de proporcionar atividade microbiana, tornando mais eficiente a fotossíntese (Zhao *et al.*, 2016).

Esses pontos corroboram com a pesquisa de Kader *et al.* (2017), que demonstraram que o efeito da cobertura morta reduziu significativamente a temperatura do solo e conservou a umidade do solo, resultando em melhores taxas de crescimento e fotossíntese das plantas. Outro ponto que merece destaque é a presença da salinidade do solo, que foi superior nos tratamentos sem a cobertura morta, deixando sais dissolvidos mais concentrados na superfície. Essa alta de sais no solo, causa estresse osmótico nas plantas, diminuindo a capacidade das raízes em absorver água e nutrientes, resultando assim em um impacto negativo na fotossíntese (Munns e Tester, 2008).

A taxa líquida de fotossíntese do feijão-guandu e da palma forrageira foram maiores nos sistemas com a cobertura morta quando o solo teve baixa salinidade comparada com o sistema sem a cobertura morta, onde os sais influenciaram na redução da fotossíntese das culturas. De acordo com Prazeres *et al.* (2015), esse comportamento está associado a diminuição da absorção de CO₂, causando o fechamento parcial dos estômatos. Isso resulta na limitação do transporte de sais pelas raízes das plantas devido à redução da taxa de transpiração, o que impacta na fotossíntese das culturas. O mesmo ocorreu na pesquisa de Andrade *et al.* (2018), onde os autores investigaram o efeito da salinidade em feijão-caupi, observando uma redução na taxa de fotossíntese na planta.

A fotossíntese e a transpiração são os processos fisiológicos mais importantes nos aspectos do crescimento, desenvolvimento, na produtividade e com a perda de água pelas plantas. Esses processos são utilizados como referência para indicar o estado do ambiente que a planta se encontra, se sofre com algum estresse, além de ser um parâmetro para selecionar condições ideais para diferentes espécies vegetais (Larcher, 2006; Zhang *et al.*, 2007).

Para a variável condutância estomática (gs), a ANOVA revelou que ocorreu efeito significativo nos fatores sistema de cultivo, sem/com cobertura morta e houve interação significativo entre os fatoriais. No caso da palma forrageira, apenas o tratamento com cobertura morta apresentou significância. Nota-se que gs apresentou valores superiores na presença da cobertura morta em comparação aos sistemas sem essa prática. Os valores inferiores podem estar associados aos fatores de estresse, como o hídrico com a diminuição do conteúdo de água no solo e a salinidade.

Konrad *et al.* (2005) e Silveira *et al.* (2010) afirmam que os sais presentes com concentrações altas, têm um efeito prejudicial no processo de abertura dos estômatos das plantas, pois aumenta a difusão de CO₂. Isso é observado no nosso estudo nos sistemas que apresentaram elevada salinidade. O efeito na gs foram inferiores nas culturas da

palma e do feijão-guandu sem a presença da cobertura morta. Silva *et al.* (2011), relatam que a redução da fotossíntese está ligada à diminuição da condutância estomática nas folhas quando as plantas estão expostas a situações de salinidade.

Sobre o parâmetro eficiência do uso da água (EUA), mostra-se um efeito significativo nos fatores analisados. Além disso, foi observada interação significativa entre os fatores, o que sugere uma combinação dos mesmos afeta na EUA. Entretanto, no sistema de cultivo com o feijão-guandu não se observou significância, mostrando que as variações no sistema de cultivo não impactaram na eficiência hídrica.

A EUA representa a relação entre a fotossíntese e a transpiração, de modo que isso está associado a quantidade de carbono que a planta assimila para cada unidade de água que evapora (Jaimez *et al.*, 2005). Observa-se em nossa pesquisa uma alta na EUA nos arranjos na presença da cobertura morta, que é resultado da alta taxa fotossintética, o que vai resultar no incremento da biomassa por unidade de água transpirada. Resultados semelhantes com relação a EUA foram constatados por Gabriel *et al.* (2014).

Sobre as variáveis CO_2 e EiC , houve efeito significativo em sem/com cobertura e interação na cultura do feijão-guandu. Observa-se que os tratamentos com a presença da cobertura morta, resultaram em valores superiores aos tratamentos sem a cobertura morta. A combinação de altos valores de concentração interna de CO_2 com o aumento na condução estomática, indica um incremento na eficiência instantânea de carboxilação, devido à disponibilidade de ATP e NADPH (Silva *et al.*, 2015).

Durante a leitura da cultura da palma, não foi detectada concentração interna de CO_2 . A cultura no período da manhã, abre os estômatos para realizar as trocas gasosas, onde a temperatura está moderada e o déficit de pressão de vapor está reduzido (Rodrigues *et al.*, 2011). Já no período da tarde há um acréscimo de condutância estomática e concentração interna de CO_2 . Isso é resultado da descarboxilação do malato, respiração e leve assimilação de CO_2 ocasionado pela abertura dos estômatos (Taiz *et al.*, 2017).

3.1.2 Análise fisiológica para parâmetros de trocas gasosas no sorgo e palma

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da ANOVA para as variáveis fisiológicas das culturas do sorgo e a palma forrageira no segundo ciclo produtivo. Observa-se interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura morta promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) em P_n (Taxa líquida de fotossíntese), E (taxa de transpiração); g_s (Taxa de condutância estomática); C_i (concentração interna de CO_2); EUA (eficiência do uso da água), EiC (Eficiência instantânea de carboxilação) e eficiência

de uso da água (EUA) na cultura do sorgo (Tabela 4). Observa-se que houve interação entre os fatores estudados em Pn (Taxa líquida de fotossíntese), gs (Taxa de condutância estomática) e EUA (Eficiência do uso da água) na cultura da palma. Não houve efeito significativo dos fatores para taxa de transpiração na palma forrageira.

Tabela 4. Resumo da análise de variância (ANOVA) para variáveis fisiológicas do sorgo e palma forrageira em sistema de cultivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

	Quadrado médio						
	Sorgo						
	GL	Pn	E	gs	EUA	Ci	EiC
Sist. de cult.	1	73,87**	0,46ns	9,48ns	51,79*	3185,19**	0,00*
S/C cob.	1	0,41ns	0,12*	17,93*	0,11ns	4,25ns	0,00ns
Interação	1	77,52**	3,97*	15,48**	4,18*	447,85**	0,00**
Bloco	3	5,73ns	0,34ns	44,01*	2,16ns	50,86ns	0,00ns
Erro	9	5,42	0,65	8,52	6,53	28,24	0,00
CV(%)		15,39	40,73	17,60	30,09	1,48	15,15
	Palma						
	GL	Pn	E	gs	EUA	Ci	EiC
	Sist. de cult.	1	4,83**	0,00ns	2,38*	109,42ns	-
S/C cob.	1	21,17**	0,00ns	64,86**	309,65**	-	-
Interação	1	0,86**	0,01ns	0,22**	654,39*	-	-
Bloco	3	0,42ns	0,00ns	0,27ns	120,24ns		
Erro	9	0,31	0,00	0,30	182,91		
CV(%)		4,63	22,81	2,41	32,82		

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; Pn (Taxa líquida de fotossíntese ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); E (taxa de transpiração ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); gs (Taxa de condutância estomática ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); Ci – concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol}/\text{mol}^{-1}$); EUA – eficiência do uso da água [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})/(\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})$]; EiC – Eficiência instantânea de carboxilação [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})/(\mu\text{mol}/\text{mol})$]; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

Na Tabela 5, estão apresentados os valores médios de taxa líquida de fotossíntese (Pn), taxa de transpiração (E), taxa de condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (Ci), eficiência do uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) das culturas do sorgo e da palma forrageira no segundo ciclo produtivo.

Tabela 5. Resumo do teste de Tukey ($p < 0,05$) para variáveis fisiológicas do sorgo e da palma forrageira em sistema de cultivo exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada – PE.

Cobertura	Médias						
	Sorgo						
	Sist. de cult.	Pn	E	gs	EUA	Ci	EiC
Sem	S exc	19,64aA	2,23aA	378,65aA	9,69aA	378,65aA	0,05aA
	S/P	10,94bB	1,57aB	339,85bB	7,12bA	339,85bA	0,03bB
Com	S exc	14,91aB	1,41aB	367,03aB	10,89aA	367,03aA	0,04aB
	S/P	15,02aA	2,74aA	349,40bA	6,26bA	349,40bA	0,04aA

Palma

Cobertura	Sist. de cult.	Pn	gs	EUA
Sem	P exc	10,74aB	21,16aB	40,59aA
	P/S	11,37aB	20,62aB	33,03aB
Com	P exc	12,57bA	25,42aA	36,59bB
	P/S	14,14aA	24,41bA	54,62aA

Nota: Valores médios seguidos da mesma letra minúscula e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); O Pn (Taxa líquida de fotossíntese ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); E (taxa de transpiração ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); gs (Taxa de condutância estomática ($\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1}$)); Ci – concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol mol}^{-1}$); EUA – eficiência do uso da água [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})/(\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}^{-1})$] EiC – Eficiência instantânea de carboxilação [$(\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s})/(\mu\text{mol}/\text{mol})$]; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S exc – Sorgo exclusivo; S/P – Sorgo consorciado com palma; P exc – Palma exclusiva; P/S – Palma consorciada com sorgo;

Com relação à fotossíntese, observa-se que ambas as culturas tiveram valores diferentes nos sistemas exclusivo e consorciados, além dos tratamentos ausência/presença da cobertura morta. Na cultura do sorgo no sistema exclusivo, o tratamento sem a cobertura morta foi superior, entretanto, no sistema consorciado com a palma, o tratamento com a cobertura morta foi superior. Na cultura da palma, tanto no sistema exclusivo como consorciado com o sorgo sob a cobertura morta, apresentaram valores superiores. Com relação aos valores baixos, a explicação para isso é que houve o fechamento estomático, sendo associado ao efeito osmótico e à toxidez iônica no metabolismo das plantas avaliadas (Neves *et al.*, 2009).

Caso as plantas desta pesquisa estivessem sob estresse da salinidade, a primeira resposta da planta é reduzir a área foliar, isso é devido à inibição da expansão e divisão celular na região do meristema (Sousa, 2007).

Segundo SILVA *et al.* (2010), a diminuição da taxa líquida de fotossíntese nas plantas depende da disponibilidade hídrica no solo, onde, sob escassez de água, vai haver restrições na condutância estomática e na transpiração das plantas.

Baseado na literatura, estudos associam que a diminuição da Ci com a menor gs, quando a planta está sob estresse, o que não ocorreu no nosso trabalho. Esse fato da planta que está sob estresse, ocorre porque quanto menor for a gs (abertura dos estômatos), menor foi a entrada de CO_2 na região do mesófilo foliar, diminuindo a concentração interna e, conseqüentemente a fotossíntese (Oliveira *et al.*, 2017; Taiz *et al.*, 2017)

No final do ciclo, nota-se que a precipitação no período foi baixa. A limitação da disponibilidade de água pode impactar os parâmetros fisiológicos da planta e no crescimento das folhas, o que afeta na síntese da parede celular, resultando em um menor acúmulo de biomassa (STEINBERG *et al.*, 1990; Taiz *et al.*, 2017).

3.2 Coleta da cobertura morta em sistema de cultivo exclusivo e consorciado

Na Figura 3 estão representadas as coletas durante o experimento. Na primeira até a terceira o experimento foi conduzido com a cultura do feijão-guandu. Entre a quarta e sexta coleta, o experimento foi conduzido com o sorgo.

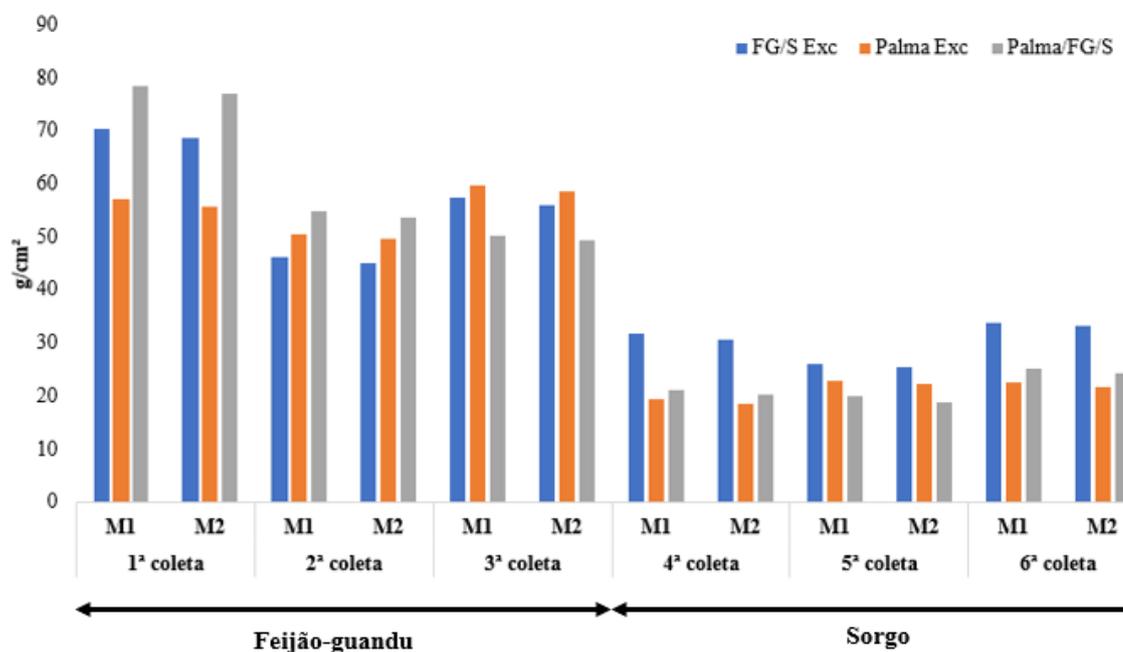


Figura 3. Coleta da cobertura morta ao longo do tempo; M1- peso da cobertura morta; M2- peso da cobertura morta após pesagem na estufa; FG/S Exc – Feijão-guandu ou Sorgo exclusivo; Palma exclusiva; Palma/FG/S – Palma consorciado com feijão-guandu ou sorgo.

Observa-se que no estudo, a cobertura morta diminui ao longo do tempo entre os tratamentos. Com relação ao tratamento feijão-guandu exclusivo, verificou-se uma diminuição acentuada, que pode corresponder ao período do crescimento da cultura, além do fato que a cultura ser uma leguminosa que fixa nitrogênio no solo, um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas e por favorecer atividade microbianas com ações decompositores.

A transição da cultura do feijão-guandu para o sorgo, intensifica a decomposição, reduzindo significativamente a quantidade de cobertura. No entanto, o tratamento de palma consorciada com o feijão-guandu desacelerou na decomposição; com a introdução da cultura do sorgo, o processo acelera, e o mesmo pode ser visto com o tratamento consorciado com a palma. No entanto, os resultados estão sujeitos a variáveis como a quantidade e qualidade do material vegetal que é utilizado como cobertura, o cenário climático, a extensão da fase experimental e a quantidade de água incorporada ao sistema produtivo, elementos diretamente ligados à velocidade na decomposição do resíduo vegetal (Qin *et al.*, 2021; Souza, M. de S. *et al.*, 2023). Portanto, é importante considerar os diferentes arranjos de cultivo, como o sistema exclusivo ou consorciado, juntamente

com a presença ou ausência da cobertura morta, para compreender os fatores que afetam a capacidade de retenção de água, aeração e disponibilidade de nutrientes para as plantas. Isso mostra da importância do manejo do solo que pode alterar as propriedades físicas, que são fundamentais na sustentabilidade na agricultura.

3.3 Análise dos parâmetros do solo em sistema de cultivo exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta

3.3.1 1ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta

Na Tabela 6 observa-se a ANOVA da CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em sistema exclusivo palma exclusiva, feijão-guandu exclusivo e consórcio entre palma+feijão guandu sem/com a cobertura morta das análises realizadas durante o experimento. Observa-se que houve interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) em condutividade elétrica (CE) e pH conforme evidenciado pelo teste F nas duas profundidades estudadas.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas de cultivo feijão-guandu exclusivo (FG exc), palma exclusiva, e consórcio feijão guandu+palma (FG/P) no primeiro ciclo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

1ª análise						
Quadrado médio						
		CE ($\mu\text{S/cm}$ a 25°C)		pH		
FV	GL	0 -10 cm	10 -20 cm	0 – 10 cm	10 -20 cm	
Sist. de cult.	2	497082,24**	445514,54**	0,01ns	0,01ns	
S/C Cob.	1	1270022,31**	1311752,20**	0,29**	0,39**	
Interação	2	37613,98**	268442,73**	0,04*	0,02**	
Bloco	3	469,02ns	6,56ns	0,03ns	0,00ns	
Erro	15	670,42	57,55	0,03	0,04	
CV (%)		1,71	0,50	3,13	1,17	

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; FV- Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CE – Condutividade elétrica; pH - potência hidrogeniônica; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob.- Sem/Com a cobertura morta.

Na 1ª análise, revelou-se um efeito significativo na CE nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm nos fatores sistema de cultivo de cultivo e sem/com a cobertura morta. Os resultados indicaram que tanto o tipo dos sistemas de cultivo quanto a cobertura, influenciaram de maneira distinta a salinidade do solo em ambas as profundidades. Além disso, observa-se que ocorreu uma interação entre os fatores, sugerindo que a combinação dos arranjos com a presença ou ausência dos resíduos vegetais afetam na CE do solo.

Para investigar as diferenças significativas entre os tratamentos, a análise de Tukey revelou diferenças na CE do solo nas profundidades 0 a 10 e 10 a 20 cm (Tabela

7). Com base nos resultados, é possível observar que os tratamentos com a cobertura morta apresentaram CE menor que os demais sistemas de produção.

Tabela 7. Valores médios para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas cultivo, feijão-guandu exclusivo (FG exc), palma exclusivo (P exc) e consórcio feijão guandu+palma (FG/P) no primeiro ciclo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

		1ª análise			
		Médias			
Cobertura	Sist. de cult.	CE 10 cm	CE 20 cm	pH 10 cm	pH 20 cm
Sem	FG exc	1549,65bA	1515,15bA	5,80aA	5,70aA
	FG/P	1271,55cA	1484,60bA	5,74aB	5,55aB
	P exc	2224,38aA	2300,70aA	5,70aA	5,47aB
Com	FG exc	1146,64aB	1240,51aA	5,80aA	5,76aA
	FG/P	1180,49aA	1238,49aA	5,82aA	5,80aA
	P exc	1373,13aB	1267,64aB	5,71aB	5,83aA

Nota: valores médios seguidos da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); CE – Condutividade elétrica; pH - potência hidrogeniônica; FG exc – Feijão-guandu exclusivo; FG/P – Feijão-guandu consorciado com palma; P exc – Palma exclusivo; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

A cobertura morta está atenuando a CE do solo, agindo como um isolante térmico, reduzindo a evaporação da água do solo, onde influencia na concentração de sais solúveis, protegendo o solo, mantendo o sistema de produção um ambiente mais equilibrado para o crescimento e desenvolvimento das plantas com retenção da água e nutrientes e consequentemente na redução da CE do solo.

Uma opção adicional é o uso de cultivos adensados e a rotação de culturas para áreas agrícolas na região do semiárido. Esses métodos de cultivos contribuem para o aumento da reciclagem de nutrientes no solo, resultando em uma gestão eficiente com relação aos recursos agrícolas disponíveis (Dominschek *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2021). Assim, trata-se de uma prática viável na conservação da umidade do solo para região do semiárido (Tuure *et al.*, 2021).

Com relação ao pH do solo, foram constatadas nas profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm diferenças significativas na ausência/presença da cobertura morta. Portanto, as práticas de manejo influenciaram a acidez ou alcalinidade do solo. Os resultados destacam a importância em considerar a interação dos sistemas de produção e suas implicações no solo. Com isso, essas variações encontradas da CE e do pH ressaltam a necessidade estratégias agrícolas de manejo para otimizar as condições do solo em diferentes profundidades. Isso em particular é relevante para os agricultores buscarem a maximização da produtividade e sustentabilidade no manejo agrícola.

Os níveis de salinidade nos tratamentos estavam abaixo do limite de tolerância para as culturas do feijão-guandu e da palma forrageira, o que significa que as plantas cresciam em condições saudáveis. Como resultado, as práticas de manejo abordadas alcançaram o sucesso no controle da concentração de sal no solo dentro dos parâmetros seguros. A cultura do feijão-guandu tem uma tolerância de salinidade na faixa de 3500 a 4000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ de NaCl (Araújo *et al.*, 2019c; AYERS & WESTCOT, 1999). Felix *et al.* (2022) estudando a produção da variedade Orelha de Elefante Mexicana com quatro concentrações de sais da água na região do semiárido, identificaram que a cultura não foi afetada pelas concentrações de sais na faixa 3500 a 4000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, apresentando melhor resultado com menores níveis de salinidade.

3.3.2 2ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta

Na 2ª análise de solo com a primeira colheita da palma e do feijão-guandu, iniciou-se o segundo ciclo da cultura da palma e do primeiro ciclo do sorgo, os resultados mostram que os tratamentos foram significativos nas camadas 0 a 10 cm e 10 a 20 cm (Tabela 8). Observa-se que houve interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura promoveram efeito significativo ($p < 0,05$) em condutividade elétrica (CE) e pH conforme evidenciado pelo teste F nas duas profundidades estudadas.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas de cultivo feijão-guandu exclusivo (FG exc), palma exclusiva, e consórcio feijão guandu+palma (FG/P) no primeiro ciclo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

2ª análise					
FV	GL	CE ($\mu\text{S/cm}$ a 25°C)		pH	
		0 -10 cm	10 -20 cm	0 - 10	10 -20
Sist. de cult.	2	727990,32**	458646,53**	0,01*	0,009ns
S/C cob.	1	1206599,57**	1609560,70**	0,005ns	0,06**
Interação	2	292039,79**	398435,33**	0,004*	0,001*
Bloco	3	37383,10ns	32548,44ns	0,00ns	0,01ns
Erro	15	161182,87	65259,16	0,00	0,00
CV (%)		8,73	16,94	1,16	1,41

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; CE – Condutividade elétrica; pH - potência) hidrogeniônico; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura;

Observa-se que os tratamentos com a cobertura morta emergiram como um fator determinante na variação da CE, onde a presença da palhada resultou em menores valores, indicando sua contribuição na qualidade do solo, aumentando a matéria orgânica e a infiltração do solo, no qual a presença da cobertura morta desempenha um importante papel na preservação da umidade e na prevenção da salinidade no solo (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas cultivo, feijão-guandu exclusivo (FG exc), palma exclusivo (P exc) e consórcio feijão guandu+palma (FG/P) no segundo ciclo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

2ª análise					
Médias					
Cobertura	Sist. de cult.	CE 10 cm	CE 20 cm	pH 10 cm	pH 20 cm
Sem	FG exc	1549,65bA	1515,15bA	5,80aA	5,65aB
	FG/P	1271,55cA	1484,60bA	5,74aA	5,69aA
	P exc	2224,38aA	2300,70aA	5,70bA	5,65aB
Com	FG exc	1146,64aB	1240,51aA	5,80aA	5,76aA
	FG/P	1180,49aA	1238,49aA	5,82aA	5,72aA
	P exc	1373,13aB	1267,64aB	5,71bA	5,82aA

Nota: valores médios seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); a letra minúscula avalia o sistema; a letra maiúscula avalia a cobertura; CE – Condutividade elétrica; pH - (potência) hidrogeniônico; Sist. de cult. – Sistema de cultivo.

Por isso da relevância da inserção da cobertura morta sobre o solo por potencializar o aproveitamento da água no sistema de produção, pois reduz as perdas de água por evaporação, proteção do solo contra a erosão, redução da variação da temperatura do solo, aumento de microrganismos benéficos, fornecimento de nutrientes ao solo por conta da decomposição, resultando assim em ecossistemas mais sustentáveis em cultivos no semiárido brasileiro (Quintanilla-Tornel *et al.*, 2016).

A presença da cobertura morta fez com que o pH fosse mais alto nas duas camadas. Isso pode estar relacionado à questão da retenção da água no solo proporcionada pela camada vegetal, reduzindo a oxidação dos nutrientes e a liberação de elementos ácidos. Nesse processo, a teoria de Walksman fala sobre a formação de substâncias húmicas do solo a partir da ação de microrganismos sobre a lignina. A inserção de resíduos vegetais sobre o solo pode contribuir para esse processo, em que a decomposição do material vegetal fornece nutrientes ao solo e o aumento da atividade microbiana (Stevenson, 1982).

A junção do consórcio entre a leguminosa e a cactácea na presença da cobertura morta, resultou em um equilíbrio maior do pH do solo, levando em consideração valores mais estáveis em ambas as profundidades.

3.3.3 3ª análise dos parâmetros do solo em sistemas de cultivos exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta

Na 3ª análise do solo na colheita final da palma e do sorgo, observa-se que teve efeito significativo nos tratamentos na CE e pH do solo em ambas as camadas, com exceção na variável na profundidade 10 a 20 cm (Tabela 10). Observa-se que houve interação entre o sistema de cultivo e sem/com cobertura promoveram efeito significativo

($p < 0,05$) em condutividade elétrica (CE) e pH conforme evidenciado pelo teste F. Não houve efeito significativo dos fatores para o pH em 10 a 20 cm.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas de cultivo sorgo exclusivo (S exc), palma exclusiva, e consórcio sorgo +palma (S/P) no terceiro ciclo e sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

3ª análise					
FV	GL	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)		pH	
		0 -10 cm	10 -20 cm	0 – 10 cm	10 -20 cm
Sist. de cult.	2	935624,21**	742995,54*	0,30*	0,11ns
S/C cob	1	784903,46**	1882070,42**	0,12ns	0,24ns
Interação	2	339126,17**	419085,78**	0,008*	0,008ns
Bloco	3	91493,07ns	241124,49ns	0,15ns	0,07ns
Erro	15	48489,40	127299,65	0,06	0,09
CV (%)		16,86	24,92	4,33	5,22

Nota: **, * - significativo a $p < 0,01$ e $0,05$, respectivamente, e ns – não significativo, pelo teste F; GL – Grau de liberdade; CV – coeficiente de variação; CE – Condutividade elétrica; pH – potência hidrogeniônica; Sist. de cult. – Sistema de cultivo; S/C cob. – Sem/Com cobertura.

Observa-se uma variação, onde a CE teve uma diminuição da primeira a segunda análise do solo, principalmente nos tratamentos com a cobertura morta, no qual essa redução pode ser atribuída ao manejo realizado para obter uma significância redução com a decomposição da matéria orgânica (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios para CE e pH do solo nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em três sistemas cultivo, sorgo exclusivo (S exc), palma exclusivo (P exc) e consórcio sorgo+palma (S/P) no terceiro ciclo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

3ª análise				
Cobertura	Sistema de cultivo	Médias		
		CE 10 cm	CE 20 cm	pH 10 cm
Sem	S exc	1119,43bA	1438,75bA	5,85aA
	S/P	1225,00bA	1374,30bA	5,91aA
	P exc	2115,50aA	2322,50aA	5,54bA
Com	S exc	1066,92bB	1177,50aB	6,06aA
	S/P	1021,56bB	1042,40aB	5,99aA
	P exc	1286,38aB	1235,43aB	5,69bA

Nota: valores médios seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$); a letra minúscula avalia o sistema; a letra maiúscula avalia a cobertura; CE – Condutividade elétrica; pH – potência hidrogeniônica;

Um detalhe importante no tratamento com feijão-guandu, é a interação entre as folhas caídas no solo e as raízes do feijão-guandu onde tem uma característica de alta capacidade de captação de água e nutrientes, por conta de suas características morfofisiológicas, pois desempenham um papel crucial na diminuição da concentração de sais no solo. As folhas que caem no solo formam uma serrapilheira, uma camada

orgânica na superfície do solo, no qual essa camada tem uma relevância na regulação da temperatura, retenção da água e, redução da concentração de sais pelo processo da lixiviação. As raízes do feijão-guandu têm um papel fundamental na diminuição dos sais no solo, por mecanismos de captação seletiva de íons, extraíndo nutrientes essenciais para sua sobrevivência e minimiza a absorção de sais que são considerados indesejáveis para cultura. Contudo, essa interação da cobertura morta, da serrapilheira e da raiz da cultura, proporciona um ambiente sinérgico no sistema de produção, promovendo um ambiente com condições ideais durante o seu crescimento e desenvolvimento.

A presença de resíduos vegetais é fundamental para o solo, pois tem a capacidade de modificar as estruturas físicas, químicas e biológicas na área cultivada (Salvador *et al.*, 2021a). Dentre os benefícios do material vegetal sobre o solo se destacam: redução da temperatura do solo; redução da erosão; melhoria na fertilidade do solo; diminuição da incidência da radiação direta sobre o solo; e aumento da retenção de água (Zhang *et al.*, 2021).

Na terceira análise do solo já com a cultura do sorgo forrageira, ocorre uma diminuição da CE, com exceção no tratamento palma exclusiva sem a cobertura morta, onde houve um aumento da CE do solo. Isso é consequência da decomposição da cobertura morta ao longo do tempo, além dos fatores externos e da água de irrigação classificada como uma C3. Lessa *et al.* (2020), em sua pesquisa com sorgo forrageiro sob estresse salino e uso da cobertura morta, constataram que a proteção do solo reduziu os efeitos prejudiciais dos sais sob a cultura.

Com relação ao pH do solo, também obteve variações de 5,47 a 6,06 ao longo do tempo. Isso pode ser explicado pela combinação de fatores como a presença e ausência da cobertura morta e a interação entre as culturas. A presença da cobertura morta nos tratamentos tem impactado o pH do solo com a decomposição do material vegetal, pois durante esse processo de decomposição, são liberados ácidos orgânicos que podem contribuir na redução do pH. Esse processo de decomposição do tipo de material vegetal, estimula inicialmente as atividades de certos organismos para os quais atuam como fonte de elementos nutricionais as plantas (Santos *et al.*, 2016).

A matéria orgânica da cobertura morta é rica em carbono que ajuda na retenção da água no solo, que possibilita a diluição dos sais, formando assim agregados de solo, reduzindo a concentração de sais no solo. Essas variações do pH do solo são de importância para ajustar nas práticas agronômicas, para otimizar no manejo e conservação do solo em diferentes cenários de sistema de produção. Santos *et al.* (2016) reforçam da

relevância do seu uso e da sensibilidade das técnicas de manejo do solo, pois tem sido amplamente empregada como um indicador na qualidade do solo.

Os sais em concentração alta podem alterar as funções fisiológicas e bioquímicas das plantas, levando a planta a realizar o fechamento estomático, além de diminuir a transpiração e da fotossíntese (Taiz *et al.*, 2017).

3.4 Balanço de água no solo

Na Tabela 12, estão os componentes do balanço de água no solo cultivado com palma forrageira exclusivo (P exc), feijão-guandu exclusivo (FG exc) e condição de consórcio palma consorciado com feijão-guandu (P/FG) na ausência e presença da cobertura morta no período de julho a janeiro (2022 a 2023).

Tabela 12. Componentes do balanço de água de um solo cultivado com palma e feijão-guandu em sistemas exclusivos e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Feijão-guandu Sem cobertura (FG SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53,00	-0,85	0,00	-0,02	-2,41	-55,39
2	39	0	70	-15,67	0,00	0,00	-19,97	-69,06
3	40	72	80	-3,28	0,00	-9,58	-61,59	-110,10
4	37	195	40	-88,08	0,00	-50,31	49,28	-224,40
5	31	67	35	-24,27	1,51	-3,83	-12,27	-96,51
6	35	71	35	-3,85	2,90	-3,49	-1,63	-103,19
Soma		410,60	313,00	-136,00	4,41	-67,23	-49,69	-658,65
Feijão-guandu com cobertura (FG CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53	-0,04	0,86	0,00	-6,64	-37,66
2	35	0	70	-0,98	1,48	-0,02	4,56	-61,64
3	42	72	80	-4,35	0,82	0,00	-29,31	-121,64
4	35	195	40	-44,37	0,24	-11,61	39,65	-76,54
5	35	67	35	-26,79	0,00	-11,58	-2,77	-60,25
6	28	70	30	-1,45	0,03	-1,55	30,95	-65,62
Soma		410,60	313,00	-77,98	3,45	-24,76	36,14	-423,35
Palma sem cobertura (P SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53	-1,53	0,00	0,00	-10,91	-39,58
2	35	0	70	-2,41	0,00	-0,02	-14,41	-68,81
3	42	72	80	-0,08	0,00	0,00	13,97	-103,66
4	35	195	40	-37,85	0,00	-11,61	18,98	-81,31
5	35	67	35	-36,20	0,00	-51,58	-14,65	-93,80
6	35	70	30	-1,07	0,00	-1,55	-6,25	-50,48
Soma		410,60	313,00	-79,14	0,00	-64,76	-13,27	-437,64
Palma com cobertura (P CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53	-0,12	0,00	0,00	-12,17	-42,25

2	35	0	70	-1,41	0,00	-0,02	22,44	-60,63
3	42	72	80	-9,52	0,00	0,00	33,40	-92,42
4	35	195	40	-47,14	0,00	-11,61	21,26	-90,95
5	35	67	35	-3,32	0,00	-51,58	-7,56	-89,77
6	35	70	35	-3,84	0,00	-1,55	-26,79	-97,20
Soma		410,60	313,00	-65,34	0,00	-64,76	30,58	-473,22
Feijão-guandu/Palma sem cobertura (FG/P SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53	-1,65	0,00	0,00	-15,14	-43,68
2	35	0	70	-1,34	0,00	-0,02	-16,24	-65,83
3	35	72	80	-53,41	0,00	-11,61	-5,37	-117,78
4	35	195	40	-53,41	0,00	-11,61	-5,37	-217,78
5	35	67	35	-11,65	0,00	-51,58	85,41	-71,53
6	35	70	30	-17,10	0,00	-1,55	-18,61	-45,64
Soma		410,60	313,00	-138,57	0,00	-76,37	24,68	-562,24
Feijão-guandu/Palma com cobertura (FG/P CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	5,60	53	-2,73	0,00	0,00	-11,49	-38,96
2	39	0	70	-11,39	0,00	-0,02	10,07	-61,28
3	40	72	80	-62,46	0,00	0,00	41,23	-66,55
4	37	195	40	-13,95	0,00	-11,61	72,80	-92,59
5	31	67	35	-48,69	0,00	-51,58	11,90	-58,16
6	35	70	30	-29,84	0,00	-1,55	-53,46	-87,87
Soma		410,60	313,00	-169,06	0,00	-64,76	70,64	-405,41

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

No primeiro ciclo do sistema de cultivo totalizou-se 723,60 mm de água via precipitação e irrigação (P + I) em 217 dias de avaliação, onde os períodos que apresentaram maiores volumes de chuva foram 3,4,5 e 6 com 101,25 mm em média e os períodos de menor volume foram 1 e 2, com 5,06 mm no volume total.

Com relação à lâmina de irrigação durante a condução do experimento, obteve-se uma variação de 35 a 80 mm em intervalos de 35 a 42 dias. Observa-se que houve mais perdas acentuadas na drenagem profunda (DP) nos tratamentos sem a cobertura morta (-136 mm), (-79,14 mm), (-138,57 mm), em FG exc, P/FG e P exc, respectivamente. Nota-se que ocorre ascensão capilar (AC) nos tratamentos do feijão-guandu exclusivo. Essas variáveis fazem parte do movimento vertical da água no solo, onde estão relacionados ao regime de água no sistema de cultivo, possibilitando reter a água no solo, sobre as características físicas como por exemplo textura, estrutura e compactação do solo, propriedade hidráulicas e a dinâmica de água do solo (Alves *et al.*, 2023).

Com relação ao escoamento superficial (R), foi observado que nos períodos com maior intensidade da precipitação, ocorreu uma variação entre -1,55 a -51,58 mm. Os

valores positivos de armazenamento ΔA foram encontrados em sistemas na presença da cobertura morta, com destaque no sistema consorciado 70,64 mm (FG/P CC). Essas magnitudes do armazenamento ΔA nos tratamentos consorciados podem estar associados à questão da reorganização do solo, proporcionando uma maior densidade de raízes, que auxilia na melhoria da porosidade do solo, na capacidade de infiltração, na aeração e retenção de água no solo (Vischi Filho *et al.*, 2018).

Valores negativos em armazenamento também foram registrados por Primo *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2015), sendo observada sua ocorrência em períodos de maior irrigação e precipitação.

Quanto a evapotranspiração real (ETr) obteve-se uma variação durante a condução do experimento com valor de (-658,65 mm), no tratamento feijão-guandu exclusivo sem cobertura morta e conseqüentemente com menos água armazenada (-49,69 mm). A menor ETr foi no tratamento feijão-guandu/palma com a cobertura morta (-405,41 mm), com maior armazenamento de 70,64 mm entre os tratamentos. Essas diferenças nos valores de ETr é atribuída ao desenvolvimento das culturas, além da estabilização da área foliar e conseqüentemente a manutenção da demanda de água. Com isso, nestas circunstâncias, os valores de ETr estão diretamente influenciados pela disputa por luz, água, espaço e o solo (Diniz *et al.*, 2017).

Na Tabela 13 estão os componentes do balanço de água do solo (BAS) no segundo ciclo da palma em sistema exclusivo e consorciado com o sorgo na condição sem/com a cobertura morta com a condução experimental em 175 dias com a soma total da P + I sendo de 694,2 mm. Os períodos que apresentaram maiores lâminas de precipitação foram nos períodos 1 e 2 com a média de 86,8 mm. Sobre a lâmina de irrigação teve uma variação de 74,30 a 113,27 mm.

Realizando uma análise dos componentes do BAS, nota-se que durante o ciclo, houve perda de água por drenagem profunda, com destaque nos tratamentos sem a presença da cobertura morta. Somando a ascensão capilar (AC), a soma total foi de 11,94 mm no tratamento palma consorciada com o sorgo, na presença da cobertura morta que apresentou o maior valor. Esses eventos podem estar associados a formação de espaços no solo criados pelo sistema radicular das plantas. Contudo, é possível ao invés de sair, retorne, movendo-se das camadas profundas para superficial, o que resulta na ascensão capilar (LIBARDI, 2010). Adicionalmente, a ocorrência de solo mais seco na superfície, para o tratamento sem cobertura morta, reduz o potencial matricial, contribuindo para a ocorrência de gradientes de potencial total descendentes.

Observa-se que o escoamento superficial (R) foi igual para todos os tratamentos, apresentando valores maiores em eventos onde a precipitação foi maior. Com relação ao armazenamento, os tratamentos apresentaram os mesmos valores, exibindo armazenamentos positivos em três períodos em cada tratamento.

Os sistemas com a presença da cobertura morta, foram os que apresentaram as maiores magnitudes de ETr, com destaque para a palma exclusiva e palma consorciada que apresentaram valores de (-411,03 e -428,48 mm) durante o ciclo. Observa-se que os consórcios apresentaram menores magnitudes de ETr comparadas com os exclusivos, diferentemente do estudo de Alves *et al.* (2020), que apresentaram valores de necessidade hídrica em tratamentos consorciados. A explicação para isso, é que o solo mantinha água disponível, favorecendo a realização da fotossíntese, maior perda de água durante o processo de transpiração, além de reduzir a evaporação de água no solo por conta do aumento do sombreamento das plantas (Machado *et al.*, 2015). Um detalhe importante é que as variáveis das demandas hídricas podem estar relacionadas à fase fenológica das plantas, pois à medida de que vão crescendo, aumenta a demanda hídrica até atingir a maturidade no final do ciclo, que pois tende a diminuir a demanda (Carvalho *et al.*, 2020).

Tabela 13. Componentes do balanço de água de um solo cultivado com sorgo e palma em sistema exclusivo e consorciado sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Sorgo sem cobertura (S SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,33	1,91	-3,86	22,43	-116,35
2	35	91,60	133,27	-0,39	0,42	-8,59	-28,03	-172,26
3	35	26,80	74,30	-0,03	0,44	-0,59	2,35	-71,78
4	35	8,60	88,60	-16,14	0,07	-0,05	16,30	-85,94
5	35	0,60	73,93	-20,84	0,00	0,00	-15,86	-70,65
Soma		209,6	484,6	-37,73	2,84	-13,09	-2,81	-516,98
Sorgo com cobertura (S CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,14	0,54	-3,86	8,76	-114,44
2	35	91,60	133,27	-0,08	1,19	-8,59	-17,30	-132,97
3	35	26,80	74,30	-0,01	0,40	-0,59	-11,93	-76,81
4	35	8,60	88,60	-0,68	0,15	-0,05	31,23	-72,28
5	35	0,60	73,93	-0,50	2,17	0,00	-24,20	-45,30
Soma		209,6	484,6	-1,41	4,45	-13,09	-13,44	-441,80
Palma sem cobertura (P SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,08	0,51	-3,86	36,68	-112,67
2	35	91,60	133,27	-0,09	0,31	-8,59	-15,62	-137,33
3	35	26,80	74,30	-0,09	0,40	-0,59	2,08	-74,48
4	35	8,60	88,60	-2,62	0,27	-0,05	4,25	-107,08

5	35	0,60	73,93	-3,05	0,53	0,00	-25,74	-71,21
Soma		209,6	484,6	-5,93	2,02	-13,09	1,65	-502,77
Palma com cobertura (P CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,98	0,36	-3,86	29,16	-92,03
2	35	91,60	133,27	-2,35	0,24	-8,59	-11,09	-131,36
3	35	26,80	74,30	-2,07	0,32	-0,59	5,79	-71,99
4	35	8,60	88,60	-8,48	0,16	-0,05	8,17	-82,54
5	35	0,60	73,93	-9,34	0,83	0,00	-27,62	-63,11
Soma		209,6	484,6	-23,22	1,91	-13,09	4,41	-411,03
Sorgo/Palma sem cobertura (S/P SC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,43	0,91	-3,86	27,75	-86,18
2	35	91,60	133,27	-0,51	0,36	-8,59	-9,24	-130,62
3	35	26,80	74,30	-0,45	0,27	-0,59	5,40	-73,83
4	35	8,60	88,60	-9,55	0,11	-0,05	20,12	-83,46
5	35	0,60	73,93	-23,53	0,00	0,00	-27,43	-70,29
Soma		209,6	484,6	-34,47	1,65	-13,09	16,6	-444,38
Sorgo/Palma com cobertura (S/P CC)								
Período	Dias	P (mm)	I (mm)	DP (mm)	AC (mm)	R (mm)	ΔA (mm)	ETr (mm)
1	35	82,00	114,50	-0,30	4,80	-3,86	24,03	-96,56
2	35	91,60	133,27	-0,44	2,20	-8,59	-29,79	-111,91
3	35	26,80	74,30	-0,01	2,19	-0,59	4,10	-66,09
4	35	8,60	88,60	-5,04	1,56	-0,05	16,36	-83,52
5	35	0,60	73,93	-7,28	1,19	0,00	-8,13	-70,40
Soma		209,6	484,6	-13,07	11,94	-13,09	6,57	-428,48

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

3.5 Índices hídricos

Com relação aos índices hídricos, todos os sistemas de cultivos apresentaram eficiência na utilização da água, com destaque aos sistemas com a presença da cobertura morta, onde o tratamento feijão-guandu exclusivo com a cobertura morta (FG CC) se mostrou mais eficiente com índices *WUEc, WPc e WPi, apresentando médias de 13,10, 13,72 e 32,29 kg m³ (Tabela 14). Segundo Silva, (2023), apesar das restrições de irrigação, a eficiência hídrica no sistema de cultivo palma-sorgo pode atingir níveis notáveis.

O mesmo comportamento foi observado no segundo ciclo da palma consorciado com o sorgo, com destaque ao sistema sorgo exclusivo com a cobertura morta (S CC). De modo geral, a taxa de crescimento mais altas resultam na maior biomassa, aumento na produtividade e na eficiência do uso da água (Bu *et al.*, 2013).

Tabela 14. Eficiência do uso da água das culturas palma forrageira, feijão guandu e sorgo em dois ciclos de cultivo sem/com a cobertura morta, em Serra Talhada-PE.

Sistema de cultivo	WUE	*WUEc	WPc	WPI
FG CC	1,11	13,10	13,72	32,29
FG SC	1,21	8,16	9,88	23,00
P CC	0,99	1,01	1,02	2,37
P SC	0,99	0,93	0,89	2,08
FG/P CC	1,00	9,69	9,05	21,07
FG/P SC	0,97	4,66	4,35	10,14
Sistema de cultivo	WUE	*WUEc	WPc	WPI
S CC	1,16	15,88	18,07	44,66
S SC	1,05	15,52	16,22	34,22
P CC	1,03	2,52	2,59	7,57
P SC	1,03	3,22	3,30	9,70
S/P CC	1,11	2,64	2,87	11,80
S/P SC	0,98	5,31	5,12	22,48

WUE – eficiência no uso da água da cultura; *WUEc – eficiência no uso da água da cultura; WPc – produtividade da água da cultura; WPI -produtividade da água de irrigação.

Observa-se que houve um incremento nos índices hídricos da primeira fase do experimento para a segunda fase. A explicação para isso, é que na segunda fase houve maior eficiência com a redução da quantidade de água utilizada (P +I), além do que a palma e o sorgo são duas plantas conhecidas por serem resistentes ao estresse hídrico, reagindo de maneira positiva ao manejo de irrigação limitado (Alves *et al.*, 2022; Araújo Júnior *et al.*, 2021; Guimarães *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).

Nesta pesquisa, constatamos que a implementação do consórcio com destaque palma-sorgo, proporcionou vantagens com maior eficiência no uso da água. Este estudo corrobora com pesquisa de Silva (2023), que avaliou as mesmas culturas consorciadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cobertura morta no sistema consorciado aumentou a taxa de transpiração na cultura do feijão-guandu quando comparado com o sistema exclusivo. Esse aumento é atribuído à retenção de umidade do solo pela cobertura morta, que impediu a perda de água por evaporação, criando um microclima pelo sombreamento parcial, reduzindo a temperatura do solo, e aumentando a disponibilidade de água para a transpiração das plantas.

A fotossíntese e condutância estomática foram significativas na cultura do feijão-guandu, indicando que a planta possui mecanismos adaptados ao sistema de cultivo. A presença da cobertura morta aumentou a eficiência fotossintética e a abertura estomática em comparação com o sistema sem a presença da cobertura morta.

A cobertura morta reduziu a salinidade do solo, resultando em melhores taxas de fotossíntese. A salinidade elevada nos sistemas sem cobertura causou estresse osmótico, reduzindo a capacidade das raízes em absorver água e nutrientes, impactando negativamente na fotossíntese.

A eficiência do uso da água mostrou efeitos significativos nos fatores analisados, com interações indicando que sua combinação afeta a EUA. A pesquisa destacou que os tratamentos com a cobertura morta, aumentaram a eficiência do uso da água devido à alta taxa fotossintética, resultando em uma maior biomassa por unidade de água transpirada.

A presença da cobertura resultou em valores superiores de CO_2 e EiC na cultura do feijão-guandu, comparados sem cobertura. A combinação de alta concentração interna de CO_2 e aumento na condutância estomática sugere um incremento na EiC , em razão da maior disponibilidade de ATP e NADPH.

A fotossíntese variou nos sistemas exclusivos e consorciados na presença e ausência da cobertura morta. Na cultura do sorgo em monocultivo, a ausência da cobertura morta aumentou a fotossíntese, enquanto no sistema consorciado com a palma, a cobertura morta teve esse efeito. Na cultura da palma, a cobertura melhorou a fotossíntese em ambos os sistemas. Baixa fotossíntese foi associada ao fechamento estomático por estresse osmótico e toxidez iônica. A disponibilidade hídrica é crucial, pois a falta de água reduz a condutância estomática e a transpiração.

A cobertura morta e técnicas de cultivos foram eficazes para reduzir a salinidade do solo e conservar a umidade, promovendo um ambiente mais equilibrado para o desenvolvimento das plantas no semiárido.

A combinação do consórcio entre a palma e o feijão-guandu na presença da cobertura morta resultou um equilíbrio mais consistente do pH do solo, apresentando valores mais estáveis nas profundidades 0 a 10 cm e 10 a 20 cm. Os tratamentos mostraram efeitos significativos na CE e no pH do solo com a cobertura morta, reduzindo a concentração de sais. A serrapilheira e as raízes do feijão-guandu foram fundamentais para regular a temperatura e conservação da água. Os resíduos vegetais melhoraram a fertilidade do solo, reduzindo a erosão e aumentando a retenção de água, criando condições ideais para o crescimento das plantas.

No final do experimento, houve uma diminuição da CE do solo. A decomposição da matéria orgânica contribuiu na redução dos efeitos prejudiciais dos sais.

Houve perdas acentuadas de drenagem profunda (DP) nos tratamentos sem a presença da cobertura morta. A presença da cobertura morta nos sistemas consorciados resultou em maiores valores positivos de armazenamento de água, associados à reorganização do solo e melhoria da porosidade.

A ETr e armazenamento de água sem a cobertura morta apresentaram os menores valores. O tratamento palma consorciada e na presença da cobertura morta apresentou o maior armazenamento de água. Isso deve à manutenção da disponibilidade de água no solo, favorecendo a fotossíntese, a transpiração e reduzindo a evaporação de água.

Os sistemas de cultivo com a presença da cobertura morta demonstraram eficiência na utilização da água conforme os índices WUEc, WPc e WPi. O aumento nos índices hídricos da primeira para a segunda fase da pesquisa, resultaram na maior eficiência na redução da quantidade de água fornecida. A implementação do consórcio, com destaque palma-sorgo, demonstrou vantagens na eficiência do uso da água.

Conclui-se que são necessários mais estudos dedicados ao cultivo conjunto da palma consorciadas com outras forrageiras, visando otimizar a produção de forragem na região semiárida. Além disso, é crucial explorar o uso da cobertura morta para alcançar resultados mais favoráveis. É fundamental direcionar pesquisas para investigar as trocas gasosas nas culturas da palma, feijão-guandu e o sorgo, bem como para avaliar os índices hídricos e o efeito dos sistemas de cultivo no solo, visando desenvolver práticas mais sustentáveis e produtivas para a região semiárida.

5. REFERÊNCIAS

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., De Moraes Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

- Alves, C. P., Silva, T. G. F., Alves, H. K. M. N., Jardim, A. M. da R. F., Souza, L. S. B. de, Cruz Neto, J. F. da, & Santos, J. P. A. de S. (2020). Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, 27(2). <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26448>
- Alves, F. A. L., Santos, D. C. dos, Silva, S. M. S. e, & Oliveira, M. A. B. (2020). Photosynthesis and gas exchanges of forage cactus varieties (*Opuntia* and *Nopalea*) grown under screen and irrigation. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 25(1). <https://doi.org/10.12661/pap.2020.004>
- Alves, F. A. L., Santos, D. C. dos, Silva, S. M. S. e, Silva, M. da C., & Mello, D. R. de. (2020). Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 25(2). <https://doi.org/10.12661/pap.2020.009>
- Alves, H. K. M. N., Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, A., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, C. P., Araújo, G. G. L. de, Steidle Neto, A. J., Salvador, K. R. da S., Pinheiro, A. G., & Silva, T. G. F. da. (2022). Integrated management of agronomic practices in the forage cactus: maximising productivity, biological efficiency and economic profitability. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 24, 307–329. <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.514>
- Alves, H. K. M. N., Silva, T. G. F. da, Jardim, A. M. da R. F., de Souza, L. S. B., Araújo Júnior, G. do N., de Souza, C. A. A., de Moura, M. S. B., de Araújo, G. G. L., Campos, F. S., & da Cruz Neto, J. F. (2023). The use of mulch in cultivating the forage cactus optimizes yield in less time and increases the water use efficiency of the crop. *Irrigation and Drainage*, 72(1), 75–89. <https://doi.org/10.1002/ird.2758>
- Andrade, J. R. de, Maia Júnior, S. de O., Silva, R. F. B. da, Barbosa, J. W. da S., Nascimento, R. do, & Alencar, A. E. V. de. (2018). TROCAS GASOSAS EM GENÓTIPOS DE FEIJÃO-CAUPI IRRIGADOS COM ÁGUA SALINA. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12(3), 2653–2660. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V12N300829>
- Araújo, B. de A., Moreira, F. J. C., & Guedes, F. L. (2019). Emergência e crescimento inicial de feijão guandu em função dos substratos e salinidade da água de irrigação. *Revista Agraria Academica*, 2(4), 90–101. <https://doi.org/10.32406/v2n42019/90-101/agrariacad>
- Araújo Júnior, G. do N., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, Souza, M. de S., Araújo, G. G. L. de, Moura, M. S. B. de, Santos, J. P. A. de S., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., & Alves, H. K. M. N. (2021). Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. *Bragantia*, 80. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>
- AYERS, R. S. ;, & WESTCOT, D. W. (1999). A qualidade de água na agricultura (F. UFPB, Ed.; 2nd ed.).
- Bu, L., Liu, J., Zhu, L., Luo, S., Chen, X., Li, S., Lee Hill, R., & Zhao, Y. (2013). The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 123, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.015>
- Buch, D. U., Sharma, O. A., Pable, A. A., & Barvkar, V. T. (2020). Characterization of microRNA genes from Pigeonpea (*Cajanus cajan* L.) and understanding their involvement in drought stress. *Journal of Biotechnology*, 321, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.06.019>

- Cardoso, D. B., Carvalho, F. F. R. de, Medeiros, G. R. de, Guim, A., Cabral, A. M. D., Vêras, R. M. L., Santos, K. C. dos, Dantas, L. C. N., & Nascimento, A. G. de O. (2019). Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 247, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>
- Carvalho, I. C. B. de, Brito, A. dos S., Nascimento, D. de A., Peixoto, L. S., & Faria, H. H. N. (2020). EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DE MAMONEIRAS NAS CONDIÇÕES AGROECOLÓGICAS DO SEMIÁRIDO/WATER USE EFFICIENCY OF CASTOR BEAN VARIETY IN AGROECOLOGICAL SEMIARID CONDITIONS. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 73354–73373. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-698>
- Carvalho-Neto, F. G. de, Silva, J. R. da, Santos, N., Rohde, C., Garcia, A. C. L., & Montes, M. A. (2017). The heterogeneity of Caatinga biome: an overview of the bat fauna. *Mammalia*, 81(3), 257–264. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2015-0046>
- Diniz, W. J. da S., da Silva, T. G. F., Ferreira, J. M. da S., dos Santos, D. C., de Moura, M. S. B., de Araújo, G. G. L., & Zolnier, S. (2017). Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), 724–733. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>
- Dominschek, R., Barroso, A. A. M., Lang, C. R., de Moraes, A., Sulc, R. M., & Schuster, M. Z. (2021). Crop rotations with temporary grassland shifts weed patterns and allows herbicide-free management without crop yield loss. *Journal of Cleaner Production*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127140>
- EMBRAPA. (2017). Manual de métodos de análise de solo (Vol. 3). <https://www.embrapa.br>
- Felix, E. dos S., Araújo, J. S., Lima, W. B. de, Lira, E. C. de, Oliveira Filho, T. J. de, & Souza, J. T. A. (2022). DESEMPENHO DE VARIEDADES DE PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDAS A DIFERENTES NÍVEIS DE SALINIDADE. *IRRIGA*, 27(4), 729–741. <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n4p729-741>
- Fernández, J. E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., & Cuevas, M. V. (2020). Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. *Agricultural Water Management*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106074>
- Gabriel, L. F., Streck, N. A., Uhlmann, L. O., Silva, M. R. da, & Silva, S. D. da. (2014). Mudança climática e seus efeitos na cultura da mandioca. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(1), 90–98. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100012>
- Guimarães, M. J. M., Simões, W. L., Salviano, A. M., Oliveira, A. R. de, Silva, J. S. da, Barros, J. R. A., & Willadino, L. (2022). Management for grain sorghum cultivation under saline water irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 26(11), 755–762. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n11p755-762>
- Jaimez, R. E., Rada, F., García-Núñez, C., & Azócar, A. (2005). Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Hartón (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, 104(1), 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.07.002>
- Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, Souza, L. S. B. de, & Souza, M. de S. (2020). Interação de agroecossistema consorciado com palma-sorgo em ambiente semiárido:

uma revisão. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5(1), 069–087.
<https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>

- Kader, M. A., Senge, M., Mojid, M. A., & Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research*, 168, 155–166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.001>
- Konrad, M. L. F., Silva, J. A. B. da, Furlani, P. R., & Machado, E. C. (2005). Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, 64(3), 339–347. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052005000300004>
- LARCHER, W. (2006). *Ecofisiologia vegetal (RiMa)*.
- Lessa, C. I. N., Oliveira, Á. C. N. de, Magalhães, C. L., Sousa, J. T. M. de, & Sousa, G. G. de. (2020). ESTRESSE SALINO, COBERTURA MORTA E TURNO DE REGA NA CULTURA DO SORGO. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 13(5), 3637–3645. <https://doi.org/10.7127/RBAI.V13N5001122>
- Li, M., Guo, J., Ren, T., Luo, G., Shen, Q., Lu, J., Guo, S., & Ling, N. (2021). Crop rotation history constrains soil biodiversity and multifunctionality relationships. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107550>
- Li, Y., Hu, A., Wang, X., & Zheng, J. (2019). Physicochemical and in vitro digestion of millet starch: Effect of moisture content in microwave. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.046>
- LIBARDI, P. L. (2010). *Água no solo. Física do solo (Vol. 61)*.
- Liu, M., Wang, Z., Mu, L., Xu, R., & Yang, H. (2021). Effect of regulated deficit irrigation on alfalfa performance under two irrigation systems in the inland arid area of midwestern China. *Agricultural Water Management*, 248, 106764. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106764>
- Machado, C., Lima, J., Antonino, A., Alves, E., SOUZA, E., Ribeiro, A., & Firmino, F. (2015). Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(3), 731–740. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- MURGA-ORRILLO, H., FARIAS ARAUJO, W., ABANTO RODRIGUEZ, C., BARDALES LOZANO, R. M., TADASHI SAKAZAKI, R., & POLO VARGAS, A. R. (2018). INFLUÊNCIA DA COBERTURA MORTA NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO, COEFICIENTE DE CULTIVO E EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA DO MILHO CULTIVADO EM CERRADO. *IRRIGA*, 21(2), 352. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p352-364>
- Neves, A. L. R., Lacerda, C. F., Guimarães, F. V. A., Hernandez, F. F. F., Silva, F. B., Prisco, J. T., & Gheyi, H. R. (2009). Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, 39(3), 758–765. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000014>
- Oliveira, W. J., Souza, E. R., Cunha, J. C., Silva, Ê. F. F., & Veloso, V. L. (2017). Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. *Revista*

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21(1), 32–37.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37>

- Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 241, 106357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- Pereira, P. D. C., Silva, T. G. F. DA, Zolnier, S., Morais, J. E. F. DE, & Santos, D. C. DOS. (2015). Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, 28(3), 184–195. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- Prazeres, S. S., Lacerda, C. F., Barbosa, F. E. L., Amorim, A. V., Araujo, I. C. S., & Cavalcante, L. F. (2015). Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Revista Agro@ambiente On-Line*, 9, 111–118.
- Primo, J. T. de A., Silva, T. G. F. da, Silva, S. M. S. e, Moura, M. S. B. de, & Souza, L. S. B. de. (2015). Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. *Revista Ceres*, 62(1), 20–29. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>
- Qin, X., Huang, T., Lu, C., Dang, P., Zhang, M., Guan, X. kang, Wen, P. fei, Wang, T. C., Chen, Y., & Siddique, K. H. M. (2021). Benefits and limitations of straw mulching and incorporation on maize yield, water use efficiency, and nitrogen use efficiency. *Agricultural Water Management*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107128>
- Quintanilla-Tornel, M. A., Wang, K. H., Tavares, J., & Hooks, C. R. R. (2016). Effects of mulching on above and below ground pests and beneficials in a green onion agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 224, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.023>
- Rodrigues, H. J. B., Ribeiro, J. B. M., Filho, J. D. S., & Santos, S. R. Q. (2011). Variabilidade sazonal da condutância estomática em um ecossistema de manguezal amazônico e suas relações com variáveis meteorológicas. (XVI).
- Sá, M. K. N. de, Andrade, A. P. de, Magalhães, A. L. R., Valença, R. de L., Campos, F. S., Araújo, F. dos S., & Araújo, G. G. L. de. (2021). Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. *Research, Society and Development*, 10(2), e27210212473. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., Araújo Júnior, G. do N., Silva, M. J. da, Souza, L. F. de, Queiroz, M. A. Á., Campos, F. S., Gois, G. C., França, J. G. E. de, Nunes Filho, J., Steidle Neto, A. J., Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2024). Intercropping impacts growth in the forage cactus, but complementarity affords greater productivity, competitive ability, biological efficiency and economic return. *Agricultural Systems*, 218, 103958. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103958>
- Salvador, K. R. da S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. D. N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Pereira, R. C. G., de Souza, L. S. B., & da Silva, T. G. F. (2021). Intensification of forage cactus production systems by rotating intercropping with grasses, legumes, and oilseeds: A review. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(4), 2369–2390. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p2322-2343>
- Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. Á. de, Lumbrebas, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Filho, J. C. de A., Oliveira, J. B. de, & Cunha, T. J.

- F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. In 5 (Ed.), Embrapa Solos (5th ed.). EMBRAPA.
- Santos, S. D. dos, De Sales Silva, J. C., De Lima, P. Q., Neto, G. G., Carneiro, M. D. C., & Santos da Paz, S. M. (2016). ADUBAÇÃO E USO DE COBERTURA MORTA EM SORGO FORRAGEIRO. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 6(3). <https://doi.org/10.21206/rbas.v6i3.362>
- Sentek. (2001). *Calibration*. Water, 60.
- Silva, E. N. da, Ribeiro, R. V., Ferreira-Silva, S. L., Viégas, R. A., & Silveira, J. A. G. (2011). Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. *Scientia Agricola*, 68(1), 62–68. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000100010>
- Silva, G. I. N. da, Jardim, A. M. da R. F., Alves, H. K. M. N., Souza, M. de S., Souza, C. A. A. de, Araújo Júnior, G. do N., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Salvador, K. R. da S., Leite, R. M. C., Costa, S. A. T. da, Silva, M. J. da, & Silva, T. G. F. da. (2020). Cultivo de plantas forrageiras de apelo regional para o Semiárido brasileiro sob a perspectiva de técnicas agrometeorológicas para melhoria da resiliência: uma revisão. *Research, Society and Development*, 9(10), e1449108291. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8291>
- Silva, J. O. N. da, Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Santos, J. P. A. de S., Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2021a). Cultivo de genótipos de palma forrageira sob agricultura bioessalina como alternativa para incremento do aporte forrageiro do semiárido brasileiro: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 10(5), e16510514773. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14773>
- Silva, J. O. N. da, Araújo Júnior, G. do N., Jardim, A. M. da R. F., Alves, C. P., Pinheiro, A. G., Santos, J. P. A. de S., Souza, L. S. B. de, & Silva, T. G. F. da. (2021b). Cultivo de genótipos de palma forrageira sob agricultura bioessalina como alternativa para incremento do aporte forrageiro do semiárido brasileiro: Uma revisão. *Research, Society and Development*, 10(5), e16510514773. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14773>
- Silva, T. G. F. da. (2023). Otimização dos recursos hídricos de sistemas de produção agropecuários pela intervenção de práticas de manejo em plantios de cacto forrageiro sob irrigação deficitária : Práticas de manejo em plantios de cacto forrageiro sob irrigação deficitária [Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Recursos Hídricos)]. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano.
- Silva, T. G. F. da, Jardim, A. M. da R. F., Diniz, W. J. da S., Souza, L. S. B. de, Araújo Júnior, G. do N., Silva, G. Í. N. da, Alves, C. P., Souza, C. A. A. de, & Morais, J. E. F. de. (2023). Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 27(2), 132–139. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p132-139>
- Silva, T. G. F. DA, Primo, J. T. A., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., & Silva, M. C. (2015). Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, 28, 1–10.
- Silva, T. G. F. da, Primo, J. T. A., Moura, M. S. B. de, Silva, S. M. S. e, Morais, J. E. F. de, Pereira, P. de C., & Souza, C. A. A. de. (2015). Soil water dynamics and

evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 50(7), 515–525. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>

- SILVA, P. C. G., MOURA, M. S. B., KIILL, L. H. P., BRITO, L. T. D. L., PEREIRA, L. A., SA, I. B., CORREIA, R. C., TEIXEIRA, A. H. D. C., CUNHA, T. J. F. ;, & GUIMARÃES FILHO, C. (2010). Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. (EMBRAPA Semiárido, Vol. 1). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.
- SILVEIRA, J. A. G., SILVA, S. L. F., SILVA, E. N., & VIÉGAS, R. A. (2010). Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In H. R. GHEYI, N. S. DIAS, & C. F. LACERDA (Eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados* (1st ed., pp. 161–181). INCTSal.
- Sousa, C. H. C. (2007). Análise da tolerância à salinidade em plantas de sorgo, feijão-de-corda e algodão. [Dissertação]. Universidade Federal do Ceará.
- Souza, M. de S., Araújo Júnior, G. do N., de Souza, L. S. B., Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim, A., da Silva, G. I. N., de Araújo, G. G. L., Campos, F. S., Leite, M. L. de M. V., Tabosa, J. N., & Silva, T. G. F. da. (2023). Forage yield, competition and economic benefit of intercropping cactus and millet with mulch in a semi-arid environment. *African Journal of Range and Forage Science*, 40(2), 219–230. <https://doi.org/10.2989/10220119.2021.2016967>
- STEINBERG, S. L., MILLER, J. C., & MCFARLAND, M. J. (1990). Dry matter partitioning and vegetative growth of young peach trees under water stress. *Aust. J. Plant Physiol.*, 17, 23–36.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2017). *Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6a Edição* (Artmed, Vol. 6).
- Tuure, J., Räsänen, M., Hautala, M., Pellikka, P., Mäkelä, P. S. A., & Alakukku, L. (2021). Plant residue mulch increases measured and modelled soil moisture content in the effective root zone of maize in semi-arid Kenya. *Soil and Tillage Research*, 209, 104945. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104945>
- Vischi Filho, O. J., Souza, Z. M. de, Souza, G. S. de, Sousa, A. C. M. de, & Silva, R. B. da. (2018). INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO EM ÁREA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM DIFERENTES CICLOS DE COLHEITA MECANIZADA. *IRRIGA*, 1(1), 96. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p96-108>
- Wanderley, L. S. de A., Nóbrega, R. S., Menezes, R. S. C. de, Santos, C. L. dos, & Lucena, J. A. de. (2017). Climatologia aplicada ao planejamento de cultivo da palma forrageira em bacia hidrográfica no semiárido do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(3), 955–969.
- Yin, W., Chen, G., Feng, F., Guo, Y., Hu, F., Chen, G., Zhao, C., Yu, A., & Chai, Q. (2017). Straw retention combined with plastic mulching improves compensation of intercropped maize in arid environment. *Field Crops Research*, 204, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.01.005>
- Zhang, S., Sadras, V., Chen, X., & Zhang, F. (2014). Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. *Field Crops Research*, 163, 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.003>

- Zhang, S.-B., Hu, H., Xu, K., Li, Z.-R., & Yang, Y.-P. (2007). Flexible and reversible responses to different irradiance levels during photosynthetic acclimation of *Cyrtopodium guttatum*. *Journal of Plant Physiology*, 164(5), 611–620.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2006.02.012>
- Zhang, Y., Qiao, L., Chen, C., Tian, L., & Zheng, X. (2021). Effects of organic ground covers on soil moisture content of urban green spaces in semi-humid areas of China. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 251–259.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.08.001>
- Zhang, Y., Yin, J., Guo, Z., Li, J., & Wang, R. (2022). Simulation of soil water balance and crop productivity of long-term continuous maize cropping under high planting density in rainfed agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 108740.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108740>
- Zhao, X., Liu, S., Pu, C., Zhang, X., Xue, J., Zhang, R., Wang, Y., Lal, R., Zhang, H., & Chen, F. (2016). Methane and nitrous oxide emissions under no-till farming in China: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 22(4), 1372–1384.
<https://doi.org/10.1111/gcb.13185>