

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

DANIEL BEZERRA DO NASCIMENTO

**CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS:
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, QUALITATIVAS E PRODUTIVAS**

**RECIFE
2025**

DANIEL BEZERRA DO NASCIMENTO

**CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS:
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, QUALITATIVAS E PRODUTIVAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Zootecnia

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mércia Virginia Ferreira dos Santos

Coorientadores:

Prof. Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha

**RECIFE
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Lorena Teles – CRB-4 1774

N244c Nascimento, Daniel Bezerra do.
Cultivo de palma forrageira em consórcio com leguminosas: características morfológicas, qualitativas e produtivas / Daniel Bezerra do Nascimento. – Recife, 2025.
220 f.; il.

Orientador(a): Mércia Virginia Ferreira dos Santos.
Co-orientador(a): Alexandre Carneiro Leão de Mello.
Co-orientador(a): Márcio Vieira da Cunha.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife, BR-PE, 2025.

Inclui referências e anexo(s).

1. *Clitoria ternatea*. 2. *Desmanthus pernambucanus*. 3. Palma cv Miúda. 4. Orelha de Elefante Mexicana 5. Sistemas consorciados. I. Santos, Mércia Virginia Ferreira dos, orient. II. Mello, Alexandre Carneiro Leão de, coorient. III. Cunha, Márcio Vieira da, coorient. IV. Título

CDD 636

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CULTIVO DE PALMA FORRAGEIRA EM CONSÓRCIO COM LEGUMINOSAS:
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS, QUALITATIVAS E PRODUTIVAS.**

Tese elaborada por

DANIEL BEZERRA DO NASCIMENTO

Aprovada em

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Mércia Virginia Ferreira dos Santos
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia
(Orientadora)

Prof. Dr. Alberício Pereira de Andrade
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE

Dr. Igor Lima Bretas
North Florida Research and Education Center

Prof. Dr. José Neuman Miranda Neiva
Universidade Federal do Norte de Tocantis – UFNT

Prof. Dr. Valdson José da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE
Departamento de Zootecnia

A Deus por tudo.

*Aos meus pais, José Francisco do Nascimento Filho e Maria Alves Bezerra do Nascimento,
por todo amor e por seus esforços para que esse sonho se tornasse realidade.*

A minha noiva, Tuany Nathan Epaminondas de Amaral, por ser essa mulher incrível.

Aos meus irmãos, Rafael Bezerra e José Thiago, por nossa irmandade.

Aos meus sobrinhos, Nicolas, Heitor, Joaquim e Arthur, por todo amor.

E a todos os meus familiares, professores e amigos que sempre me ajudaram.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por sua presença constante em todos os momentos da minha vida, sempre me proporcionando forças para lutar cada dia mais. Obrigado Pai pelo pão de cada dia e por me conceder uma família e amigos extraordinários.

Aos meus pais, José Francisco do Nascimento Filho e Maria Alves Bezerra do Nascimento, por todo apoio em todas as circunstâncias e pelos esforços recebidos para nunca faltar nada em nossas vidas, principalmente amor, atenção e companheirismo.

A minha noiva Tuany Nathan Epaminondas de Amaral por ser essa mulher incrível que sempre está disposta a me ajudar. Obrigado por todo apoio durante o mestrado e o doutorado, pelas idas à universidade, independente do horário, para as avaliações de produção de gases, as quais não foram poucas, sempre estava ali comigo, bem como nas outras avaliações e análises. Obrigado por me escutar e incentivar a crescer cada dia mais. Amo-te! Obrigado também por toda atenção comigo, com nossa família e com nossos amigos.

Aos meus irmãos - Rafael Bezerra e José Thiago - e às minhas cunhadas, Rafaela Arruda e Amanda Silva, por toda ajuda e incentivo, bem como por terem proporcionado grandes bênçãos na minha vida que são os meus sobrinhos. Quando estava cansado e, muitas vezes, “sozinho” nas capinas do experimento lembrava dos rostos deles e isso me provia forças para continuar a árdua labuta das capinas. Ao meu irmão Rafael sou muito grato, por todo cuidado com nossos pais durante esses anos que estive ausente fisicamente. Amo vocês!

Aos meus sobrinhos - Nicolas, Heitor e Joaquim - e ao meu afilhado Arthur, por todo amor. Vocês me motivam a crescer cada dia mais.

À minha família por toda torcida e ajuda, em especial minhas avós Marias (*in memorian*). Ao escrever esse agradecimento passou um filme de tudo que vocês fizeram por nossa família. Muito obrigado por tanta dedicação e amor. Agradeço também às minhas tias - Branca e Lene - e à minha madrinha Patrícia por todo incentivo.

À minha madrinha e segunda mãe Samoa e ao seu esposo Romildo Soares por toda ajuda e acolhimento em Garanhuns. Sou muito grato a Deus por ter colocado vocês em minha vida. Vocês foram fundamentais durante a graduação, o mestrado e o doutorado.

À Vera, a qual também considero como uma mãe, por todo acolhimento em Recife, sempre me recebendo com tanto amor e carinho. Muito obrigado!

À família de minha noiva, em especial, a D. Maria (*in memorian*) por ter me acolhido tão bem e me proporcionado outra família. Agradeço também à minha sogra Aureni (D. Branca), à D. Rejane e ao Sr. Mário por todo acolhimento vivenciado, e aos meninos Matheus e Thiago.

À minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Mércia Virginia Ferreira dos Santos, a qual tenho um orgulho imenso de dizer que fui seu orientado. Obrigado por toda orientação, ensinamentos, conselhos, por sempre me escutar quando precisei, por toda compreensão, a qual foi fundamental para realização desse trabalho. Parabéns pela excelente profissional, sempre espelhando seus alunos e lutando pela Zootecnia.

Ao Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães, por ser um orientador incrível, exemplo de profissional e ser humano. Obrigado pelas orientações durante a graduação (PIBIC), o mestrado e o doutorado. Sou muito grato pelos conselhos e pela palavra amiga durante toda minha formação. Muitas vezes quando estava desanimado, o Senhor Deus, colocava-o em meu caminho para me aconselhar e direcionar os pensamentos. Suas palavras foram muito incentivadoras e preciosas em todos os momentos. Sempre vou levar comigo o que me dizia: “Se os outros conseguem, você também consegue, descanse e persista”.

Aos meus coorientadores Dr. Alexandre Carneiro Leão de Mello e Dr. Márcio Vieira da Cunha por toda orientação e não abdicarem esforços quando precisei de ajuda. As orientações de vocês foram fundamentais para realização desse trabalho. Ao professor Dr. Valdson Silva pela amizade e valiosas contribuições nas aulas de Seminário e na banca de qualificação.

Ao meu orientador da Iniciação Científica (PIBIC), professor Dr. Alberício Pereira de Andrade, pela orientação e ensinamentos durante a graduação, certamente, seus conselhos me deram forças para prosseguir na carreira acadêmica.

Ao professor Dr. Elton Roger Alves de Oliveira, meu orientador de monitoria na graduação. Obrigado pela orientação, conselhos, amizade e por toda ajuda durante minha formação.

À minha amiga Prof^ª. Dr^ª. Ana Lúcia Teodoro por ter plantado em mim a semente de pesquisador. Obrigado, Ana, por toda ajuda, ensinamentos e correções, você foi uma peça fundamental para a minha formação.

À minha amiga Prof^ª. Dr^ª. Rayanne Thalita de Almeida Souza por sua amizade, sua ajuda - nas análises laboratoriais durante minha formação - e parceria. Obrigado, Ray! você é luz nos caminhos das pessoas.

À Prof^ª. Dr^ª. Geane Dias Gonçalves por ter me apresentado a FORRAGICULTURA. Obrigado por todo ensinamento transmitido e toda ajuda no doutorado. Amo sua amizade, sempre me proporcionando boas gargalhadas.

À minha amiga Prof^ª. Dr^ª. Dulciene Karla de Andrade Silva por toda força, palavra amiga e ajuda sempre que precisei.

Aos professores doutores e amigos Jorge Eduardo Cavalcante Lucena, Glessner Porto Barreto, Safira Valença Bispo e João Thiago Correia Oliveira pela amizade e ajuda durante minha formação.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela disponibilidade do curso e dos recursos que aperfeiçoaram minha caminhada profissional.

À Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), atual Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) por ter sido minha segunda casa durante todos esses anos.

À Fundação de Amparo à Ciência e à Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa e do financiamento do projeto de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa na parte final do curso.

Ao meu amigo e irmão Prof. Dr. Cleyton Almeida de Araújo por nossa amizade e por toda ajuda nas análises laboratoriais. Obrigado por toda parceria ao longo desses anos, Zé.

Ao meu amigo e irmão Prof. Dr. Daniel Barros de Cardoso por toda ajuda, conselho e orientação na minha formação. Obrigado por sua companhia diária durante esses anos e por sempre me escutar.

Ao meu amigo e irmão Dr. José Lypson Pinto Simões Izidro por nossa amizade e parceria. Obrigado por toda ajuda durante o doutorado nas disciplinas, nas análises de campo, laboratoriais e estatística.

À equipe do grupo RUMIÁRIDAS - Ana Clara, Ana Maria, Douglas Costa, Fabrícia Costa, Luciano Moraes, Priscila Barreto, Rafaela Cordeiro, Suzanny Leal, Taís Machado, Tamires Queiroz, Tuany Nathan, Túlio Oliveira, Millena Ramires, Vitória Bezerra e Yasmin Melo - por toda ajuda nas análises de campo e laboratoriais.

Aos meus amigos do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (PPGZ) - Alessandra Soares, Claudenice Barbosa, Claudenilde Pinheiro, Cristiane Gomes, Dayanne Camelo, Diana Valadares, Elisvaldo Alencar, Géssica Solanna, José Ronaldo, Letícia Nascimento, Liliane Santana, Lucas Avelar, Luciana Damas, Maria Aline, Maria Nágila, Maria Telma, Méry Cristina, Natália Viana, Pedro Henrique, Pedro Mouzinho, Rita de Cássia, Roberto Sobral, Salmo Olegário, Suellen Miranda, Tafnes Bernardo e Thaíse Peixôto - pela amizade.

À equipe de Atividades de Vivência Interdisciplinar (PAVI) da Professora Geane - Camylla Monteiro, Fernanda Soares, Herick, Jefferson Ferreira, José Sivaldo, Josembergue Alves, Maria Eduarda Pereira, Maria Lucineide, Mariane Barreto e Nicolle Bezerra. Em

especial, aos meus amigos Jefferson e José Sivaldo durante todas as minhas análises. Deus os abençoe.

Aos amigos, Williane Patrícia, Italvan Milfont e Osniel Faria por toda ajuda na implantação do meu experimento. Obrigado por nunca abdicarem esforços para me ajudar. Que Deus ilumine muito o caminho de vocês.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens (PPGCAP) Andreia Teixeira, Andressa Karoline, Clayrton Bruno, Danilo Pequeno, Karoline Cardoso, Lillian Kellen, Lucas Pinheiro, Madalena Barros, Maria Luana, Otávio Medeiros, Rafaela Costa e Weslla Dias. Além disso, aos amigos dos Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola (UFAPE) Elisson Teixeira, Dr. (PNPD) Fernando Santos, Miguel Antunes, Neto Pereira, Philip Moab e Ricardo Souza. Obrigado por sempre responderem “SIM” nas mensagens de *WhatsApp*: “Amigo(a), estou precisando de ajuda amanhã no campo. Você pode me ajudar?”

Aos amigos do curso de Zootecnia da UFAPE - Eduardo Lima, Jéssica Almeida, Jorge Luiz, Maria Geangela, Mayra Azevedo e Suanny Falção - e ao amigo do curso de Agronomia da UFAPE Abraão Monteiro por toda ajuda no campo e nas análises laboratoriais.

Aos meus amigos da vida Claudenilde Pinheiro, Deneson Oliveira, Maria Flávia, Maria Luana, Rodrigo Moura e Yara América por nossa amizade.

Aos professores do PPGZ da UFRPE, pelos ensinamentos transmitidos.

À Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em especial, aos funcionários - D. Suzana, Edson Lima, Esmeraldo, Ivanildo, Juscélio, Luciano, Marquinhos, Paulo Sérgio, Renato, Rodrigo e Sebastião - pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho. Sou muito grato a todos vocês, por cada palavra de apoio, incentivo, amizade, disponibilidade e prontidão em ajudar nas atividades dessa pesquisa. Em especial, aos amigos, Juscélio e Edson Lima por toda carona quando não conseguia transporte para fazenda nos fins de semana. Ao responsável técnico da fazenda Dr. Nivaldo por todo apoio.

À Embrapa Semiárido pela realização das análises de minerais, em especial, ao meu coorientador de mestrado Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo e aos amigos doutores Cleyton Almeida, Deneson Oliveira e Fleming Sena Campo por intermediarem essas análises.

À minha amiga Dr^a. Glayciane Costa Gois (Serasa) pela amizade e pela parceria nos trabalhos científicos.

Ao laboratório de Nutrição Animal (LANA) da UFAPE por ter sido minha segunda casa durante minha formação: graduação, mestrado e doutorado. Em especial, à técnica Suzana Castro. Obrigado Suuh por toda ajuda no laboratório. Meus dias no laboratório, foram mais leves com sua presença. À técnica Natanna Arruda (Potência) por toda ajuda sempre que precisei, seja com reagentes, agendamento de equipamento e palavra amiga.

Aos laboratórios de Forragicultura, Nutrição Animal (LNA) e BIOPA da UFRPE pela oportunidade de realização das análises. Aos técnicos laboratoriais Carlos Mendes e Vanessa Fitipaldi, pela ajuda indispensável no preparo de soluções e análises. À doutoranda Keity do BIOPA por sua disponibilidade nas análises de tanino.

Aos funcionários da UFAPE, em especial, aos do CENLAG, Sr. Jair, Léo e Juliana (Ju), aos vigilantes por todo apoio nas madrugadas em que realizava as análises de produção de gás, e aos motoristas Sr. Álvaro e Roni Andrade por seus ótimos serviços prestados e pelos momentos de descontração.

E a todos que me ajudaram de alguma forma nessa trajetória, muito obrigado!

Ao escrever esses agradecimentos, percebo o quanto fui e sou abençoado por Deus por ter colocado todas essas pessoas em minha vida. A graduação, o mestrado e o doutorado foram mais leves com a ajuda de vocês.

Provérbios 3:27-28 da Bíblia diz: "Não deixe de fazer o bem àqueles que precisarem, sempre que isso estiver ao seu alcance. Se você pode ajudar seu próximo agora, não lhe diga: “Volte amanhã, e lhe darei algo”.

NUNCA DEIXE DE ACREDITAR

*“Espero que você possa aceitar as coisas como elas são;
sem pensar que tudo conspira contra você...
Porque parte de nós é entendimento... mas a outra parte é aprendizado...
Que você possa ter forças para vencer todos os seus medos; e que, no final,
possa alcançar todos os seus objetivos...
Porque parte de nós é cansaço... mas a outra parte é vontade...
Que tudo aquilo que você vê e escuta possa lhe trazer conhecimento;
que essa escola possa ser longa e feliz...
Porque parte de nós é o que vivemos... mas a outra parte é o que esperamos...
Que você possa aprender a perder sem se sentir derrotado;
que isso possa fazer você cada vez mais guerreiro...
Porque parte de nós é o que temos... mas a outra parte é sonho...
Que durante a sua vida você possa construir sentimentos verdadeiros;
Que você possa aceitar que só quem soube da sombra, pode saber da luz...
Porque parte de nós é angústia... mas a outra parte é conforto...
Que você nunca deixe de acreditar; que nunca perca sua fé...
Porque parte de DEUS é amor... e a outra parte também!”*

João Paulo II

RESUMO GERAL

A integração de leguminosas em consórcio com palma forrageira pode contribuir com o fornecimento de nitrogênio ao solo, melhorar a qualidade da dieta dos animais e reduzir a emissão de metano. No entanto, a escolha das espécies a serem consorciadas pode impactar na morfologia, produção e valor nutritivo das culturas envolvidas. Diante disso, este estudo parte da hipótese de que o consórcio de palma forrageira com leguminosas de porte arbustivo e herbáceo não compromete essas características. Com isso, objetivou-se avaliar os aspectos morfológicos, produtivos e nutricionais de diferentes espécies de palma forrageira, Miúda (*O. cochenillifera* (L.) Mill e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw), consorciadas com Cunhã (*Clitoria ternatea* (L.) ou Jureminha (*Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung), além das plantas em monocultivo. Utilizou-se delineamento em blocos ao acaso, com tratamentos constituídos por oito sistemas de cultivo: *Opuntia cochenillifera* + *Desmanthus pernambucanus*; *Opuntia cochenillifera* + *Clitoria ternatea*; *Opuntia stricta* + *Desmanthus pernambucanus*; *Opuntia stricta* + *Clitoria ternatea*; *Opuntia cochenillifera*; *Opuntia stricta*, *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus*. A pesquisa foi realizada na Fazenda Experimental Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), em Garanhuns-PE. A colheita da palma foi realizada anualmente, nos anos de 2022 e 2023, com a preservação do cladódio mãe. As leguminosas foram colhidas a cada 90 dias, com intensidade de 20 cm de altura do solo. Os dados referentes à morfologia, produção e valor nutricional da palma forrageira foram obtidos a partir do material colhido ao final de cada ciclo anual de crescimento. Já para as leguminosas, as análises foram realizadas em duas épocas distintas de cada ano, chuva e seca. De maneira geral, o cultivo consorciado não alterou a morfologia das leguminosas e proporcionou pequenas alterações nas espécies de palma forrageira. No segundo ano de avaliação, a palma *O. stricta* cultivada no sistema com *C. ternatea* apresentou cladódios primários mais desenvolvidos, com médias de 28,1 cm de comprimento, 20,7 cm de largura e 69,4 mm de espessura, superando os valores observados no monocultivo de *O. stricta*. Resultados semelhantes foram verificados na associação com *D. pernambucanus*, que também promoveu aumentos no comprimento (27,8 cm) e na largura (19,9 cm) dos cladódios primários em comparação ao sistema da *O. stricta* em monocultivo. O cultivo em consórcio não influenciou a produção de matéria seca (PMS) anual da *O. stricta* durante os anos de avaliações. Entretanto, a *O. cochenillifera*, em monocultivo obteve maior PMS anual, com 2.933 kg.ha⁻¹, em relação a palma cultivada com *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (1.394 kg.ha⁻¹) e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1.175 kg.ha⁻¹), no segundo ano. Com relação a PMS anual das leguminosas, a *C. ternatea* e *D. pernambucanus* apresentaram maiores valores em monocultivo, nos dois anos de avaliações, em comparação aos consórcios. Na PMS dos sistemas (Produção da palma + produção das leguminosas, quando consorciadas), a *C. ternatea* em monocultivo não diferiu dos consórcios com as espécies de palma forrageira em ambos os anos. Já *D. pernambucanus* apresentou comportamento distinto no segundo ano, com o consórcio com *O. cochenillifera* (4.490 kg.ha⁻¹), superando a produção da leguminosa em monocultivo (2.058 kg.ha⁻¹). Durante os dois anos de avaliações, a taxa de sobrevivência das leguminosas não foi afetada entre os sistemas de cultivo. Todavia, a *C. ternatea* obteve menor taxa de sobrevivência no segundo ano, em comparação com ao primeiro, com decréscimos de 16,8%, 23,4% e 14,1%, no monocultivo e nos consórcios com *O. cochenillifera* e *O. stricta*, respectivamente. A *D. pernambucanus* não apresentou diferenças na taxa de sobrevivência durante os dois anos de avaliações. O consórcio proporcionou pequenas alterações no valor nutricional da palma, em que no segundo ano de avaliação, a *O. cochenillifera* consorciada com *D. pernambucanus* apresentou menor concentração média de carboidratos totais, com 466,3 g.kg⁻¹ de MS, enquanto no monocultivo foi de 622,9 g.kg⁻¹ de MS. Nesse mesmo ano, observou-se maior produção de gás total (289,3 g.kg⁻¹MS) na *O. stricta* em monocultivo, em relação aos seus consórcios, porém, *O. stricta* nos consórcios, *C. ternatea* + *O. stricta* (779,7 g.kg⁻¹MS) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (816,1 g.kg⁻¹MS), apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade *in vitro* da matéria seca, tendo no monocultivo, valor de 712,3 g.kg⁻¹MS. As leguminosas apresentaram maior variação no valor nutricional, em comparação às palmas. Na época chuvosa, a *D. pernambucanus* consorciada com *O. stricta* apresentou valores médios mais elevados de matéria mineral (44,9 g.kg⁻¹ MS) e menores de hemicelulose (113,1 g.kg⁻¹ MS) em relação a planta cultivada em monocultivo. Além disso, a *D. pernambucanus* apresentou concentrações médias mais elevadas das frações A+B1 (carboidratos de rápida degradação) quando consorciada com *O. cochenillifera* (264,6 g.kg⁻¹ de MS), e da fração B2 (fibra potencialmente degradável) no consórcio com

O. stricta (261,6 g kg⁻¹ de MS), em comparação ao monocultivo. Porém, na época seca, a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* (176,3 g.kg⁻¹ MS) apresentou concentração média de proteína bruta superior ao monocultivo (141,7 g.kg⁻¹ MS). No segundo ano, a leguminosa no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* apresentou concentração média de proteína bruta de 175,8 g.kg⁻¹ MS superior e fração A+B1 de 166,7 g.kg⁻¹ MS inferior ao observado na *C. ternatea* em monocultivo. Não foram observadas diferenças na composição mineral entre as duas espécies de palma em monocultivo e seus respectivos consórcios. Contudo, entre os anos de avaliações, verificou-se aumento nos níveis médios de boro (41,0 mg.kg⁻¹ MS), além de reduções nas concentrações médias de ferro, manganês e sódio (60,0; 90,0 e 38,0 mg.kg⁻¹ MS, respectivamente), independentemente do sistema de cultivo. Em relação às leguminosas, na época chuvosa, a *C. ternatea* em monocultivo apresentou concentrações médias de fósforo de 2,1 g.kg⁻¹ MS, concentração superior aos consórcios com as palmas (1,7 g.kg⁻¹ MS). Nessa mesma época, o zinco foi mais alto na *D. pernambucanus* no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* (29,5 mg.kg⁻¹ MS) que a planta em monocultivo (18,8 mg.kg⁻¹ MS). Na época seca, a leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* teve concentrações médias de enxofre (1,8 g.kg⁻¹ MS) superiores ao monocultivo (1,2 g.kg⁻¹ MS). Entre os anos, o consórcio com palma forrageira promoveu pequenas alterações na composição mineral das leguminosas, com concentração média de enxofre no primeiro ano maior na *D. pernambucanus* consorciada com *O. stricta* (2,33 g.kg⁻¹ MS), em comparação a planta em monocultivo (1,56 g.kg⁻¹ MS). No segundo ano, o fósforo apresentou concentração superior na *C. ternatea* em monocultivo, com média de 2,7 g.kg⁻¹ MS, enquanto os consórcios com ambas as palmas alcançaram concentrações de 2,1 g.kg⁻¹ MS. Em relação ao boro, a *C. ternatea* cultivada em monocultivo no segundo ano apresentou a maior concentração (38,4 mg kg⁻¹ de MS), enquanto no consórcio com *O. cochenillifera* esse valor foi menor, com cerca de 26,5 mg.kg⁻¹ de MS. Conclui-se que o consórcio de *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus* influenciou positivamente as características morfológicas da palma e proporcionou pequenas alterações no valor nutricional da *Opuntia stricta*. Embora não tenha alterado negativamente o valor nutricional de *Opuntia cochenillifera*, o consórcio reduziu a produção de matéria seca dessa espécie no segundo ano. Esses sistemas também não causaram grandes mudanças nas características morfológicas ou no valor nutricional das leguminosas. No entanto, a produção de matéria seca anual das leguminosas em monocultivo foi superior à dos consórcios nos dois anos de avaliações. Em relação à taxa de sobrevivência, esta foi afetada, com *Clitoria ternatea* apresentando maior mortalidade no segundo ano. Apesar disso, a PMS do sistema consorciado (palma + leguminosa) foi superior à dos monocultivos, destacando a vantagem dos consórcios para aumentar a produção de forragem.

Palavras-chave: *Clitoria ternatea*, *Desmanthus pernambucanus*, Palma cv. Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e Sistemas consorciados.

GENERAL ABSTRACT

The integration of legumes intercropped with forage cactus can enhance nitrogen supply to the soil, improve animal diet quality, and reduce methane emissions. However, the type of intercropping system can affect the morphology, yield, and nutritional value crops involved. In this context, the present study is based on the hypothesis that intercropping forage cactus with shrub and herbaceous legumes does not compromise these characteristics. Therefore, the objective was to evaluate the morphological, productive, and nutritional aspects of different forage cactus species, Miúda (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill) and Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw) intercropped with Cunha (*Clitoria ternatea* (L.)) or Jureminha (*Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung), as well as under monoculture. The randomized block design was used, with treatments consisting of eight cropping systems: *Opuntia cochenillifera* + *Desmanthus pernambucanus*; *Opuntia cochenillifera* + *Clitoria ternatea*; *Opuntia stricta* + *Desmanthus pernambucanus*; *Opuntia stricta* + *Clitoria ternatea*; *Opuntia cochenillifera*; *Opuntia stricta*; *Clitoria ternatea* and *Desmanthus pernambucanus*. The research was carried out at the at the Experimental Farm Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, of the Federal Rural University of Pernambuco (UFRPE) in Garanhuns, PE, Brazil. The forage cactus was harvested annually in 2022 and 2023, preserving the mother cladode. Legumes were harvested every 90 days, cutting at 20 cm above the soil surface. Data on the morphology, yield, and nutritional value of the forage cactus were collected at the end of each annual growth cycle, while the legume analyses were carried out during two distinct seasons each year, rainy and dry. Overall, intercropping did not alter legume morphology and caused only minor changes in the forage cactus species. In the second year of evaluation, *O. stricta* intercropped with *C. ternatea* produced more developed primary cladodes, with average values of 28.1 cm in length, 20.7 cm in width, and 6.94 cm in thickness, exceeding to *O. stricta* under monoculture. Similar results, *O. stricta* intercropped with *D. pernambucanus* showed greater primary cladode length (27.8 cm) and width (19.9 cm) in compered the system of *O. stricta* in monoculture. Intercropping did not affect the annual dry matter production (DMP) of *O. stricta* during the evaluation years. However, *O. cochenillifera* under monoculture recorded a higher annual DMP (2.933 kg·ha⁻¹) compared to intercropping with *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (1.394 kg·ha⁻¹) or *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1.175 kg·ha⁻¹) in the second year. Regarding the legumes, both *C. ternatea* and *D. pernambucanus* had higher annual DMP in monoculture than in intercropping systems over the two years. When considering DMP system (forage cactus + legumes), *C. ternatea* under monoculture did not differ from intercropping systems with forage cactus species both years. However, *D. pernambucanus* in the second year performed better when intercropped with *O. cochenillifera* (4.490 kg·ha⁻¹), overcoming its monoculture yield (2.058 kg·ha⁻¹). The survival rates of the legumes were not affected by the intercropping systems across both years. However, *C. ternatea* had lower survival in the second year, with reductions of 16.88%, 11.94%, and 14.10% under monoculture and intercropping with *O. cochenillifera* and *O. stricta*, respectively. In contrast, *D. pernambucanus* maintained consistent survival rates throughout the evaluation years. Intercropping induced slight changes in the nutritional value of the cactus. In the second year, *O. cochenillifera* intercropped with *D. pernambucanus* had a lower average total carbohydrate content (466,3 g·kg⁻¹ DM) compared to its monoculture (622,9 g·kg⁻¹ DM). Also in that year, monocultured *O. stricta* produced more total gas (289.3 mL·g⁻¹ DM), whereas intercropped *O. stricta* (*C. ternatea* + *O. stricta*: 779.7 g·kg⁻¹ DM; *D. pernambucanus* + *O. stricta*: 816.1 g·kg⁻¹ DM) had higher *in vitro* dry matter digestibility than in monoculture (712.3 g·kg⁻¹ DM). Legumes showed greater variation in nutritional value compared to forage cactus. During the rainy season, *D. pernambucanus* intercropped with *O. stricta* had higher mineral matter (44.9 g·kg⁻¹ DM) and lower hemicellulose (113.1 g·kg⁻¹ DM) contents than in monoculture. In addition, *D. pernambucanus* showed higher average concentrations of fractions A+B1 (Higher rapidly degradable carbohydrate) when intercropped with *O. cochenillifera* (264.6 g·kg⁻¹ DM), and higher potentially degradable fiber (B2: 261.6 g·kg⁻¹ DM) when intercropped with *O. stricta*. In the dry season, *C. ternatea* intercropped with *O. cochenillifera* had a higher average crude protein content (176.3 g·kg⁻¹ DM) than under monoculture (141.7 g·kg⁻¹ DM). In the second year, *C. ternatea* + *O. cochenillifera* had higher crude protein (175.8 g·kg⁻¹ DM) but lower A+B1 fraction (166.7 g·kg⁻¹ DM) than in monoculture. No differences were observed in the mineral composition of the two cactus species between monoculture and intercropping. However, across years, there was an increase in average boron levels (41.0 mg·kg⁻¹ DM) and reductions in iron, manganese, and sodium contents (60.0, 90.0, and 38.0 mg·kg⁻¹ DM,

respectively), regardless of the intercropping system. For legumes during the rainy season, *C. ternatea* in monoculture had higher phosphorus content ($2.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$) than when intercropped with cactus ($1.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$). In the same time, zinc content was higher in *D. pernambucanus* when intercropped with *O. stricta* ($29.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$) compared to monoculture ($18.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$). In the dry season, the legume intercropping system *D. pernambucanus* + *O. stricta* had higher sulfur content ($1.8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$) than monoculture ($1.2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$). Between the years, intercropping with forage cactus led to small changes in the mineral composition of the legumes, with the average concentration of sulphur in the first year being higher in *D. pernambucanus* intercropped with *O. stricta* ($2.33 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$), compared to the plant in monoculture ($1.56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$). In the second year, phosphorus concentration was higher in *C. ternatea* in monoculture, with an average of $2.7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$, while the consortia with both cactus reached concentrations of $2.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ DM}$. In related to boron, *C. ternatea* grown in monoculture in the second year showed the highest concentration ($38.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ of DM}$), while in the consortium with *O. cochenillifera* this value was lower, at around $26.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ of DM}$. It can be concluded that the intercropping of *Clitoria ternatea* and *Desmanthus pernambucanus* had a positive influence on the morphological characteristics of the palm and provided minor changes to the nutritional value of *Opuntia stricta*. Although the intercropping did not negatively alter the nutritional value of *Opuntia cochenillifera*, it did reduce the dry matter production of this species in the second year. These systems also did not cause major changes in the morphological characteristics or nutritional value of the legumes. However, the annual dry matter production of the legumes in monoculture was higher than that of the intercropping in both years. The survival rate was affected, with *Clitoria ternatea* showing higher mortality in the second year. Despite this, the DMP of the intercropped system (Cactus + legume) was higher than that of the monocultures, highlighting the advantage of intercropping to increase forage production.

Keywords: *Clitoria ternatea*, consortium systems, *Desmanthus pernambucanus*, Miúda cactus pear, and Orelha de elefante mexicana.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	Pag.
Figura 1. A) <i>O. cochenillifera</i> (L.) Mill e B) <i>Opuntia stricta</i> (Haw.) Haw, junho de 2023, Garanhuns.....	28
Figura 2. <i>Desmanthus pernambucanus</i> (L.) Tellung, maio de 2022, Garanhuns.....	34
Figura 3. A) Cabras Saanen e B) Vacas mestiças de holandês consumindo <i>Desmanthus pernambucanus</i> (L.) Tellung, novembro de 2023, Garanhuns.....	35
Figura 4. A) Aspecto geral da planta de <i>Clitoria ternatea</i> (L) e B) Flor da <i>Clitoria ternatea</i> , maio de 2022, Garanhuns.	38
CAPÍTULO II	Pag.
Figura 1. Balanço Hídrico sequencial, precipitação pluviométrica e temperatura média, durante outubro de 2021 a outubro de 2023 na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, Garanhuns-PE.	74
Figura 2. Efeito do sistema de cultivo no comprimento (A) e largura do cladódio mãe (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	83
Figura 3. Efeito do sistema de cultivo no perímetro do cladódio mãe (A) e espessura do cladódio mãe (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	83
Figura 4. Efeito do ano de avaliação no perímetro do cladódio mãe da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.....	84
Figura 5. Efeito do ano de avaliação no comprimento do cladódio mãe (A) e largura (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	85
Figura 6. Efeito dos sistemas de cultivo sobre o número de ramos primários (A) e diâmetro dos ramos secundários (B) das leguminosas sob monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	88
Figura 7. Efeito dos sistemas de cultivo sobre o comprimento da folha (A) e largura da folha (B) de leguminosas sob sistemas de monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	89
CAPÍTULO III	Pag.
Figura 1. Balanço Hídrico – (A) e temperatura (B) em diferentes épocas do ano durante o experimento em Garanhuns-PE.	122
Figura 2. Efeito dos sistemas de produção (A) e anos de avaliações (B) na concentração de proteína bruta da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	127
Figura 3. Efeito dos sistemas de produção (A) e anos de avaliações (B) na concentração de extrato etéreo da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	128

Figura 4. Efeito dos anos de avaliações na concentração de fibra em detergente neutro (A) e frações fibrosas (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	129
Figura 5. Efeito dos anos de avaliações na proteína ligada a fibra em detergente neutro (PIDN) e cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	129
Figura 6. Efeito do ano de avaliação nas frações de CHO da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	132
Figura 7. Efeito dos sistemas de cultivo (A) e anos de avaliações (B) no volume de gases produzidos pela fração B2 dos CHOs da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	135
Figura 8. Efeito do ano de avaliação no período de latência da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	135

CAPÍTULO IV

Pag.

Figura 1. Efeito do sistema de cultivo na concentração de nitrogênio da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	184
Figura 2. Efeito dos anos de avaliações nas concentrações de boro (A) e ferro (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco. ...	185
Figura 3. Efeito dos anos de avaliações nas concentrações de manganês (A) e sódio (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	185
Figura 4. Efeito dos sistemas de cultivo sobre a concentração de potássio das leguminosas sob sistemas de monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	194

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Pag.

Tabela 1. Análise química de amostras de solo da área experimental em profundidade de 0-40 cm, Garanhuns – PE.	76
Tabela 2. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações para altura e largura da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	79
Tabela 3. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o número de cladódios totais, primários, secundários e terciários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	80
Tabela 4. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre espessura do cladódio mãe, comprimento, largura e perímetro dos cladódios primários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	81
Tabela 5. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios secundários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	86
Tabela 6. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios terciários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	87
Tabela 7. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a altura, largura de planta, comprimento dos ramos primários e secundários das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	90
Tabela 8. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre o diâmetro do caule, diâmetro do ramo primário, número de folíolos e folhas das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	91
Tabela 9. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a altura de planta, comprimento do ramo secundário, diâmetro do caule e do ramo primário de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	93
Tabela 10. Efeito da interação entre sistema de cultivo x anos de avaliações sobre número de folíolos e folhas de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	94
Tabela 11. Efeito da interação de épocas e anos de avaliações sobre as características morfológicas de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	95
Tabela 12. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca das espécies de palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	96
Tabela 13. Efeito da interação entre sistemas de cultivos x épocas de avaliações na produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	97
Tabela 14. Efeito da interação entre sistema de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	98
Tabela 15. Efeito da interação entre épocas x anos de avaliações sobre a produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	99

Tabela 16. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca anual das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	100
Tabela 17. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca da(s) cultura(s) nos sistemas de produção no Agreste de Pernambuco.	101
Tabela 18. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na taxa de sobrevivência (%) de espécies de palma forrageira em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	101
Tabela 19. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na sobrevivência (%) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	102

CAPÍTULO III

Pag.

Tabela 1. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre as concentrações de matéria seca, matéria mineral e matéria orgânica da palma forrageira cultivadas em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco... 126	126
Tabela 2. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de lignina da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	130
Tabela 3: Efeito de interação entre os sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre as concentrações de carboidratos totais, fração C dos CHOT e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	131
Tabela 4. Efeito da interação de sistema de cultivo x anos de avaliações sobre produção de gás total observada (PGTO) e produção de gás total ajustada (PGTA) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.....	133
Tabela 5. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o volume de produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Vf ₁) e sobre a taxa de degradação da produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Kd ₁) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	134
Tabela 6. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a matéria mineral, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	136
Tabela 7. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN), proteínas ligadas a fibra em detergente neutro (PIDN) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	138
Tabela 8. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a hemicelulose, carboidratos totais, fração A+B1 e B2 dos CHOT das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	139
Tabela 9. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliação sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf ₁) e taxa	

específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF) (Kd1) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	141
Tabela 10. Efeito da interação de sistemas de cultivos x épocas de avaliações sobre o período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	142
Tabela 11. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a proteína bruta e cinzas em detergente neutro das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	143
Tabela 12. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre os carboidratos totais, fração A+B1, C dos CHOT e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	144
Tabela 13. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf1) e período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	145
Tabela 14. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre as concentrações de matéria seca, matéria mineral, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	147
Tabela 15. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre a fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigidas para cinzas e proteínas (FDNcp), cinzas corrigidas para fibra em detergente neutro (CIDN), proteínas corrigidas para fibra em detergente neutro (PIDN), fibras em detergente ácido (FDA), hemicelulose e lignina das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	148
Tabela 16. Efeito da interação de época x anos de avaliações sobre os carboidratos totais, Fração A+B1 e B2 das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	149
Tabela 17. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), taxa de degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Kd1), volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf2) e período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	150

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Análise do solo nos anos de 2022 e 2023 na área experimental na camada (0-40 cm), Garanhuns-PE.	178
Tabela 2. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de potássio, cálcio e cobre da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	182
Tabela 3. Efeito dos sistemas de cultivo sobre a concentração de minerais da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.	183

Tabela 4. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	187
Tabela 5. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de sódio, boro e ferro das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	188
Tabela 6. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de cobre e zinco das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	190
Tabela 7. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de nitrogênio, cálcio e enxofre das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	191
Tabela 8. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de fósforo e magnésio das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	192
Tabela 9. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de boro, cobre e manganês das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	193
Tabela 10. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre os macrominerais das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	195
Tabela 11. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre os microminerais das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.	196

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	23
CAPÍTULO I.....	25
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	26
2.1 Importância da Palma forrageira no Semiárido brasileiro	26
2.2 Importância das Leguminosas.....	30
2.2.1 <i>Desmanthus pernambucanus</i> (L.) Thellung	33
2.2.2 <i>Clitoria ternatea</i> (L.).....	37
2.3 Sistemas consorciados	41
2.3.1 Alterações das características do solo em sistemas consorciados.....	44
2.3.2 Aspectos morfológicos e produtivos das plantas em sistemas consorciados	46
2.3.3 Valor nutricional de plantas em sistemas consorciados.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
CAPÍTULO II.....	69
CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIOS COM LEGUMINOSAS	69
1. INTRODUÇÃO	72
2. MATERIAL E MÉTODOS	73
2.1 Local do experimento	73
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	74
2.3 Sistema de plantio	74
2.4 Respostas morfológicas e produtivas	76
2.5 Taxa de sobrevivência	77
2.6 Análise estatística.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
3.1 Resultados.....	78
3.1.1 Características morfológicas da palma forrageira	78
3.1.2 Características morfológicas das leguminosas entre as épocas do ano.....	88
3.1.3 Características morfológicas das leguminosas entre os anos de avaliações	92
3.1.4 Características morfológicas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações ..	94
3.1.5 Características produtivas da palma forrageira.....	96
3.1.6 Características produtivas (corte) das leguminosas entre as épocas do ano	96
3.1.7 Características produtivas (corte) das leguminosas entre os anos	97
3.1.8 Características produtivas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações.....	98
3.1.9 Características produtivas (anual) das leguminosas entre os anos	99
3.1.10 Características produtivas dos sistemas	100
3.1.11 Taxa de sobrevivência das culturas	101
3. 2 Discussão.....	102

3.2.1 Características morfológicas da palma forrageira	102
3.2.2 Características morfológicas das leguminosas entre as épocas do ano.....	104
3.2.3 Características morfológicas das leguminosas entre os anos de avaliações ...	106
3.2.4 Características morfológicas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações	107
3.2.5 Características produtivas da palma forrageira.....	107
3.2.6 Características produtivas (corte) das leguminosas entre as épocas do ano ..	109
3.2.7 Características produtivas (corte) das leguminosas entre os anos	110
3.2.8 Características produtivas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações....	110
3.2.9 Características produtivas (anual) das leguminosas entre os anos	110
3.2.10 Características produtivas dos sistemas	111
3.2.11 Taxa de sobrevivência das culturas	112
4. CONCLUSÃO.....	113
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
CAPÍTULO III	117
VALOR NUTRITIVO DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIO	117
1. INTRODUÇÃO	120
2. MATERIAL E MÉTODOS	121
2.1 Local do experimento	121
2.2 Composição químico-bromatológica.....	122
2.3 Digestibilidade <i>in vitro</i>	123
2.4 Produção de gás <i>in vitro</i>	124
2.5 Análise estatística.....	125
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	125
3.1 Resultados.....	125
3.1.1 Valor nutritivo da palma forrageira	125
3.1.2 Valor nutritivo das leguminosas entre as épocas do ano	136
3.1.3 Valor nutritivo das leguminosas entre os anos de avaliações	142
3.1.4 Valor nutritivo das leguminosas: Épocas x anos de avaliações	146
3.2 Discussão.....	150
3.2.1 Valor nutritivo da palma forrageira	150
3.2.2 Valor nutritivo das leguminosas entre as épocas do ano	157
3.2.3. Valor nutritivo das leguminosas entre os anos de avaliações	161
3.2.4. Valor nutritivo das leguminosas: Épocas x anos de avaliações	163
4. CONCLUSÃO.....	166
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167
CAPÍTULO IV.....	173
COMPOSIÇÃO MINERAL DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS (<i>Clitoria ternatea</i> E <i>Desmanthus perambucanus</i>) EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIO.....	173
1. INTRODUÇÃO	176

2. MATERIAL E MÉTODOS	177
2.1 Sistema de plantio	177
2.2 Preparo das amostras	179
2.3 Composição mineral	179
2.4 Análise estatística.....	180
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	180
3.1 Resultados.....	180
3.1.1 Concentrações de minerais na palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas	180
3.1.2 Composição mineral das leguminosas entre as épocas do ano	186
3.1.3 Composição mineral das leguminosas entre os anos de avaliações.....	190
3.1.4 Composição mineral das leguminosas: Épocas x anos de avaliações.....	194
3.2 Discussão.....	196
3.2.1 Concentrações de minerais na palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas	196
3.2.2 Composição mineral das leguminosas entre as épocas de avaliações	202
3.2.3 Composição mineral das leguminosas entre os anos de avaliações.....	205
3.2.4 Composição mineral das leguminosas: Épocas x anos de avaliações.....	206
5.0 CONCLUSÕES.....	207
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	208

1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial, aliado à necessidade de maximizar a produtividade agropecuária de forma sustentável, tem impulsionado a busca por sistemas de produção mais eficientes e resilientes. Para pequenas propriedades, em que a disponibilidade de terra é limitada, estratégias que aumentem ou otimizem a produção por unidade de área tornam-se fundamentais para garantir a viabilidade econômica e a segurança alimentar. Nesse contexto, a utilização de sistemas consorciados de palma forrageira (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw) e leguminosas forrageiras (*Clitoria ternatea* (L.) e *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung) pode ser uma alternativa promissora, especialmente para as regiões Semiáridas brasileiras, para otimizar o uso da terra e melhorar a qualidade nutricional da alimentação animal.

A palma forrageira destaca-se como um recurso essencial para a alimentação de ruminantes em regiões Semiáridas, em razão da elevada resistência à seca (Alves, Santos, 2024), alta digestibilidade (Pessoa et al., 2024), concentração de energia rapidamente disponível (509-639 g/kg de MS) e das concentrações de minerais (Santos et al., 2022). No entanto, apresenta limitações nutricionais, como baixas concentrações de matéria seca, proteína bruta e fibra fisicamente efetiva, podendo predispor os animais a distúrbios gastrointestinais (Cardoso et al., 2019).

Para mitigar essas deficiências, o consórcio com leguminosas forrageiras pode ser uma importante alternativa, pois essas espécies possuem alto valor nutricional, fornecendo proteína e fibras, além de contribuírem significativamente para a melhoria da fertilidade do solo por meio da fixação biológica de nitrogênio (Diniz et al., 2021; Tang et al., 2024), tendo em vista que a palma é uma cultura exigente quanto às propriedades físicas e químicas do solo (Araújo et al., 2023).

A introdução de leguminosas em sistemas de produção com palma forrageira pode promover ganhos substanciais na produtividade e na sustentabilidade da pecuária, pois não apenas aumentam a concentração de nitrogênio, mas também pode promover o crescimento de microrganismos benéficos do solo, como fungos micorrízicos arbusculares, que aumentam ainda mais a absorção de nutrientes e a fertilidade do solo (Yu et al., 2024), o que reduz a dependência de fertilizantes químicos (Camelo, 2024). No entanto, a efetividade desses sistemas depende da compatibilidade das espécies utilizadas, uma vez que fatores como morfologia das plantas, competição por nutrientes, luz e água, e arranjo espacial podem influenciar diretamente o desempenho das culturas.

Observa-se maior número de trabalhos com leguminosas arbóreas em sistemas de consórcio com palma forrageira (Grünwaldt et al., 2018; Miranda et al., 2019; Camelo et al., 2021; Saraiva et al., 2021; Camelo et al., 2022; Saraiva et al., 2022). Dessa forma, há muitas lacunas na literatura sobre os impactos do consórcio de palma forrageira e leguminosas herbáceas e arbustivas ao longo do tempo. Ao considerar o menor porte das leguminosas arbustivas e herbáceas, parte-se da hipótese de que a utilização destas em consórcio com palma forrageira não compromete o desenvolvimento e o valor nutricional dessas forrageiras. Com isso, objetivou-se avaliar as características morfológicas, produtivas e nutricionais da palma forrageira e das leguminosas em sistemas consorciados e em monocultivo.

Desta forma, essa tese foi organizada em quatro capítulos: referencial teórico; produção e morfologia da palma forrageira e das leguminosas; valor nutricional da palma forrageira e leguminosas; e composição mineral da palma forrageira e leguminosas em monocultivo e consórcio.

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da Palma forrageira no Semiárido brasileiro

O tamanho reduzido das propriedades é um dos desafios na produção de forragem na região Semiárida do Nordeste do Brasil (Levino et al., 2020), o que requer o cultivo de espécies forrageiras mais produtivas a fim de que os sistemas de produção pecuários sejam mais sustentáveis. Diante disso, a palma forrageira é fundamental para o aumento da eficiência de uso do solo (Inácio et al., 2020), em decorrência da resistência à seca e da alta produtividade por unidade de área (Alves, Santos, 2024).

A família *Cactaceae* reúne mais de 1800 espécies, distribuídas em 150 gêneros (Korotkova et al., 2021). Entre eles destaca-se *Opuntia* (Subfamília *Opuntioideae*), que compreende cerca de 181 espécies, das quais aproximadamente 80 são endêmicas do México (Corral-Martínez et al., 2024). O gênero exibe notável variabilidade morfológica, favorecendo hibridizações espontâneas e ocasionais equívocos taxonômicos (Ahmed et al., 2020). Suas principais características incluem pseudocauls achatados (cladódios) e flores com perianto tubular, cujos estames são mais curtos que as tépalas - configuração que atrai polinizadores específicos e otimiza a reprodução (Manzanarez-Villasana, Mandujano, 2023).

A natureza articulada dos cladódios facilita o crescimento e a regeneração, tornando-os essenciais para a sobrevivência da planta em ambientes áridos (Alves, Santos, 2024). Os cladódios possuem aréolas, estruturas especializadas das quais emergem espinhos e glóquidos. Estes são espinhos curtos, semelhantes aos pelos, que podem se desprender facilmente, causando irritação ao contato (Corral-Martínez et al., 2024), e aqueles variam em tamanho e densidade entre as diferentes espécies, o que contribui para adaptabilidade ecológica (Martínez-González et al., 2023).

Outra característica de destaque diz respeito à alta produtividade em região Semiárida, em relação as outras cactáceas, em vista da adaptação da palma forrageira ao clima dessa região que pode ser explicado pelo hábito xerofítico e pelo metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que acarreta alterações morfofisiológicas sob condições adversas (Mayer et al., 2021). Em razão do CAM, os estômatos abrem essencialmente à noite, quando as temperaturas ambientes se apresentam amenas, o que reduz as perdas de água por evapotranspiração, possuindo assim uma alta eficiência no uso da água (Reis Filho et al., 2022).

A palma é um importante recurso forrageiro para áreas áridas e semiáridas do mundo, representando a principal fonte de alimento para ruminantes durante a estação seca no Brasil (Herrera-Angulo et al., 2023). A utilização dessa forrageira nas dietas de ruminantes decorre

das suas características: alta concentração de água (Nascimento et al., 2024), mucilagem (Pierdomenico et al., 2025), resíduo mineral (Barros et al., 2025) e alto coeficiente de digestibilidade da matéria seca (Pessoa et al., 2024).

A palma pode ser utilizada na alimentação animal de diversas formas, adaptando-se às necessidades produtivas e aos sistemas de manejo. O fornecimento pode ocorrer diretamente no pastejo, onde os animais consomem os cladódios no campo, embora essa prática exija cuidados para evitar o superpastejo e danos às plantas (Dutra et al., 2024). Outra forma comum de utilização é o fornecimento da palma picada verde, prática que facilita o consumo, além de permitir a mistura com outros volumosos ou concentrados (Thakuria et al., 2020). A ensilagem da palma também é uma alternativa viável, especialmente em períodos de escassez hídrica, garantindo a preservação de seus nutrientes por longos períodos (Santos et al., 2024). Além disso, a palma pode ser utilizada na forma desidratada ou triturada, compondo rações para diversas categorias animais, em especial monogástricos (Arba et al., 2022).

Segundo Pessoa et al. (2020), a palma forrageira apresenta cerca de 90% de água em sua composição, o que acarreta diminuição do consumo de água de bebida pelos animais (Magalhães et al., 2019), favorecendo a produção animal nos períodos de déficit hídrico, comuns na região Semiárida. De acordo com Soares et al. (2017), o consumo de água via bebedouro diminuiu linearmente à medida que os níveis de inclusão da palma aumentam na dieta.

Entre as espécies, a palma Miúda [*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck] e a Orelha de Elefante Mexicana [*Opuntia stricta* (Haw) Haw] são bastante promissoras para a região Semiárida, ao considerar a alta resistência à cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae*) (Araújo Júnior et al., 2021), principal praga dessa cultura.

Em condições ambientais semelhantes, a palma Miúda (Figura 1A), normalmente, apresenta maiores concentrações de matéria seca, carboidratos solúveis em água e matéria orgânica digestível *in vitro* e menor proteína bruta em relação à Orelha de Elefante Mexicana (Rocha Filho et al., 2021; Dubeux Júnior et al., 2021). Por outro lado, a Orelha de Elefante Mexicana (Figura 1B) apresenta boas repostas agrônômicas, como menor exigência em nutrientes, maior tolerância às condições de estresse hídrico e maior produção de matéria verde e seca por unidade de área (Lopes et al., 2013).

Em cultivo sob irrigação com água salina, a produção de matéria seca (PMS), conforme Araújo Júnior et al. (2021), foi de 31 t.ha⁻¹ para Orelha de Elefante Mexicana e de 19 t.ha⁻¹ para Miúda. Ao passo que Jardim et al. (2021b) observaram, no primeiro ciclo (120 dias após o corte de uniformização), a PMS de 5,12 t.ha⁻¹ e 3,41 t.ha⁻¹, nesta ordem para Orelha de Elefante

Mexicana e Miúda, sob condições de irrigação no Sertão de Pernambuco. Essa alta produtividade da Orelha de Elefante Mexicana, em relação a Miúda advém da maior taxa de acúmulo de forragem (Rocha et al., 2017) e da maior área espacial dos cladódios, o que possibilita maior acúmulo de água e maior área fotossintética (Silva et al., 2015).



Figura 1. A) *O. cochenillifera* (L.) Mill e B) *Opuntia stricta* (Haw.) Haw, junho de 2023, Garanhuns.

A forma mais comum de reprodução da palma forrageira é por meio do plantio de cladódios (segmentos da planta também conhecidos como raquetes) (Pereira et al., 2021). Essa técnica garante maior uniformidade genética e rápida formação do plantio, pois os cladódios enraízam facilmente e geram novas plantas (Shehu et al., 2016). Para uma propagação eficiente, os cladódios devem ser retirados de plantas saudáveis, deixados ao ar livre por alguns dias para cicatrização da base e, posteriormente, plantados em solo preparado (Stambouli-Essassi et al., 2015).

Embora menos comum na produção comercial, a reprodução por sementes ocorre naturalmente na palma forrageira. As flores da palma são polinizadas por insetos, como abelhas e besouros, resultando na formação de frutos que contêm sementes. No entanto, as sementes apresentam dormência e maior período para germinar e se desenvolver (Gonzalez-Cortés et al.,

2018), tornando essa forma de reprodução menos eficiente para fins forrageiros. Ainda assim, a propagação sexuada pode ser importante para a variabilidade genética, o que facilita programas de melhoramento genético e adaptação da planta a diferentes condições ambientais.

Segundo Cunha et al. (2024), os principais polinizadores do gênero *Opuntia* são as abelhas, com destaque para a abelha africanizada (*Apis mellífera*), com maior frequência (37 %), tempo e maior número de visitas por flores, seguido de espécies da família *Formicidae* (32%) e espécie de abelha carpinteira (*Xylocopa griscenses* Lepeletier) (14%). No entanto, as espécies de *Opuntia* também são visitadas por borboletas, enquanto a *Nopalea*, por abelhas, formigas e beija-flores.

A variabilidade genética entre os diferentes clones de palma forrageira permite selecionar genótipos mais produtivos, resistentes e adaptadas às condições climáticas inóspitas (Modise et al., 2024). O melhoramento genético da palma tem avançado significativamente, melhorando a resistência às pragas e ampliando a eficiência da conversão em biomassa (Neupane et al., 2024). Essas pesquisas possibilitam a recomendação de espécies mais adequadas para diferentes condições de manejo, garantindo maior produtividade e longevidade dos plantios, além de contribuir para a diversificação genética dos sistemas agropecuários.

A longevidade dessa planta também é um fator determinante para sua sustentabilidade e produtividade ao longo do tempo. Com estrutura adaptada a condições hostis, como secas e solos com baixa fertilidade (Lahbouki et al., 2023), a palma forrageira pode sobreviver por longos períodos, garantindo a disponibilidade de forragem mesmo em épocas de seca. Essa resistência prolongada reforça a importância da polinização eficiente, pois a produção contínua de flores e frutos contribui para sua reprodução, garantindo a oferta de alimento para os animais e a preservação dos ecossistemas onde a espécie está inserida. A palma forrageira floresce por período prolongado, da primavera ao início do verão (Stavi, 2022).

Além da longevidade, o armazenamento pós-colheita é outra característica que diferencia a palma de outras forrageiras. A colheita da palma no campo para fornecimento aos animais, geralmente é realizada de forma manual com auxílio de uma facção. Depois esse material é armazenado empilhado *in natura*. A estocagem dos cladódios após a colheita, preservando o valor nutricional da forragem, pode diminuir os custos com mão de obra e transporte, variando conforme a distância entre o campo e a área de alimentação dos rebanhos. No entanto, o armazenamento deve ser feito em local elevado, sombreado ou coberto e bem ventilado (Santos et al., 1992), sem alteração no desempenho de vacas em lactação (Santos et al., 1998).

Santos et al. (1992), ao avaliarem o armazenamento de diferentes espécies de palma fresca (Redonda, Gigante e Miúda) empilhados e armazenados à sombra, observaram que até 16 dias de armazenamento não há diminuição de matéria seca, fibra bruta, proteína bruta e carboidratos solúveis. Além disso, Carvalho et al. (2020) também constataram que a estocagem não comprometeu a qualidade a palma Miúda, Baiana e Orelha de Elefante Mexicana, após o corte e armazenados em paletes de madeira em galpão ventilado por até 60 dias. Da mesma forma, Silva et al. (2017) observaram que Orelha de Elefante Mexicana manteve o valor nutritivo estável até 21 dias de armazenamento.

Além do uso como forragem, a palma forrageira possui potencial para diversas aplicações industriais (Brahmi et al., 2024) e agroecológicas (Slot, Fort, 2024). Seus cladódios são utilizados na produção de bioenergia (Varela-Pérez et al., 2024), ração alternativa para outras espécies de animais e até mesmo em produtos cosméticos e farmacêuticos devido à presença de compostos bioativos. Na agroecologia, a palma forrageira também se destaca por sua capacidade de recuperar solos degradados, reduzir a erosão (Patti et al., 2025) e atuar como planta estratégica em sistemas agroflorestais (VijayKumar et al., 2024), contribuindo para a sustentabilidade ambiental e a conservação dos recursos naturais.

2.2 Importância das Leguminosas

As leguminosas pertencem à família *Fabaceae* (ou *Leguminosae*), abrangendo aproximadamente 650 gêneros e 20.000 espécies. Incluem diversas plantas em diferentes estratos, como árvores, arbustos e ervas, que são cruciais para a segurança alimentar e por desempenharem importante papel econômico, ecológico e nutricional (Samal et al., 2023). Esse grupo diverso de plantas é caracterizado pela produção de frutos em forma de vagem, que auxiliam na dispersão das sementes e garantem a propagação em diferentes ecossistemas (Grdeń, Jakubczyk, 2023). Diante disso, as leguminosas são indispensáveis para a agricultura global, pois desempenham papéis fundamentais na segurança alimentar (Yeremko et al., 2025; Vilakazi et al., 2025).

No Brasil, distintas espécies de leguminosas exóticas, originárias de diversas partes do mundo, são utilizadas como plantas forrageiras, a exemplo dos gêneros *Cajanus*, *Clitoria*, *Gliricidia*, *Leucaena*, *Medicago*, *Prosopis*, *Arachis* e *Stylosanthes* (Apolinário et al., 2022). No entanto, a vegetação da Caatinga é marcada por diversidade de leguminosas nativas com múltiplos usos, inclusive como forragem (Nunes et al., 2016; Muir et al., 2019), sendo exemplos os gêneros *Caesalpinia*, *Mimosa*, *Desmanthus* e *Macroptilium* (Dubeux Júnior et al., 2022).

Um dos aspectos mais importantes das leguminosas é a capacidade de estabelecer relações simbióticas com microrganismos diazotróficos, permitindo a fixação biológica de nitrogênio (Diniz et al., 2021). O N fixado, por meio da simbiose leguminosa-rizóbio, é considerado uma fonte renovável (Jensen; Hauggaard-Nielsen, 2003; Allito et al., 2020), sustentável e ecologicamente correto, não trazendo danos e perturbações para o meio ambiente comparado aos fertilizantes minerais.

A simbiose rizóbio-leguminosa é o mais importante sistema simbiótico entre microrganismos e plantas. O caso de maior sucesso é a simbiose de *Bradyrhizobium* com soja, no Brasil, que diminui a compra e o uso de fertilizantes nitrogenados, sendo uma opção econômica para melhoria dos sistemas pecuários de produção (Abd-Alla et al., 2024). Camelo (2024) observou que a *Clitoria ternatea*, em monocultivo, na Zona da Mata Norte de Pernambuco, fixou 100 kg de N ha.ano⁻¹, reduzindo assim possíveis compras de N.

As leguminosas são reconhecidas por seus altos níveis de proteína bruta, o que as torna componente vital da dieta humana e animal. O conteúdo de proteína das leguminosas normalmente varia de 180 a 500 g.kg MS⁻¹, a depender da espécie e das condições de crescimento (Grdeń, Jakubczyk, 2023). Além da proteína, oferecem carboidratos estruturais e não estruturais, essenciais para o fornecimento de energia e para a sustentação da fermentação ruminal (Singh et al., 2023). Outro destaque é a presença de minerais como cálcio, fósforo, magnésio e potássio que são fundamentais para o metabolismo, saúde óssea e as funções reprodutivas dos animais (Guo et al., 2024; Kovalenko et al., 2024).

Além disso, algumas espécies possuem compostos bioativos, como taninos, que em níveis moderados, podem ser benéficos para ruminantes porque formam complexos com as proteínas, protegendo-as da degradação no rúmen e aumentando a absorção de proteína no intestino delgado (Kadigi, Muzzo, Schreiber, 2024). A exemplo da Jureminha, com concentrações de taninos de 230 a 376 mg TC.g⁻¹, sob densidade de plantio 40.000 plantas.ha⁻¹, manejadas sob duas frequências de corte (60 e 90 dias), na Zona da Mata de Pernambuco Norte, respectivamente (Sales-Silva et al., 2023b).

Vale ressaltar também que algumas leguminosas apresentam alta proporção de proteína ligada à fibra (Fração C), as quais não são aproveitadas pela microbiota ruminal. Oliveira et al. (2020) encontraram variação da fração C de 153,2 e 581,3 g.kg⁻¹ de proteína bruta (PB) para catingueira (*Poincianella pyramidalis*) e umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), respectivamente.

No entanto, a inclusão de algumas leguminosas na dieta animal, a exemplo Mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.) e Sabiá (*Mimosa caesapiniifolia* Benth) pode reduzir a emissão de metano entérico (Santos et al., 2017), devido as concentrações de taninos

condensados e saponinas, compostos que inibem a atividade de microrganismos metanogênicos no rúmen (Suybeng et al., 2020). Além disso, a alta concentração de proteína melhora a eficiência da fermentação ruminal, reduzindo a produção de hidrogênio disponível para a metanogênese (Suybeng et al., 2021). Essa estratégia pode contribuir para uma pecuária mais sustentável, reduzindo o impacto ambiental sem comprometer o desempenho produtivo dos animais.

Vandermeulen et al. (2018), em estudos de fermentação *in vitro* de três espécies de *Desmanthus* (*D. leptophyllus* cv. JCU 1, *D. virgatus* cv. JCU 2 e *D. bicornutus* cv. JCU 4) e de feno de Capim-de-rhodes (*Chloris gayana* Kunth), observaram que essas leguminosas apresentaram potencial antimetanogênico, com redução da produção de metano de 26% para a *D. bicornutus*, e de 36%, para a *D. leptophyllus*, em relação ao feno.

Tantos estudos *in vitro* (Vandermeulen et al., 2018; Durmic et al., 2017) quanto *in vivo* (Suybeng et al., 2020), observaram redução das emissões de metano com a suplementação de *Desmanthus*. Durmic et al. (2017) relatam emissões significativamente mais baixas de metano, em comparação à média de 23 gramíneas tropicais, registrando reduções de 48, 45 e 41% para *D. leptophyllus*, *D. bicornutus* e *D. virgatus*, respectivamente.

Além do valor nutricional (Sales-Silva et al., 2023b), as leguminosas proporcionam diversos serviços ecossistêmicos, como maior estabilidade no acúmulo de forragem (Silva et al., 2023c), melhoria da qualidade do solo (Silva et al., 2022), fixação de N (Kalyan et al., 2024); aumento do estoque de carbono orgânico do solo (Camelo et al., 2021), acúmulo de biomassa microbiana, que contribui coletivamente para o aumento da fertilidade do solo e possíveis reduções nas emissões de gases de efeito estufa (Yan et al., 2023). Ademais, melhoram a ciclagem de nutrientes (Alves et al., 2022b), a recuperação de áreas degradadas (Tomás et al., 2024) ou improdutivas (Medeiros et al., 2022), aumento da produção de forragem (Caram et al., 2024) e o desempenho dos animais (Dubeux Junior et al., 2024).

Vale adicionar ainda que as leguminosas fornecem alimentos aos insetos polinizadores e a outros herbívoros (Wisdom et al., 2024), bem como reduz as emissões de óxido nitroso (N₂O) em mais de 90% (Notz et al., 2023). Apesar dessas contribuições, algumas leguminosas enfrentam desafios, como baixa persistência em pastagens (Muir et al., 2017; Dubeux Júnior et al., 2019), suscetibilidade a pragas e doenças (Dave et al., 2024), baixa comercialização de sementes (Dessalegn et al., 2022), más práticas de manejo, associado ao baixo potencial genético das espécies existentes (Wani et al., 2021) e falta de conhecimento técnico (Smitch et al., 2018).

Para superar essas limitações, muitas pesquisas estão sendo realizadas com diversas leguminosas em diversos sistemas de produção. Entre elas, a *Desmanthus pernambucanus* (Silva et al., 2023a) e *Clitoria ternatea* (Camelo, 2024) vêm ganhando destaque, seja em sistemas de produção sustentável ou na alimentação animal.

2.2.1 *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung

A *Desmanthus pernambucanus*, conhecida popularmente como Jureminha no Brasil, é uma leguminosa nativa do Nordeste brasileiro (Figura 2) com grande importância para os sistemas pecuários. No Brasil, está presente principalmente na região Nordeste, com predominância da *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung (Pengelly, Liu, 2001; Calado et al., 2016).

Em termos de morfologia, a *Desmanthus pernambucanus* apresenta ciclo de vida entre dois e cinco anos e pode atingir até 3,0 m de altura. Sua morfologia inclui porte herbáceo ou subarbustivo, com crescimento que varia de ereto a decumbente, folhas são bipinadas, com presença de nectários e flores esbranquiçadas (Cook et al., 2020). Os nectários da *Desmanthus pernambucanus* são extraflorais, caracterizados por sua diversidade estrutural, incluindo formas como tricomas glandulares, os quais estão envolvidos na secreção de néctar, atraindo formigas e contribuindo para as interações ecológicas da planta na região da Caatinga (Melo et al., 2010).



Figura 2. *Desmanthus pernambucanus* (L.) Tellung, maio de 2022, Garanhuns.

Essa espécie representa grande potencial para a região Semiárida, uma vez que se trata de uma forrageira nativa, resistente à seca e com grande aceitabilidade por uma diversidade de animais, seja *in natura*, seja fenada (Figura 3) (Medeiros et al., 2020). A *Desmanthus pernambucanus* ocorre em diferentes tipos de solos e ambientes (Fontenele et al., 2009). Além disso, apresenta alta capacidade de obtenção de N, por associação a bactérias diazotróficas, de cerca de 30 kg N ha.ano⁻¹ provenientes da FBN (Freitas et al., 2011).



Figura 3. A) Cabras Saanen e B) Vacas mestiças de holandês consumindo *Desmanthus pernambucanus* (L.) Tellung, novembro de 2023, Garanhuns.

Apesar de ocorrer em diferentes tipos de solos, Queiroz (2012), ao avaliar a identificação de germoplasma de *Desmanthus* spp. em municípios do Semiárido de Pernambuco, observou maior ocorrência nestes solos: gleissolo (100% dos locais), neossolo litólico (43,90% dos locais), vertissolo (43,86% dos locais) e argissolo vermelho amarelo (42,10% dos locais). Ao passo que, em neossolo quartzarênico (6,26% dos locais), houve menor participação.

Outro ponto positivo da *Desmanthus pernambucanus*, mencionado por Queiroz et al. (2023), é alta variabilidade genética entre as espécies, embora apresentem reprodução autógama (Luckow, 1993). A variabilidade genética, observada entre os acessos, permite a adaptação às mudanças ambientais (Daufresne, Renault, 2006), por isso é de suma importância a preservação de acessos *Desmanthus*, mediante bancos de germoplasma, tanto para conservação biológica, quanto para melhoramento genético vegetal.

As espécies de *Desmanthus* também se destacam em relação à persistência. Segundo Gardiner et al. (2012), o gênero *Desmanthus* está entre os melhores sobreviventes nas regiões Semiáridas de solo argiloso do norte da Austrália, o que ressalta a resistência em ambientes de baixa pluviosidade. Gardiner (2003) também observaram que vários acessos de *Desmanthus* demonstraram altas taxas de sobrevivência durante a seca de 2002, particularmente JCU-Kelso, JCU-R2 e JCU-W2, indicando seu potencial de adaptação em ambientes hostis, em comparação aos gêneros *Clitoria* e *Macroptilium*, em dois locais de regiões pastoris Semiáridas do norte de Queensland, com solos argilosos, na Austrália.

Gardiner et al. (2004) também confirmam que os acessos de *Desmanthus* demonstraram sobrevivência em ambientes hostis do oeste de Queensland, onde outros gêneros de leguminosas falharam. Testes realizados de 1989/90 a 2003 mostraram que o *Desmanthus* foi uma das poucas leguminosas que persistiram nessas condições desafiadoras.

A *Desmanthus* mantém crescimento mínimo durante a estação seca, em razão da diminuição da biomassa foliar de até 64%, sob condições de seca prolongada, inclusive pode apresentar a aparência de morta (Queiroz et al., 2021). Contudo, com aparecimento das chuvas, pode rebrotar novamente, o que indica resiliência dessa espécie (Medeiros et al., 2022).

Além da resistência à seca, Nufus et al. (2022) observaram que a *Desmanthus virgatus* não exibiu nenhum efeito na viabilidade da planta, sob estresse salino. Este resultado demonstra que as taxas de sobrevivência não são afetadas por níveis de salinidade de até 10000 ppm, com um nível de tolerância estabelecido em 2500 ppm.

Medeiros et al. (2022), por sua vez, observaram que as alturas da colheita não afetam a sobrevivência do *Desmanthus*. Em relação à sua produção, Calado et al. (2016), ao avaliarem características produtivas de cinco espécies de *Desmanthus* spp., sob duas formas de intensidades de corte (20 e 40 cm do solo), com frequência de corte de 60 dias no Semiárido de Pernambuco, verificaram que o genótipo 7G, sob intensidade de corte de 20 cm, obteve maior produção de forragem (1102,06 kg MS/ha).

Em relação à composição química do gênero *Desmanthus*, Medeiros et al. (2020) encontraram maiores concentrações de PB, com cerca de 260,7 g.kg⁻¹ MS, nas folhas, e 83,5 g.kg⁻¹ MS, nos ramos. Diniz et al. (2021) observaram concentrações de 235 e 118 g.kg⁻¹ de PB; 367 e 667 g.kg⁻¹ de fibra em detergente neutro (FDN); 166 e 468 g.kg⁻¹ de fibra em detergente ácido (FDA); 460 e 366 g.kg⁻¹ de digestibilidade *in vitro* da matéria seca para folhas e ramos, respectivamente, da jureminha 7G, colhida a cada 70 dias.

Costa (2024) observaram que, no fracionamento de PB da *Desmanthus pernambucanus*, apenas 90 g.kg⁻¹ de PB correspondem à fração C (parte indisponível), na medida em que avançou a idade da planta, por meio do maior intervalo de corte entre as colheitas (150 dias), na Zona da Mata de Pernambuco. Enquanto, Medeiros (2021), na mesma área experimental, com frequência de corte de 84 dias, encontrou concentrações de 170 g.kg⁻¹ PB%, representando apenas 17% da proteína indisponível. Essas concentrações são baixas, quando comparado a leguminosas arbóreas da Caatinga, com concentrações da fração C de 39,7; 40,0 e 58,1 %, de *Myracrodruon urundeuva*, *Mimosa tenuiflora* e *Spondias tuberosa*, respectivamente (Oliveira et al., 2020). Essas maiores concentrações, nas arbóreas, possivelmente, estão relacionadas a caules mais grossos, com maior proporção de fibras.

De modo semelhante, Medeiros (2021) observou baixas concentrações da fração C, no fracionamento dos carboidratos (CHOT), com valores de 21% e 20% de compostos indisponíveis, nesta ordem, nas épocas chuvosa e seca, bem como concentrações de 17% e 20%, da fração C nas frequências de corte de 90 e 150 dias, respectivamente. Essas concentrações

são consideradas baixas ao comparar com leguminosas arbóreas da Caatinga, cujas concentrações da fração C dos CHOT são de 49% da *Ziziphus joazeiro* e de 54 % da *Mimosa tenuiflora* e *Spondias tuberosa* (Oliveira et al., 2020).

2.2.2 *Clitoria ternatea* (L.)

A *Clitoria ternatea* (L.) é uma leguminosa conhecida popularmente, no Brasil, por Cunhã, mas também é chamada por fada azul, ervilha-borboleta, ervilha-azul e flor de concha (Sankar et al., 2024) (Figura 4). É uma espécie tropical, perene, herbácea, (Hanson, Ellis, 2020), com crescimento rasteiro e hábito volúvel (Cook et al., 2020), cujos ramos crescem entrelaçado, permitindo que ela se espalhe pelo solo ou suba em suportes, o que aumenta sua adaptabilidade a diferentes habitats (Sarma et al., 2023). A Cunhã exibe uma estrutura foliar composta, com 5-7 folíolos por folha, dispostos em uma formação pinada (Sarma et al., 2023). Essas folhas são ricas em alcalóides, saponinas, glicosídeos de antraquinona, terpenóides e flavonóide (Rampalli, Gopalkrishnan, 2022).

Sua característica mais marcante é a cor de suas flores, variando de azul a branca (Sankar et al., 2024). Essas flores são axilares, simples ou emparelhadas, zigomorfas (Aluri; Kunuku, 2021) e contêm órgãos reprodutivos masculinos e femininos, facilitando a autopolinização e aumentando o sucesso reprodutivo (Sarma et al., 2023). Suas flores abrem entre 7 e 8 horas da manhã, durante a época chuvosa, e entre 6 e 8 horas, durante o inverno e verão (Aluri; Kunuku, 2021). Mota (2022) observou que, na Zona da Mata Norte de Pernambuco, as flores da Cunhã são visitadas principalmente por abelhas e borboletas. A abelha *Trigona spinipes* (abelha -irapuã) destaca-se por apresentar maior dominância nas flores da Cunhã, em sistema de monocultivo e consórcio com capim elefante de porte baixo e alto, em toda época do ano.

Essa espécie vem se destacando entre as leguminosas forrageiras tropicais, em função da sua capacidade de adaptação aos diferentes climas (Abreu et al., 2014) e por apresentar boa persistência (Silva et al., 2023c). O referido autor observou na composição botânica, proporções de Cunhã, na forragem colhida a 20 cm, com intervalos de corte de 60 dias, variando de 7,4 a 28,2%, em consórcio com o genótipo de capim Elefante B; 6,3 a 31%, no consórcio com IRI-381; 6,8 a 36,6% e 7,9 a 42,8%, em consórcios com os capins elefantes de porte baixo, Mott e Taiwan A-146 2.37, respectivamente, na Zona da Mata Norte de Pernambuco, indicando boa persistência da leguminosa no consórcio. A Cunhã apresentou a maior proporção, no consórcio com o genótipo de porte baixo Taiwan A-146 2.37, devido a esse genótipo não formar touceiras tão densas e apresentar colmos mais finos.

Souza et al. (2017) observaram participação da Cunhã, na composição botânica, de 9,4 a 32,9 %, em pastos consorciados capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), sob nível de sombreamento artificial de 35 a 55%, respectivamente no sertão de Pernambuco (Petrolina), o que demonstra boa persistência, em uma região de clima mais seco. Teixeira et al. (2010) também destacam a persistência da Cunhã, na Zona da Mata Norte de Pernambuco, em Itambé, ao encontrar maior quantidade de plantas vivas por stand, em comparação a outras nove leguminosas, com 22 plantas vivas por m², com intensidade de corte de 5cm.

A Cunhã vem sendo cultivada em sistemas de produção, como em consórcio com capim elefante (Sales-Silva et al., 2023a; Silva et al., 2023c), devido também à sua capacidade de fixar nitrogênio. Camelo (2024) observaram fixação biológica de nitrogênio (100 kg de N ha.ano⁻¹) em monocultivo e quando consorciada com espécies de capim-elefante (18 kg de N ha.ano⁻¹) na Zona da Mata Norte de Pernambuco.



Figura 4. A) Aspecto geral da planta de *Clitoria ternatea* (L) e B) Flor da *Clitoria ternatea*, maio de 2022, Garanhuns.

A cunhã pode ser utilizada de diversas formas, como feno (Araújo et al., 2022); silagem (Lemos et al., 2021); pastejo rotativo, com curtos períodos de ocupação e épocas de descanso de 40 a 60 dias, o que garante a persistência e a produtividade da pastagem, mantendo o equilíbrio entre as espécies em sistemas de pastejo misto (Avalos et al., 2004). Além disso, atua

com a finalidade de banco de proteína; forragem verde; e fim medicinal, em razão dos seus aspectos farmacológicos e fitoquímicos (Sankar et al., 2024) e entre outras formas.

Essa leguminosa se desenvolve bem em grande variedade de solos e níveis de pH (Jamil et al., 2018). Ademais, possui tolerância moderada à seca, com base na diminuição do concentração relativa de água das folhas e do índice de estabilidade da membrana celular, além do aumento de prolina em seus tecidos (Shaaban et al., 2023). A Cunhã também é uma leguminosa bem produtiva como demonstra Camelo (2024), que observou produção de matéria seca de 4,9 Mg.MS.ha⁻¹.ano⁻¹, sob corte a 20cm.

Segundo Silva Neto et al. (2023), a Cunhã manejada, com frequências de colheita de 60 e 90 dias, Zona da Mata Norte de Pernambuco, produziu 3,1 e 4,2 Mg.MS.ha⁻¹, em 270 dias, nas frequências de 60 e 90 dias, respectivamente. Mistura et al. (2011) alcançaram produção de biomassa 4,1 Mg.MS.ha⁻¹.ano, a partir do corte da Cunhã a cada 45 dias. Enquanto Umami et al. (2022), observaram produção de matéria seca de 5,46 Mg.MS.ha⁻¹.ano⁻¹, com frequência de corte 65 dias, sob adubação de 160 kg/ha de NPK. Nicodemo et al. (2015) indicam melhores desempenhos agronômicos da Cunhã quando cultivada, sob pleno sol, comparada ao cultivo, sob a sombra da *Eucalyptus grandis*, plantado há oito anos em espaçamento de 3m x 2m, com taxas de acúmulo de 19,9 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ (sol) e 1,9 kg.ha⁻¹.dia⁻¹ (sombra).

Quanto ao valor nutritivo, Lemos et al. (2021) observaram concentrações de PB de 162 g.kg⁻¹ na Cunhã manejada, sob frequência de corte de 60 dias a 20 cm. Teixeira et al. (2010), avaliando os aspectos agronômicos e bromatológicos de leguminosas tropicais sob frequência de corte, com média de 100 dias, constataram maior concentração de PB das folhas da Cunhã (270 g.kg⁻¹), comparada a outras seis espécies de leguminosas. Enquanto Nicodemo et al. (2015) encontraram concentrações de PB de 256 a 141 g.kg⁻¹ na MS da Cunhã, em pleno sol, e de 194 a 162 g.kg⁻¹ de MS à sombra, com frequência de corte a cada 60 dias. Em relação às concentrações de FDN e digestibilidade *in vitro* da matéria seca, Sosa-Montes et al. (2020) encontraram, com 30 dias de idade, concentrações de 46,5 e 68,9 g.kg⁻¹ MS, respectivamente.

Em relação à disponibilidade de carboidratos, Sales-Silva et al. (2023b) observaram que a Cunhã possui mais fração B2, tanto nas folhas (460 g.kg⁻¹ CHOT) quanto nos caules (538 g.kg⁻¹ CHOT), comparado às demais frações. A fração A+B1 representa 373 e 196 g.kg⁻¹ CHOT; e a fração C, 163 e 266 g.kg⁻¹ CHOT, nas folhas e nos caules, respectivamente. Santos et al. (2017) também encontram maior concentração da fração B2 na Cunhã com concentração de 676 g.kg⁻¹ CHOT, enquanto as frações A+B1 e B2 foram de 247 e 77 g.kg⁻¹ CHOT, respectivamente. Essa baixa fração C da Cunhã, quando comparada com leguminosas arbóreas (Oliveira et al., 2020), pode estar relacionado aos caules finos devido ao porte herbáceo.

A presença de maior fração B2 dos CHOT na Cunhã, encontrados por Sales-Silva et al. (2023b) e Silva et al. (2017), é vantajosa tanto para a planta quanto para a nutrição animal. Para a planta, a maior concentração de celulose e hemicelulose é adicionado na parede celular mais estruturada e funcional, contribuindo para a resistência mecânica; a tolerância a estresses abióticos, como seca e variações de temperatura; e a manutenção da integridade celular, o que pode favorecer o crescimento e a longevidade (Guan et al., 2024).

Enquanto, na nutrição animal, essa fração é essencial, pois fornece energia de forma mais equilibrada ao longo do tempo, já que favorece a estabilidade ruminal e melhora a eficiência alimentar, por maximizar o crescimento microbiano, principalmente, de micro-organismos que utilizam carboidratos fibrosos (Muniz et al., 2011). Nas análises de produção de gás da Cunhã, Silva et al. (2017) confirmam essa estabilidade ruminal, com pH final da incubação igual a 7,0.

Sales-Silva et al. (2023b) encontraram, no fracionamento de PB das folhas da Cunhã, maior proporção das frações B1+B2, com concentrações de 551 e 524 g.kg⁻¹ PB, nas frequências de corte de 60 e 90 dias. No entanto, encontraram menos concentrações da fração C, com concentrações 66 e 57 g.kg⁻¹ PB, nas mesmas frequências de corte. Essas concentrações são inferiores a 10%, quando comparada a leguminosas arbóreas (Oliveira et al., 2020). O fracionamento de proteína do caule também apresentou resultados semelhantes, com concentrações de 267; 467; 170; e 96 g.kg⁻¹ PB, para as frações A, B1+B2, B3 e C.

As baixas concentrações da fração B3 e C, encontrado por Sales-Silva et al. (2023b), pode estar associado à menor concentração de proteína insolúvel em detergente neutro e ácido, nessas espécies, conforme observado por Santos et al. (2017), os quais encontraram resultados muito semelhantes, com concentrações de 293; 440; 120; e 146 kg⁻¹ PB, para as frações A, B1+B2, B3 e C, respectivamente.

As altas concentrações das frações A (nitrogênio não-proteico) da PB, encontrado por Santos et al. (2017) e Sales-Silva et al. (2023b), acima de 26%, indicam a possibilidade de utilização da Cunhã como fonte de N prontamente disponível para utilização pelos microrganismos do rúmen. No entanto, essa alta concentração dessa fração, aliado às concentrações mais elevadas da fração B1+B2 (rápida e média degradação ruminal), acima de 40%, também encontrados por aqueles autores, ressalta não haver adequada associação entre a deposição de nitrogênio nas frações A e a deposição de carboidratos nas frações A+B1, tendo em vista que os valores são baixos (24 e 37%). Assim, faz-se necessária a adequação da disponibilidade de energia, uma fonte de carboidratos prontamente disponíveis (fração A+B1 dos carboidratos) quando da utilização desta forrageira na alimentação de ruminantes. Uma

alternativa é a inclusão com palma forrageira, em razão desta ser rica em carboidratos não fibrosos (Pessoa et al., 2024).

Santos et al. (2017) reportam que a alta concentração da fração B2 dos CHOT da Cunhã (675,6 g.kg⁻¹ MS) resultou em maior produção de gás *in vitro* em comparação com as leguminosas arbóreas: Gliricídia (507,3 g.kg⁻¹ MS) e Leucena (595,1 g.kg⁻¹ MS), e, por conseguinte, houve maior produção de metano pela Cunhã (20 mL.g⁻¹MO), em relação à Gliricídia (15,6 mL.g⁻¹MO) e à Leucena (14,5 mL.g⁻¹MO). A taxa de degradação da celulose e da hemicelulose é mais lenta do que dos carboidratos não estruturais, portanto produz mais metano por unidade de substrato digerido (McAllister et al., 1996; Valenciana et al., 2009).

Nesse contexto, Soltan et al. (2012), ao avaliarem a fermentação ruminal e a emissão de metano em leguminosas forrageiras, algaroba (*Prosopis juliflora*), acácia (*Acacia saligna*), atriplex (*Atriplex halimus*), e leucena (*Leucaena leucocephala*), em comparação ao feno de Tifton (*Cynodon* sp.), sugerem que a baixa degradabilidade da matéria orgânica e a elevada produção de metano poderiam estar relacionadas à concentração e à qualidade da fibra. Nesse sentido, Garrido et al. (2021) demonstraram que, ao incorporar 40% de Cunhã na silagem de capim-rei CT-115 (*Pennisetum purpureum* Schumacher), o qual possui grandes concentrações de FDN, resultou na redução de 27% das emissões de metano durante a fermentação *in vitro*, e verificaram também redução linear da fibra em detergente neutro, de 66,15 % a 59,26%, o que proporciona subsídio para a hipótese que a emissão de metano está relacionada também à concentração e à qualidade da fibra.

2.3 Sistemas consorciados

O consórcio entre culturas agrícolas é considerado uma prática agroecológica, em que consiste na implantação de duas ou mais culturas na mesma área de cultivo simultaneamente (Yin et al. 2020; Pierre et al., 2022). Por meio desta prática, a maioria das combinações de plantas forrageiras ou agrícolas, quando bem manejadas, permitem maiores retornos produtivos, resultando em maior eficiência na utilização dos recursos naturais, como água, luz, e nutrientes, em escala temporal e espacial, quando comparados ao cultivo isolado das espécies (Jardim et al., 2021a; Jiao et al., 2021).

Em sistemas consorciados, é importante levar em consideração que há competição entre as plantas por recursos naturais, seleção de espécies complementares, planejamento do arranjo de cultivo, espaçamento e densidade populacional. Esses aspectos asseguram a continuidade da

cultura no sistema produtivo e possibilitam que ela alcance seu potencial máximo de produção (Oliveira Filho et al., 2016; Da Silva Salvador et al., 2021).

Em locais onde a disponibilidade de água é um fator limitante na produção agrícola, assim como o Semiárido, é necessário produzir e entender como as culturas respondem ao consórcio com relação ao uso de água. Dessa forma, estudos sobre o consórcio da palma forrageira com outras espécies forrageiras estão avançando no Semiárido brasileiro (Souza et al., 2019). O consórcio de palma forrageira e sorgo tem sido objeto de diversos estudos (Diniz et al., 2017; Lima et al., 2018; Jardim et al., 2021c; Alves et al., 2022a; Silva et al., 2023d; Silva et al., 2024), em que se destaca o impacto dessa configuração no aumento da produção de matéria seca por unidade de área.

Uma das vantagens dos sistemas consorciados é poder de reduzir a demanda de água devido à melhor eficiência no uso de água pelas culturas (Rahman et al., 2017; Ren et al., 2019). O consórcio palma-leguminosas, por exemplo, promove a complementaridade hídrica no sistema de cultivo, pois o metabolismo fotossintético da palma forrageira favorece as trocas gasosas à noite a depender da localidade, enquanto, nas leguminosas, as trocas gasosas ocorrem durante o dia. Essa configuração reduz a perda de água para a atmosfera a depender do local.

A maior eficiência do uso de água pelas culturas reduz a utilização de água via irrigação, recurso limitante quando se trata de água doce em regiões Semiáridas. Silva et al. (2024) constataram que o sistema de consórcio palma Orelha de Elefante Mexicana-Sorgo 467 aumentou 177% a produtividade hídrica do sistema de produção; 167% a produtividade hídrica da cultura; e 4 % eficiência do uso de água no Sertão Pernambucano. O consórcio de gramíneas com leguminosas também pode reduzir a demanda de água, conforme observado por Raza et al. (2021), que mostraram que, em sistemas consorciados de milho e soja, pode economizar 35% de água.

Outra vantagem é a eficiência do uso de nutrientes (Raza et al., 2020; Raza et al., 2021). As leguminosas enriquecem o solo com N (Camelo et al., 2021), este nutriente é essencial para o crescimento das plantas, uma vez que estimula divisão celular (Subedi et al., 2023). Isso beneficia tanto as leguminosas quanto os cactos, com incremento da produtividade das culturas (Raza et al., 2021).

Além do N, existem muitas cepas de diferentes gêneros que promovem a solubilização de fosfato, entre as quais as cepas dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* são as mais potentes solubilizadoras de fosfato. Essa solubilização envolve principalmente a produção de ácidos orgânicos, que é o principal mecanismo de solubilização (Krishnaprabu et al., 2020).

Essa melhoria na disponibilidade de nutrientes promove maior crescimento e desenvolvimento das plantas forrageiras, aumentando a quantidade de alimento disponível para os animais.

A diversificação da produção é uma característica marcante dos sistemas consorciados (Da Silva Salvador et al., 2021). Ao combinar diferentes espécies vegetais, o agricultor pode colher uma variedade de produtos, desde a produção de forragem para alimentação animal até a obtenção de grãos e sementes das leguminosas. Além disso, os sistemas consorciados promovem uma maior cobertura do solo. As leguminosas, com seu sistema radicular mais profundo (Salvador et al., 2024), protegem o solo propiciando melhorias nas propriedades químicas, físicas e biológicas, contribuindo com a diminuição da necessidade de adubação química.

O consórcio pode aumentar também a PMS, conforme observado por Jardim et al (2021b), que observaram PMS média de 221,73 Mg.ha⁻¹, 150,82 Mg.ha⁻¹ e 145,92 Mg.ha⁻¹, para palma forrageira consorciada com sorgo, palma em monocultura e sorgo em monocultura, respectivamente, no segundo ciclo de produção, no sertão Pernambucano. O experimento foi irrigado com base na evapotranspiração das culturas, tendo densidade de plantio da palma e sorgo de 50.000 e 200.000 plantas.ha⁻¹, respectivamente.

No aspecto nutricional, o consórcio de palma-leguminosas pode reduzir a necessidade de suplementação alimentar do gado, uma vez que as leguminosas suprem as necessidades de fibra e proteínas da palma. Quando bem manejado, a cultura pode não comprometer o valor nutricional da outra, conforme observado por Jardim et al. (2021b), em que não houve efeito do consórcio sobre a qualidade de forragem, tanto para palma forrageira quanto para espécies de sorgo, com exceção da matéria seca do sorgo '2502', que foi maior quando consorciado com a palma Orelha de Elefante Mexicana (41,91%), no sertão de Pernambuco, sob condições de irrigação e com estabelecimento desta de dois anos.

A conservação da biodiversidade também é favorecida nos sistemas consorciados. A combinação de diferentes plantas promove a diversificação do habitat, fornecendo abrigo para os micro-organismos do solo, insetos polinizadores e outros animais. Em um estudo realizado por Jiao et al. (2021) sobre o consórcio entre milho e amendoim, observou-se incremento na disponibilidade de nutrientes, como ferro e N, no solo. Segundo esses autores, esse aumento foi atribuído à maior diversidade microbiológica nos sistemas de cultivo consorciado, o que favorece processos, como a reciclagem de nutrientes.

Além disso, a diversidade de plantas no consórcio pode diminuir a incidência de pragas e doenças (Martin-Guay et al., 2018), devido à maior diversidade de espécies por área, contribuindo para redução do uso de agrotóxicos. Os sistemas consorciados também têm

aspectos positivos na redução da pegada de carbono, em razão da presença de maior quantidade de biomassa vegetal, aumentando o sequestro de carbono atmosférico no solo e ajudando a mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

Almeida (2011), objetivando caracterizar o sistema de produção e utilização da palma forrageira na região semiárida do Estado da Bahia, em 130 municípios, observaram que a realização de consórcio com a palma forrageira é praticada por 61% dos produtores no semiárido baiano, sendo mais utilizado com feijão e milho. Segundo Farias et al. (2005), além da produção direta de alimentos para a população humana, especialmente os grãos, é fundamental considerar o aproveitamento dos restolhos das culturas na alimentação animal. Essa prática é particularmente relevante nos sistemas produtivos do semiárido, onde o agricultor, em geral, também exerce a atividade de criador.

Em relação ao espaçamento entre as culturas, Albuquerque e Rao (1997) avaliaram diferentes espaçamentos de plantio de palma associados ou não a culturas intercalares, como feijão-de-corda [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.), concluindo que o espaçamento mais recomendado para o consórcio foi de 3,0 x 1,0 x 0,5 m, pois facilita a mecanização. Além disso, esse espaçamento também pode contribuir para reduzir os riscos de incêndio no palmal e controlar a erosão em áreas de cultura (Farias et al., 2005).

2.3.1 Alterações das características do solo em sistemas consorciados

Camelo et al. (2021), avaliando o efeito da consorciação de leguminosas arbóreas com palma forrageira sobre a biomassa microbiana do solo no Agreste Pernambucano, observaram maior concentração de nitrogênio da biomassa bacteriana, na época chuvosa, em sistemas consorciados de Leucena (40,52 g.kg⁻¹ solo) e Gliricídia (54,03 g.kg⁻¹ solo) com palma IPA-Sertânia, em relação ao monocultivo da palma (11,18 g.kg⁻¹ solo), em sistema instalado há 7 anos, sob condição de sequeiro. Além disso foi observado que, à medida que se distancia da copa das árvores, essa concentração foi reduzida em torno de 40% para a profundidade de 0-10 cm e 34% na profundidade 10-20 cm.

Yadav et al. (2011) também identificaram maiores valores de nitrogênio da biomassa bacteriana em solos cultivados com leguminosas em ambiente Semiárido, *Prosopis cineraria* (42,4 g.kg⁻¹ solo), *Acacia leucophloea* (Roxb.) (32,8 g.kg⁻¹ solo), *Dalbergia sissoo* (Roxb.) (35,8 g.kg⁻¹ solo) e *Acacia nilótica* (L) (32,1 g.kg⁻¹ solo), em comparação a um tratamento controle (sem árvores) (23,2 g.kg⁻¹ solo), melhorando a atividade microbiana sob condição de irrigação. Camelo et al. (2022) observaram que os sistemas agroflorestais de Gliricídia + Palma

IPA Sertânia foram capazes de armazenar $3,2 \text{ Mg N.ha}^{-1}$, enquanto o Sistema Agroflorestal (SAF) Leucena + Palma armazenou $3,1 \text{ Mg N.ha}^{-1}$. Além disso, observaram maior acúmulo de N ($1,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) na camada de 0,10-0,20cm, comparado à camada de 0 a 0,10cm ($1,3 \text{ Mg N ha}^{-1}$). Esse maior armazenamento, na camada de 0,10 a 0,20, pode ser atribuído ao maior desenvolvimento das raízes das leguminosas arbóreas e às chuvas que ocorrem durante o período experimental que podem favorecer a lixiviação desse nutriente para a camada subterrânea.

Além disso, os autores observaram que não houve diferença entre as distâncias de 0m e 4,5m das árvores em relação à palma para os estoques de N nessas camadas. Na camada de 0-0,10cm, o estoque de N variou de $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ (0 m) a $1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ (4,5 m). Essa semelhança entre as distâncias pode ser atribuída tanto à perenidade da palma forrageira, quanto à dinâmica de crescimento e exsudação de seu sistema radicular (Bautista-Cruz et al., 2018).

Saraiva et al. (2022) observaram que SAF Gliricídia + Palma foram capazes de armazenar $51,9 \text{ Mg C.ha}^{-1}$, enquanto SAF Leucena + Palma armazenaram $50,5 \text{ Mg C.ha}^{-1}$. Camelo et al. (2022), por sua vez, observaram nessa mesma área de consórcio maior acúmulo de C ($36,6 \text{ Mg ha}^{-1}$), na camada de 0,10-0,20m, comparada à camada de 0 a 0,10 ($15,0 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Esse maior armazenamento de C, na camada de 0,10 a 0,20, pode ser atribuído também ao maior desenvolvimento das raízes das leguminosas arbóreas e às chuvas que ocorrem durante o período experimental.

Camelo et al. (2021), em estudos anteriores na mesma área experimental, observaram maior enriquecimento de Carbono orgânico total na camada de 0,10 a 0,20 m ($23,3 \text{ g kg}^{-1}$), em relação à camada de 0 a 0,10 m ($9,6 \text{ g kg}^{-1}$), durante a estação chuvosa, indicando que o C do solo é susceptível de lixiviar durante a maior precipitação e de ficar preso na camada subsuperficial (0,10-0,20 m). Além disso, o solo sombreado retém a umidade por um período mais prolongado e estimula a atividade microbiana, que mineraliza C e N, contidos na matéria orgânica do solo, por meio da decomposição (Liu et al., 2019). Caso as árvores não cobrissem a palma, os estoques de C poderiam ser diferentes. Bariagabre et al. (2016) constataram que o C orgânico, N total, P disponível, umidade do solo, conteúdos de bactérias e fungos foram positivos e significativamente influenciados pela cobertura do dossel da palma forrageira em comparação com as áreas abertas adjacentes. A maior concentração de nutrientes sob a copa da palma forrageira também foi positivamente associada à abundância de bactérias e fungos do solo que facilitaram a decomposição de materiais orgânicos.

Adicionalmente, Bariagabre et al. (2016) verificaram que o carbono orgânico total do solo (COT) geralmente mostrou tendência de declínio da cobertura do dossel da palma

forrageira para áreas abertas adjacentes. Resultado semelhante aos encontrados por Neffar et al. (2013) e Nefzaouie et al. (2014), que relataram aumento de 20 a 40% no COT, sob a cobertura do dossel da palma forrageira, em comparação com áreas abertas adjacentes. A diferença da concentração de C do solo entre a cobertura do dossel da palma forrageira e as áreas abertas pode ser devido ao fato de que as plantas de palma forrageira têm a capacidade de capturar efetivamente materiais finos do solo e detritos vegetais de terras desprotegidas próximas e de depositá-los sob seu dossel. Além disso, o aumento na concentração de COT, sob a copa da palma forrageira, pode ser atribuído a vários outros processos, como acúmulo de serapilheira, deposição e posterior estabilização de partículas de solo, transportadas pelo vento e pela água, sob a copa da palma forrageira.

Cavalcante et al. (2020) observaram que a quantidade de P presente no solo demonstrou ser consistentemente menor nas aproximações das fileiras duplas das leguminosas, em comparação com os pontos de coleta localizados junto às palmas forrageiras. É amplamente reconhecido que a presença de árvores contribui para o enriquecimento do solo por meio da deposição de serapilheira (Herrera et al., 2020). Além disso, as raízes das árvores têm a capacidade de alcançar locais mais profundos do solo, garantindo a recuperação de nutrientes que foram lixiviados. Contudo, é interessante notar que a menor disponibilidade de P entre as leguminosas pode estar relacionada à demanda por P requeridas por parte das leguminosas para sustentar suas atividades de desenvolvimento e FBN (Silva et al., 2019).

2.3.2 Aspectos morfológicos e produtivos das plantas em sistemas consorciados

O sombreamento dos cladódios da palma forrageira, quando consorciada com leguminosas arbóreas, pode influenciar a interceptação da luz e a eficiência fotossintética, comprometendo o desenvolvimento e a produtividade. Saraiva et al. (2022) observaram que o peso dos cladódios primários da palma, no consórcio com Gliricídia (0,64 kg) e Leucena (0,60 kg), foram mais leves que o peso do cladódio em monocultivo (0,69 kg), nos dois anos de avaliações, no Agreste pernambucano. Além disso, os cladódios secundários da palma, no consórcio com Gliricídia (0,52 kg), foram mais leves que o peso do cladódio da palma em monocultivo (0,55 kg).

Em relação à produção, Peixoto et al. (2018) encontraram redução na PMS da palma gigante em consórcio com o Cajá (*Spondias mombin*) (5,38 t.ha⁻¹), comparado ao monocultivo da palma (9,0 t.ha⁻¹), no primeiro ano de cultivo sob condição de sequeiro, e a palma cultivada em espaçamento de 1 x 0,5 m. Ao avaliar o crescimento e a produtividade de espécies de palma

forrageira Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Baiana, em três sistemas de cultivo, monocultivo, consorciado com Algaroba e Sabiá, após dois anos de cultivo. Lira et al. (2022) também observaram que a palma consorciada com Sabiá apresentou menor peso do cladódio, PMS e capacidade de suporte inferior à palma forrageira em monocultivo, independentemente do genótipo. Esses resultados sugerem que as espécies madeireiras nos experimentos testados inibiram a produtividade da palma forrageira, não sendo recomendado o consórcio devido ao sombreamento excessivo.

Nesse sentido, Santos Neto et al. (2022) investigaram o efeito de diferentes níveis de sombreamento (18%, 30% e 46%), proporcionados por plantas da Caatinga, bem como a posição de plantio da palma forrageira (leste, central e oeste em relação às árvores), sobre aspectos morfológicos e produtivos das espécies Miúda e Orelha de Elefante Mexicana. Observou-se que após dois anos, as plantas sob 46% de sombreamento apresentaram menor PMS quando cultivadas na posição central da copa das árvores, em espaçamento de 1,5 x 0,20 m. As produções foram de 12, 10 e 7 Mg.ha⁻¹, para os níveis de sombreamento de 18%, 30% e 46%, respectivamente. Além disso, os autores observaram que, independentemente da posição de plantio, leste, central e oeste, a Orelha de Elefante Mexicana sempre apresentou maior altura de planta (88 cm), nas três posições que a Miúda, com altura de plantas de 56, 80 e 48 cm, nas posições leste, central e oeste, respectivamente.

No entanto, quando bem manejado, o consórcio de palma-leguminosas pode melhorar os sistemas de produção. Saraiva et al. (2022) observaram que a palma consorciada com Gliricídia e adubada com esterco bovino, visando fornecer 200 kg de N.ha⁻¹, apresentou maior PMS (21,7 t MS ha⁻¹ ano⁻¹), em relação ao monocultivo (15,4 t MS ha⁻¹ ano⁻¹). Também foi observado que a produção e as características morfológicas (área, comprimento, espessura, largura, perímetro e número) dos cladódios primários e secundários aumentaram à medida que a palma forrageira se distanciava mais das árvores até 3m. Quando ultrapassava tal distância, a produção e a morfologia das palmas diminuíram.

Santos et al. (2018), avaliando efeito do espaçamento e adubação orgânica, sobre o crescimento e a produtividade da palma forrageira, em sistema de cultivo de aléias, com Gliricídia, observaram que somando-se a forragem produzida pela Gliricídia mais a biomassa produzida da palma forrageira, o sistema de cultivo em aléias, produziu anualmente, em média 7,3 t MS ha⁻¹.

Miranda et al. (2019) observaram que a palma forrageira que cresce perto de leguminosas arbóreas (Gliricídia e Leucena) produziu maior biomassa do que a palma que cresce longe das árvores, provavelmente devido ao maior aporte de nitrogênio no sistema. Este

nutriente favorece a emissão de cladódios da palma por estimular a divisão celular (Taiz, Zaiger, 2016).

Em sistemas de consórcio de palma com gramíneas, Jardim et al. (2021b) encontraram PMS de 5,12 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, para Orelha de Elefante Mexicana, em relação a outras variedades, com PMS de 3,41 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, para Miúda; e 1,32 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ do IPA Sertânia em consórcios com espécies de sorgos de dupla aptidão, no Sertão pernambucano, sob condição de irrigação, durante o primeiro ciclo (1 ano). Com esse mesmo tipo de sistema, Diniz et al. (2017) não observaram diferenças na palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em monocultivo (4627,0 kg.ha⁻¹) e consorciada com sorgo SF-15 (3573,0 kg.ha⁻¹), no Sertão de Pernambuco, em sistema de irrigação, sob espaçamento de 1,6 x 0,4m (15.625 plantas ha⁻¹), após um ano de cultivo da palma. Além disso, estes autores observaram maior PMS do sistema (Palma + Milho), com 12.130,0 kg.ha⁻¹.

Os sistemas consorciados também proporcionam benefícios para leguminosas, como destaca Rhaman et al. (2017), que observaram maior rendimento de grãos de soja quando consorciada com milho, na configuração de espaçamento de 20:140 cm e 20:180 cm. Raza et al. (2021), objetivando avaliar o efeito de dois padrões de plantio, intercalando faixas de milho e soja (duas fileiras de milho intercaladas com duas fileiras de soja (2M2S) ou três fileiras de soja (2M3S) durante três anos na região Semiárida do Paquistão, observaram que faixas mais largas de soja cultivadas como 2M3S aumentaram em 15% o acúmulo total de matéria seca e em 21% o rendimento de grãos, em relação às faixas 2M2S, mais estreitas. Isso provavelmente está relacionado aos efeitos reduzidos do sombreamento do milho na soja.

Farias et al. (2000) observaram maiores produções de grãos (1,97 t/ha/ano) e de matéria seca (3,15 t/ha/ano) de restolhos por unidade de área, quando o sorgo foi consorciado com palma cultivada, no espaçamento de 7,0 m x 1,0 m x 0,50 m, no Agreste de Pernambuco, São Bento do Una. Todavia, a menor produção de grão de sorgo de 1,33 t/ha/ano, obtida no espaçamento 3,0 m x 1,0 m x 0,50 m e a não diferença na PMS de restolhos de sorgo entre os espaçamentos de palma 2,0 m x 1,0 m e 3,0 m x 1,0 m x 0,50 m, sugere que este último espaçamento seja menos indicado para um sistema de consórcio palma forrageira x sorgo, em comparação a outros dois espaçamentos utilizados. Como a população de sorgo foi idêntica, nos três espaçamentos da palma, a menor produção de sorgo, no espaçamento 3,0 m x 1,0 m x 0,50 m, foi provavelmente decorrente do maior número de plantas de palma por unidade de área. Nessas condições, houve maior competição interespecífica da palma sobre o sorgo. Essa afirmação vai de encontro à relatada por Albuquerque e Rao (1997) que indicam o espaçamento 3,0 m x 1,0 m x 0,50 m, para o consórcio de palma-sorgo, no sertão pernambucano, Petrolina.

Lins et al. (2020), objetivando avaliar os efeitos da população de plantas de amendoim (*Arachis hypogaea* L. cv. BR 1), consorciado com a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* cv. Gigante), sobre o desenvolvimento do amendoim no Agreste de Pernambuco, em Garanhuns, observaram-se resultados semelhantes entre os sistemas. Não houve diferenças significativas nos valores de índice de emergência, taxa de emergência, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e comprimento da raiz. As médias observadas para as plantas de amendoim em consórcio foram, respectivamente: 11,61; 82,85%; 16,18 cm; 5,73 g; 0,68 g e 12,69 cm. Para as plantas em monocultivo, os valores médios foram de 11,96; 82,51%; 17,96 cm; 7,02 g; 0,66 g e 12,52 cm, respectivamente. Além disso, observaram maior comprimento da parte aérea das plantas de amendoim em consórcio com média de 16,18 cm, em relação às plantas em monocultivo com 10,01 cm. A palma foi plantada sob espaçamento de 2 x 0,5 m, e o amendoim foi plantado em uma, duas e três linhas entre a palma. Foi empregado inoculante com estirpe de *Bradyrhizobium* comercial mais resíduo lácteo industrial em todos os tratamentos.

2.3.3 Valor nutricional de plantas em sistemas consorciados

Peixoto et al. (2018) não observaram diferenças para as concentrações de proteína bruta, extrato etéreo, CHOT, fibra em detergente ácido e lignina, com concentrações médias de 45,9; 13,1; 813,6; 191,4 e 30,8 g.kg⁻¹ MS, respectivamente, na palma gigante em consórcio com Cajá (*Spondias mombin*), em comparação com a palma em monocultivo, com concentrações médias de 48,9; 12,2; 798,5; 182,7 e 28,4 g.kg⁻¹ MS, respectivamente. No entanto, observaram-se menores concentrações de matéria mineral para palma em monocultivo (142,3 g.kg⁻¹ MS), comparada à palma consorciada (152,2 g.kg⁻¹ MS).

Farias et al. (2000) também observaram pouco efeito na composição química da palma em consórcio com sorgo no Agreste de Pernambuco, São Bento do Una, com alteração apenas para a concentração de matéria seca, com maior concentração no espaçamento de 2 x 1,0 m, com matéria seca de 10,1 g.kg MN⁻¹, nos tratamentos com espaçamentos de 3 x 1 x 0,5 (9,4 g.kg MN⁻¹) e 7 x 1 x 0,5 (9,4 g.kg MN⁻¹). No entanto, não observaram diferenças em concentrações de proteína bruta, fibra bruta e celulose, respectivamente, de 4,5; 10,9 e 13,8 g.kg MS⁻¹, para a palma, nesta ordem, no espaçamento 2 x 1,0m, 4,5; 11,3 e 14,2 g.kg MS⁻¹, para a palma no espaçamento 3 x 1 x 0,5m e 4,8; 10,5 e 13,8 g.kg MS⁻¹, respectivamente, para a palma no espaçamento 7 x 1 x 0,5m. Além disso também não foi observado diferenças na composição química do sorgo, nesse consórcio, com concentrações de matéria seca, proteína bruta, fibra bruta e celulose de 34,8; 5,0; 25,7 e 31,8 respectivamente, para o sorgo plantado no

sistema de espaçamento da palma de 2 x 1,0m, 35,0; 4,9; 27,1 e 32,6 g.kg MS⁻¹, respectivamente, para o sorgo, no sistema de 3 x 1 x 0,5m, e 34,7; 4,8; 24,7 e 32,4 g.kg MS⁻¹, respectivamente, para o sorgo, no sistema 7 x 1 x 0,5m.

Em relação à composição mineral, Saraiva et al. (2021) observaram que a monocultura de palma acumulou menos nitrogênio em 256 dias de experimento, em relação aos tratamentos consorciados com Gliricídia e Leucena, indicando que a presença de leguminosas arbóreas favoreceu o acúmulo de nitrogênio na palma. Grünwaldt et al. (2018) também observaram maior concentração de nitrogênio nos cladódios da palma *Opuntia ellisiana*, cultivada em consórcio com algarobeira, após um ano do plantio da palma, sob condição de sequeiro, em que todos os cladódios, com exceção da mãe foram cortados e analisados.

Em sistemas consorciados de palma forrageira com leguminosas, Miranda et al. (2019) observaram que a concentração de fósforo da palma forrageira, em monocultivo (3,45 g.kg⁻¹), não apresentou diferenças da palma em consórcio com a Gliricídia (3,80 g.kg⁻¹) e com Leucena (2,79 g.kg⁻¹). No entanto, a palma consorciada com Gliricídia apresentou maior concentração de fósforo que a leucena, provavelmente devido à menor deposição e ao aporte desse nutriente da serapilheira pela leucena.

Além disso, observaram maior concentração de potássio nos cladódios da palma em monocultivo (30,56 g.kg⁻¹) e em consórcio com Gliricídia (29,02 g.kg⁻¹), em comparação com o consórcio com Leucena (23,55 g.kg⁻¹). A maior concentração de fósforo para a palma em monocultivo foi atribuído à maior competição da Leucena por fósforo, e nos cladódios da palma no consórcio com a Gliricídia, provavelmente devido às maiores concentrações desse nutriente na parte superior dessa leguminosa, visto que as folhas da Gliricídia são maiores e mais largas (Saraiva et al., 2022), contribuindo com mais potássio na serapilheira e disponibilização.

Por outro lado, Saraiva et al. (2022) encontraram maior concentração de potássio na palma consorciada com leucena (1,84 g.kg⁻¹), comparado à palma consorciada com Gliricídia (1,45 g.kg⁻¹) quando adubada com esterco bovino na mesma área experimental, mostrando que adubação pode interferir na taxa de mineralização e na absorção de potássio pela palma.

Saraiva et al. (2021), em sistemas consorciados de palma IPA-Sertânia em consórcio com Gliricídia e Leucena, observaram maiores concentrações de N, P e K (0,91, 0,20 e 2,06 g kg⁻¹) próximo à copa das árvores (0 m), com redução desses nutrientes (0,80, 0,17 e 1,36 g kg⁻¹), ocorrendo em distâncias adicionais (4 m). De acordo com Miranda et al. (2018), a distância entre a leguminosa e a palma forrageira influenciou as concentrações de potássio e magnésio na palma. A concentração de potássio apresentou variação linear decrescente com o afastamento das leguminosas, sendo registrados valores de 30,10; 26,12; 25,28 e 23,59 g kg⁻¹

para as distâncias de 1, 2, 3 e 4 metros, respectivamente. Já as concentrações de magnésio variaram de 0,89; 0,70; 0,73 e 0,74 g kg⁻¹ para as mesmas distâncias.

Além da composição química básica, entender a complexidade dos processos fermentativos no rúmen exige uma caracterização detalhada dos componentes nutricionais especialmente dos carboidratos, principal fonte de energia para os ruminantes. O fracionamento de carboidratos, conforme proposto no sistema CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System), permite discriminar as frações com base na solubilidade e na taxa de fermentação (frações A+B1, B2 e C) (Sniffen et al., 1992). Essa abordagem é crucial para prever o comportamento fermentativo dos alimentos no rúmen, otimizar o sincronismo entre energia e nitrogênio, e melhorar a eficiência microbiana e o desempenho animal (Patidar et al., 2022).

Ainda não há dados na literatura sobre o fracionamento de carboidratos, produção de gás e digestibilidade *in vitro* da matéria seca da palma forrageira em consórcios com leguminosas. No entanto, Pessoa et al. (2024), ao analisarem o valor nutritivo de cladódios, jovens, intermediários e maduros da palma em monocultivo, observaram maior concentração da fração A+B1 e menores frações B2 e C para palma Miúda, em comparação à IPA Sertânia, com concentrações médias entre as três fenofases de 697,5; 264,2 e 37,9 g.kg⁻¹ CHOT, respectivamente, para palma Miúda; e de 575,6; 367,9 e 56,4 g.kg⁻¹ CHOT, respectivamente, para palma IPA Sertânia. Apesar dessa diferença no fracionamento de CHOT, não encontraram diferenças na produção de gás, com concentrações de 298,4 e 292,4 mL.g MS⁻¹, para as palmas Miúda e IPA Sertânia, respectivamente.

Em relação à Orelha de Elefante mexicana, Pessoa et al. (2020) observaram que essa variedade apresenta maior fração A+B1, nos cladódios jovens e intermediários, em comparação a outras variedades do gênero *Opuntia*, sendo elas, Palma Orelha de Elefante Africana, Gigante, IPA-20 e F-08, com concentrações de 819,1 e 793,6 g.kg⁻¹ de CHOT, para os cladódios jovens e intermediários. No entanto, nos cladódios maduros não houve diferenças entre as variedades, com concentrações médias entre elas de 557,2 g.kg⁻¹ CHOT. No entanto, apresentou menores frações B2 e C entre as variedades, com concentrações da Fração B2 de 125,9; 142,3 e 257,4 g.kg⁻¹ CHOT, para os cladódios, jovens, intermediários e maduros, respectivamente. Já a fração C, os resultados foram de 54,6; 64,1 e 116,5 g.kg⁻¹ CHOT para as fenofases mencionadas. Apesar das maiores concentrações dos carboidratos não fibrosos presente na Orelha de Elefante Mexicana, não houve diferenças na produção de gás total nas fenofases, com exceção da produção de gás dos estádios intermediários e maduros, que foram maiores para Orelha de Elefante Africana, com concentrações de 326,5 e 327,9 mL.g MS⁻¹, respectivamente.

Magalhães et al. (2021), diferentemente de Pessoa et al. (2020, 2024), compararam o fracionamento de carboidratos e a produção de gás entre as variedades Miúda e Orelha de Elefante Mexicana. Os autores relataram que a variedade Miúda apresentou maior proporção das frações A + B1 e menores concentrações das frações B2 e C, com valores médios de 866,9; 101,0 e 34,9 g.kg⁻¹ de CHOT, respectivamente. Já a Orelha de Elefante Mexicana apresentou concentrações de 795,4; 137,9 e 66,7 g.kg⁻¹ de CHOT para as mesmas frações.

As maiores concentrações de carboidratos não fibrosos e os menores concentrações de carboidratos fibrosos, presente na Miúda, proporcionaram maior produção de gás total para essa variedade com produção de 341,1 mL.g MS⁻¹, em comparação à Orelha de Elefante Mexicana com 297,7 mL.g MS⁻¹. No entanto, apesar dessas diferenças na produção de gás, não houve diferença na digestibilidade *in vitro* da matéria seca, com concentrações de 826,0 e 820,8 g.kg MS⁻¹, para Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente. Os referidos autores não fizeram as análises, separando o material por fenofases, mas todos os cladódios juntos.

Os ensaios de produção de gás e digestibilidade *in vitro* são ferramentas indispensáveis para avaliação da qualidade de ingredientes alimentares. A produção de gás está diretamente associada à fermentação de carboidratos e à geração de ácidos graxos voláteis (AGVs), sendo um indicador sensível do potencial fermentativo e da cinética de degradação dos substratos (Mahmoud et al., 2023). Já a digestibilidade *in vitro* da matéria seca fornece estimativas confiáveis do aproveitamento dos alimentos pelos ruminantes, contribuindo para a formulação de dietas mais precisas e eficientes (Ortiz, Veja, 2020).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABD-ALLA, M. H. et al. Enhancing rhizobium–legume symbiosis and reducing nitrogen fertilizer use are potential options for mitigating climate change. **Agriculture**, v. 13, n. 11, p. 2092, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112092>
- ABREU, M.L.C. et al. *Clitoria ternatea* L. as a potential high quality forage legume. **Asian Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 27, n. 2, p. 169-178, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13343>
- AHMED, S.N. et al. Classification, distribution and morphological characterization of *Opuntia* species. **Opuntia spp.: Chemistry, Bioactivity and Industrial Applications**, p. 109-119, 2021. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-78444-7_5
- ALBUQUERQUE, S.G.; RAO, M.R. Espaçamento da palma forrageira com sorgo e feijão-de-corda no Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 645-650, 1997.

ALLITO, B.B.; EWUSI-MENSAH, N; LOGAH, V. Legume-rhizobium strain specificity enhances nutrition and nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.). **Agronomy**, v. 10, n. 6, pp. 826, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060826>

ALMEIDA, J.R.C. **A palma forrageira na região semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia. 95f. 2011.

ALURI, J.S.R; KUNUKU, V.R. A study on pollination ecology of butterfly pea, *Clitoria ternatea* L. (Fabaceae). **Species**, v. 22, n. 69, p. 29-35, 2021.

ALVES, F.A.L.; SANTOS, D.C. Morphological and nutritional characterization of the cladodes of seven varieties of forage cactus of the genus *Opuntia* cultivated in Brazil. **South African Journal of Botany**, v. 169, p. 46-55, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.020>

ALVES, F.A.L; SANTOS, D.C. Morphological and nutritional characterization of the cladodes of seven varieties of forage cactus of the genus *Opuntia* cultivated in Brazil. **South African Journal of Botany**, v. 169, p. 46-55, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.020>

ALVES, H.K.M.N. et al. Integrated management of agronomic practices in the forage cactus: maximizing productivity, biological efficiency and economic profitability. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 24, 2022a. Doi: <https://doi.org/10.56890/jpacd.v24i.514>

ALVES, M.S. et al. Nutrient cycling of cover crops in an Amazonian ecosystem. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 5, 2022b. Doi: <https://doi.org/10.5539/jas.v14n5p41>

APOLINÁRIO, V.X.O. et al. Leguminosas exóticas. In: SANTOS, M.V.F.; NEIVA, J.N.M. **Culturas forrageiras no Brasil: Uso e perspectivas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. 263-284.

ARAÚJO JÚNIOR, G.N. et al. Productivity, bromatological composition and economic benefits of using irrigation in the forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, n.1, pp. 1-12, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200390>

ARAÚJO, C.A. et al. Influence of cactus pear cultivation density on the physicochemical characteristics of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 232, p. 105771, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105771>

ARAÚJO, E.J.B. et al. Nutritional value, feeding behavior, physiological parameters, and performance of crossbred Boer goat kids fed butterfly pea hay and cactus pear meal. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 20, n. 2, p. e0603-e0603, 2022. Doi: <https://doi.org/10.5424/sjar/2022202-18690>

AVALOS, J.F.V. et al. Agrotecnia y utilización de *Clitoria ternatea* en sistemas de producción de carne y leche. **Técnica Pecuaria en México**, v. 42, n. 1, p. 79-96, 2004.

BARIAGABRE, S.A. et al. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L.) a valuable crop for restoration of degraded soils in northern Ethiopia. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 6, n. 8, pp. 11-18, 2016.

BARROS, D. et al. Cashew Gum (*Anacardium occidentale*) Hydrogel for Sustainable Irrigation of Cactus Pear: Effects on growth, chemical composition, and mineral content. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 501, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/su17020501>

BAUTISTA-CRUZ, A. et al. Cultivation of *Opuntia ficus-indica* under different soil management practices: A possible sustainable agricultural system to promote soil carbon sequestration and increase soil microbial biomass and activity. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 1, pp. 38-46, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.2834>

BRAHMI, F. et al. Assessment of the chemical composition and antioxidant capacity of flowers, seeds, and seed cake of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) and Their Application in Biscuits. **Resources**, v. 13, n. 9, p. 124, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/resources13090124>

CALADO, T.B. et al. Morfologia e produtividade de espécies de jureminha (*Desmanthus* spp.) sob diferentes intensidades de corte. **Revista Caatinga**, v.29, n.3, p.742-752, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n326rc>

CAMELO, D. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in semi-arid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. In: **X International Congress on Cactus Pear and Cochineal: Cactus-the New Green Revolution in Drylands 1343**. 2022. pp. 103-108. Doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.14>

CAMELO, D. et al. Soil microbial activity and biomass in Semiarid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. **Agronomy**, v.11, n.8, pp. 1558, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081558>

CAMELO, D. **Serviços ecossistêmicos promovidos por diferentes sistemas de cultivo de *Clitoria ternatea* L. e *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 127f. 2024.

CARAM, N. et al. Optimum legume proportion for plant and animal production in a subtropical grassland. **Crop Science**, v. 65, n. 1, p. e21426, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1002/csc2.21426>

CARDOSO, D.B.; CARVALHO, F.F.R.; MEDEIROS, G.R.; GUIM, A.; CABRAL, A.M.D.; VÉRAS, R.M.L.; SANTOS, K.C.; DANTAS, L.C.N.; OLIVEIRA NASCIMENTO, A.G. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, pp. 23–31, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.10.016>

CARVALHO, C.B.M. et al. Methods of storing cactus pear genotypes for animal feeding. **African Journal of Range & Forage Science**, v.2020, p.1-7, 2020. Doi: <https://doi.org/10.2989/10220119.2020.1734084>

CAVALCANTE, N.C.L. **Sistemas agroflorestais de leguminosas arbóreas e palma forrageira sob adubação orgânica no Semiárido Tropical**. Recife-PE: UFRPE, 2020. 86p.

Tese (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Recife – PE, 2020.

COOK, B.G. et al. **Tropical Forages: An interactive selection tool**. 2nd and Revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya, 2020. Disponível em: <http://tropicalforages.info/text/entities/desmanthus pernambucanus.htm>. Acesso em: fev. 2025.

CORRAL-MARTÍNEZ, J.J; TORNES-OLMEDO, J.N; VALADEZ-MOCTEZUMA, E. The genus *Opuntia*: main uses, lines of research and perspectives. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 26, 2024. Doi: <https://doi.org/10.56890/jpacd.v26i.559>

COSTA, M.N.F. ***Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung sob diferentes densidades de plantio e frequências de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 100f. 2024.

CUNHA, M.V. et al. Cactus improves habitat for pollinators. **Newsletter CACTUSNET: Ecosystem services provided by Cacti in drylands**, FAO-ICARDA, v.30, p. 33 - 36, 2024.

DA SILVA SALVADOR, K.R. et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, pp. 2322-2343, 2021.

DAUFRESNE, M.; RENAULT, O. Population fluctuations, regulation and limitation in stream-living brown trout. **Oikos**, v. 113, n. 3, p.459- 468, 2006. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14295.x>

DAVE, K. et al. Climate change impacts on legume physiology and ecosystem dynamics: a multifaceted perspective. **Sustainability**, v. 16, n. 14, p. 6026, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/su16146026>

DESSALEGN, B. et al. Challenges to adoption of improved legume varieties: a gendered perspective. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 2150, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/su14042150>

DINIZ, W.J.S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724-733, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>

DINIZ, W.P.S. et al. Morphological, productive, and nutritional characterization of *Desmanthus* spp. accessions under different cutting intensities. **Agroforest Systems**, v. 95, n. 3, pp. 571-581, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00609-7>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Multiple ecosystem services of arboreal legumes. **The Journal of the International Legume Society**, v.17, p.10-12, 2019.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Sustainable intensification of livestock systems using forage legumes in the Anthropocene. **Grass and Forage Science**, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12696>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.275, p. 114890, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Leguminosas nativas. In: Santos, M.V.F.; NEIVA, J.N.M. **Culturas forrageiras no Brasil: Uso e perspectivas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. 231-262.

DURMIC, Z. et al. Differences in the nutrient concentrations, in vitro methanogenic potential and other fermentative traits of tropical grasses and legumes for beef production systems in northern Australia. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v, 97, p: 4075–4086, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.827>

DUTRA, I.C. et al. Forage cactus (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) f. Cactaceae as an alternative for ruminant feeding. **Brazilian Journal of Science**, v. 3, n. 9, p. 33-41, 2024. Doi: <https://doi.org/10.14295/bjs.v3i9.617>

FARIAS, I.; SANTOS, D. C. e DUBEUX JR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In. MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A. e SAMPAIO, E. V. S. B. (Eds.). **A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: UFPE, 2005. p. 81-103.

FONTENELE, A.C.F. et al. Tropical legumes: *Desmanthus virgatus* (L.) Willd. a promising forage crop. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.15, p.121-123, 2009. Doi: <https://doi.org/10.18539/cast.v15i1-4.1998>

FREITAS, A.D.S. et al. Nodulação e fixação de nitrogênio por forrageiras da Caatinga cultivadas em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.1856-1861, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000900003>

GARDINER, C. **An evaluation of tropical pasture legumes on gidgee soils in the semi-arid tropics**. Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference, Geelong, Victoria, 2003. Disponível em: <www.regional.org.au/au/asa>.

GARDINER, C. et al. **Desmanthus a new pasture legume for the dry tropics**. 2004. Disponível: <[http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/5/2/573_gardinerc.htm?print=1\[2/16/2010\]](http://www.regional.org.au/au/asa/2004/poster/5/2/573_gardinerc.htm?print=1[2/16/2010])>.

GARDINER, C. et al. **The germination, passage and viability of *Desmanthus virgatus* (L.) Willenow seed through sheep and its implication for dispersal in tropical rangelands**. Proceedings of the 16th ASA Conference, Armidale, Australia, 2012. Disponível em: <www.agronomy.org.au>.

GARRIDO, S.J.L. et al. Evaluación química y emisión de gas *In-vitro* en ensilados mixtos de King Grass y *Clitoria-ternatea*. **Ecosistemas y Recursos Agropecuarios**, v. 8, n. 2, p. 23, 2021. Doi: <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2973>

GONZALEZ-CORTÉS, A. et al. Pre-germination treatments in four prickly pear cactus (*Opuntia* sp.) species from Northeastern Mexico. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 10, p. 1676-1684, 2018.

GRDEŃ, P.; JAKUBCZYK, A. Health benefits of legume seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 11, p. 5213-5220, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.12585>

GRÜNWALDT, J.M. et al. Effect of *Prosopis* spp. as a nurse plant on nutrient content and productivity of *Opuntia ellisiana* Griffiths. GOMES, R.A. et al. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids. **Small Ruminant Research**, v. 99, p.160-165, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.04.012>

GUAN, L. et al. Hemicellulose modification and cell wall genetic improvement in plants. **Sheng wu Gong Cheng xue bao= Chinese Journal of Biotechnology**, v. 40, n. 4, p. 1002-1016, 2024. Doi: <https://doi.org/10.13345/j.cjb.230751>

GUO, F. et al. Unlocking the nutraceutical potential of legumes and their by-products: paving the way for the circular economy in the agri-food industry. **Antioxidants**, v. 13, n. 6, p. 636, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/antiox13060636>

HANSON, J.; ELLIS, R. H. Progress and challenges in ex situ conservation of forage germplasm: Grasses, herbaceous legumes and fodder trees. **Plants**, v. 9, p. 446, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants9040446>

HERRERA, A.M. et al. Decomposition of senescent leaves of signalgrass (*Urochloa decumbens* Stapf. R. Webster) and arboreal legumes in silvopastoral systems. **Agroforestry Systems**, v. 94, pp. 2213-2224, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00542-1>

HERRERA-ANGULO, A.M. et al. Bibliometric analysis on forage cactus production, management and use in animal nutrition: development, current status and future research. **Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences**, v. 39, n. 3, p. 430-443, 2023. Doi: <http://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-38baar70038>

INÁCIO, J.G. et al. Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.33, pp.35-43, 2020. Doi: <https://dx.doi.org/10.5713%2Fajas.18.091>

JAMIL, N. et al. Influences of environmental conditions to phytoconstituents in *Clitoria ternatea* (butterfly pea flower)—A review. **Journal of Science and Technology**, v. 10, n. 2, 2018. Doi: <https://10.30880/jst.2018.10.02.029>

JARDIM, A.M.R.F. et al. Genotypic differences relative photochemical activity, inorganic and organic solutes and yield performance in clones of the forage cactus under semi-arid environment. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 421-430, 2021c. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.011>

JARDIM, A.M.R.F. et al. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactus-sorghum in the semi-arid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 1, pp. 069-087, 2021a. Doi: <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>

JARDIM, A.M.R.F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021b. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>

JENSEN, E.S.; HAUGGAARD-NIELSEN, H. How can increased use of biological N₂ fixation in agriculture benefit the environment?. **Plant and Soil**, v. 252, pp. 177-186, 2003.

JIAO, N. et al. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. **The Crop Journal**, v. 9, n. 6, pp. 1460-1469, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.004>

KADIGI, J.H.; MUZZO, B.I.; SCHREIBER, S. Benefícios potenciais dos taninos na saúde, produção e sustentabilidade ambiental dos ruminantes. **European Journal of Nutrition & Food Safety**, v. 16, p. 13-24, 2024. Doi: <https://doi.org/10.9734/ejnfs/2024/v16i101552>

KALYAN, K. et al. The role of grain legumes in enhancing soil health and promoting sustainable agricultural practices: A review. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.46, n.8, p. 344-354, 2024. Doi: <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i82712>

KAUR, A. et al. The Multifaceted Clitoria ternatea (Aparajita): A review of its phytochemistry, medicinal uses and commercial applications. **European Journal of Medicinal Plants**, v. 35, n. 6, p. 316-339, 2024. Doi: <https://doi.org/10.9734/ejmp/2024/v35i61229>

KOROTKOVA, N. et al. Cactaceae at Caryophyllales. org—a dynamic online species-level taxonomic backbone for the family. **Willdenowia**, v. 51, n. 2, p. 251-270, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3372/wi.51.51208>

KOVALENKO, V. et al. Ecological and technological evaluation of the nutrition of perennial legumes and their effectiveness for animals. **Journal of Ecological Engineering**, v. 25, n.4, p.294-304, 2024. Doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/185219>

KRISHNAPRABU, S. Liquid microbial consortium: A potential tool for sustainable soil health. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 2, pp. 2191-2199, 2020. Doi: <https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i2aj.11182>

LAHBOUKI, S. et al. Effects of humic substances and Mycorrhizal fungi on drought-stressed cactus: focus on growth, physiology, and biochemistry. **Plants**, v. 12, n. 24, p. 4156, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants12244156>

LEMOS, M.F. et al. Grass size and butterfly pea inclusion modify the nutritional value of elephant grass silage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e02409, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02409>

LEVINO, N.A. et al. Perspectivas de desenvolvimento no semiárido: um estudo sobre os impactos iniciais do canal do sertão na realidade dos produtores rurais alagoanos. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 1057-1078, 17 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.3014>

LIMA, L.R. et al. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>

LINS, M.A. et al. Desenvolvimento de amendoim consorciado com palma forrageira utilizando resíduo lácteo. **South American Sciences**, v. 1, n.2, e2086, 2020. Doi: <http://dx.doi.org/10.17648/sas.v1i2.86>

LIRA, E.C.D. et al. Intercropping forage cactus genotypes with wood species in a semi-arid environment. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 6, p. 3173-3182, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.21174>

LIU, S. et al. Effects of yak excreta on soil organic carbon mineralization and microbial communities in alpine wetlands of southwest of China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, pp. 1490-1498, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2149-2>

LOPES, E.B. et al. Rendimento e aspectos fenológicos de espécies de palma forrageira em relação ao cultivo com dois tipos de cladódios. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, p.59-61, 2013.

LUCKOW, M. Monograph of *Desmanthus* (Leguminosae-Mimosoideae). **Systematic Botany Monographs**, v. 38, p.1- 166, 1993. Doi: <https://doi.org/10.2307/25027822>

MAGALHÃES, A.L.R. et al. Chemical composition, fractionation of carbohydrates and nitrogen compounds, ruminal degradation kinetics, and in vitro gas production of cactus pear genotypes. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, e-69338 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69338>

MAGALHÃES, A.L.R. et al. Intake, digestibility and rumen parameters in sheep fed with common bean residue and cactus pear. **Biological Rhythm Research**, v.50, p.1-10, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1080/09291016.2019.1592351>

MAHMOUD, A. et al. Comparing VFA composition, biomethane potential, and methane production kinetics of different substrates for anaerobic fermentation and digestion. **Fermentation**, v. 9, n. 2, p. 138, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation9020138>

MANZANAREZ-VILLASANA, G.; MANDUJANO, M. Morphological and phenological variation in the floral morphs of *Opuntia streptacantha* (Cactaceae). **ARPHA Preprints**, v. 4, p. e112288, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3897/arphapreprints.e112288>

MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, C.R. et al. *Opuntia chiangiana* (Cactaceae, Opuntioideae): A taxonomic re-evaluation and geographic distribution. **Bradleya**, v. 2023, n. 41, p. 81-94, 2023. Doi: <https://doi.org/10.25223/brad.n41.2023.a4>

MARTIN-GUAY, et al. The new green revolution: sustainable intensification of agriculture by intercropping. **Science of the Total Environment**, v. 615, pp. 767-772, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.024>

MAYER, J.A. et al. Metabolic profiling of epidermal and mesophyll tissues under water-deficit stress in *Opuntia ficus-indica* reveals stress-adaptive metabolic responses. **Functional Plant Biology**, v. 48, n. 7, p. 717-731, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1071/FP20332>

MCALLISTER, T.A. et al. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 76, n. 2, p. 231-243, 1996. Doi: <https://doi.org/10.4141/cjas96-035>

MEDEIROS, A. S. et al. Morphology, accumulation and survival of *Desmanthus* under different planting densities and harvest heights. **Grass and Forage Science**, v.78, n.1, p. 1–12, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12586>

MEDEIROS, A.S. et al. Biomass production and chemical bromatological composition of Jureminha submitted to increasing saline levels. **Archivos de Zootecnia**, v.69, p.54-64, 2020.

MEDEIROS, A.S. **Morfologia, produtividade e valor nutritivo de jureminha em resposta à densidade de plantio e altura de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 88f. 2021.

MELO, Y. et al. Morfologia de nectários em Leguminosae senso lato em áreas de caatinga no Brasil. **Acta botanica brasílica**, v. 24, p. 1034-1045, 2010.

MIRANDA, K.R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180324>

MISTURA, C.; et al. Germinação e desenvolvimento de plântulas de cunhã em função da salinidade. **Revista Brasileira Saúde e Produção Animal**, v.12, n.2, p.306-317, 2011.

MODISE, T.J. et al. Genetic diversity and differentiation of South African cactus pear cultivars (*Opuntia* spp.) based on simple sequence repeat (SSR) markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 71, n. 1, p. 373-384, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01629-1>

MOTA, M.A.A. **Aspectos morfológicos e produtivos da *Clitoria ternatea* L. em diferentes sistemas de cultivo: impacto na diversidade e comportamento de visitantes florais**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 73f. 2022.

MUIR, J.P. et al. Enhancing food security in Latin America with forage legumes. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 25, n. 3-4, 2017.

MUIR, J.P. et al. Value of endemic legumes for livestock production on Caatinga rangelands. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, pp. 1-12, 2019. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5648>

MUNIZ, E.B. et al. Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 3, p. 1191-1200, 2011.

NASCIMENTO, D.B. et al. Productive, morphological and nutritional indicators of cactus pear in a Semiarid region. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2366, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102366>

NEFFAR, S. et al. Rehabilitation of degraded rangeland in drylands by prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) plantations: effect on soil and spontaneous vegetation. **Ecologia Balkanica**, v. 5, n. 2, pp. 63-76, 2013.

NEFZAOU, A.; LOUHAICHI, M.; BEN SALEM, H. Cactus as a Tool to Mitigate Drought and to Combat Desertification. **Journal of Arid Land Studies**, v. 24, n. 1, pp. 121-124, 2014.

NEUPANE, D. et al. Biomass production of 14 accessions of cactus pear (*Opuntia* spp.) under semi-arid land conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 210, n. 2, p. e12705, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1111/jac.12705>

- NICODEMO, M.L.F. et al. Frequências de cortes em nove leguminosas forrageiras tropicais herbáceas cultivadas ao sol e sob plantação florestal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, p. 809-818, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7119>
- NOTZ, I. et al. Transition to legume-supported farming in Europe through redesigning cropping systems. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 43, n. 1, p. 12, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00861-w>
- NUFUS, C.H. et al. Tingkat toleransi tanaman lamtoro mini (*Desmanthus virgatus*) terhadap cekaman salinitas melalui teknik kultur jaringan. **Jurnal Ilmu Nutrisi Dan Teknologi Pakan**, v. 20, n. 1, p. 7-13, 2022. Doi: <https://doi.org/10.29244/jintp.20.1.7-13>
- NUNES, A.T. et al. Plants used to feed ruminants in semi-arid Brazil: A study of nutritional composition guided by local ecological knowledge. **Journal of Arid Environments**, v. 135, p. 96-103, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.08.015>
- OLIVEIRA FILHO, A.F. et al. Eficiência agronômica e biológica nos consórcios da mamoneira com feijão-caupi ou milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, pp. 729-736, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160087>
- OLIVEIRA, L.P. et al. Chemical characteristics, degradation kinetics and gas production of arboreal species for ruminants. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 3, p. e20196707, 2020. Doi: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200047>
- ORTIZ, C.A.N; VEGA, M.L.R. Determination of in vitro digestibility of forage species used in ruminant feeding. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, p. 3045-3059, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02325-3>
- PATIDAR, V. et al. Carbohydrate and Protein Fractionations of commonly used forages and agro-industrial byproducts as per Cornell Net Carbohydrate and Protein system (CNCPS). **Journal of Livestock Science**, v. 13, n.1, p.182-187, 2022. Doi: <https://doi.org/10.33259/JLivestSci.2022.182-187>
- PATTI, M. et al. A review of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. ethnobotany in Italy and North Africa. **Research Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 5, p. 1111, 2025. Doi: <https://doi.org/10.31586/rjees.2025.1111>
- PEIXOTO, M.J.A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 257, pp. 35-39, 2018. Doi: <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>
- PENGELLY, B.C.; LIU, C.J. Genetic relationships and variation in the tropical mimosoid legume *Desmanthus* assessed by random amplified polymorphic DNA. **Genetic Resources and Crop Evolution Dordrecht**, v. 48, n. 1, p. 91-99, 2001.
- PEREIRA, J.S. et al. Crescimento de palma forrageira em função de diferentes métodos de propagação vegetativa. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e19210413951-e19210413951, 2021. Doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13951>

PESSOA, D.V. et al. Forage cactus of the genus *Opuntia* in different with the phenological phase: Nutritional value. **Journal of Arid Environments**, v. 181, p. 104243, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>

PESSOA, D.V. et al. Nutritional value and kinetics of in vitro fermentation of spineless cactus of the genus *Nopalea* in different phenological phases. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 3, p. e20221001, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420221001>

PIERDOMENICO, M. et al. The mucilage from the *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Cladodes plays an anti-inflammatory role in the LPS-Stimulated HepG2 cells: A combined *in vitro* and in silico approach. **Molecular Nutrition & Food Research**, p. e202400479, 2025. Doi: <https://doi.org/10.1002/mnfr.202400479>

PIERRE, J.F. et al. Maize legume intercropping systems in southern Mexico: A review of benefits and challenges. **Ciência Rural**, v. 52, pp. e20210409, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210409>

QUEIROZ, I.V. et al. DNA polymorphism of *Desmanthus* spp. accessions based on AFLP markers. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 18, n. 4, 2023. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v18i4a0028>

QUEIROZ, I.V. et al. Biomass and chemical responses of *Desmanthus* spp. Accessions submitted to water deprivation. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 4, pp. 937-944, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252021v34n421rc>

QUEIROZ, I.V. **Ocorrência e germinação de sementes de Desmanthus sp. Coletadas no Semiárido pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 80f. 2012.

RAHMAN, T. et al. Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. **PloS one**, v. 12, n. 6, p. e0178332, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178332>

RAHMAN, T. et al. Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. **PloS one**, v. 12, n. 6, pp. e0178332, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178332>

RAMPALLI, S.; GOPALKRISHNAN, B. Pharmacognostical investigation of *Clitoria ternatea* L. leaves. **Horizon**, v. 9, n. 4, p. 814-819, 2022. Doi: <https://doi.org/10.14719/pst.1640>

RAZA, A. et al. Nitrogen fixation of legumes: Biology and Physiology. **The Plant Family Fabaceae: Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses**, pp. 43-74, 2020b. Doi: https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_3

RAZA, M.A. et al. Land productivity and water use efficiency of maize–soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: A case study in Punjab Province, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, pp. 127282, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127282>

RAZA, M.A. et al. Strip-width determines competitive strengths and grain yields of intercrop species in relay intercropping system. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, pp. 21910, 2020a. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78719-y>

REIS FILHO, R.J.C. et al. Biomass components and water use efficiency in cactus pear under different irrigation systems and harvest frequencies. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 51, p. e20210093, 2022. Doi: <https://doi.org/10.37496/rbz5120210093>

REN, J. et al. Intercropping potato (*Solanum tuberosum* L.) with hairy vetch (*Vicia villosa*) increases water use efficiency in dry conditions. **Field Crops Research**, v. 240, pp. 168–176, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.12.002>

ROCHA FILHO, R.R. et al. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas?. **Journal of Arid Environments**, v. 186, p. 104426, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104426>

ROCHA, R.S. et al. Características produtivas e estruturais de espécies de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**. v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017. Doi: <https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2512>

SALES-SILVA, T. B. et al. Does the presence of tall or dwarf elephant grass genotypes change the nutritive value of butterfly pea in grass–legume intercrops? **African Journal of Range Forage Science**, p. 1-10, 2023a.

SALES-SILVA, T. B. et al. The growth habits of tropical legumes affect the nutritive herbage value more than harvesting frequency. **Crop and Pasture Science**, v.1, n.1, 2023b. Doi: <https://doi.org/10.1071/CP23109>

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

SAMAL, I. et al. Underutilized legumes: nutrient status and advanced breeding approaches for qualitative and quantitative enhancement. **Frontiers in Nutrition**, v. 10, p. 1110750, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1110750>

SANKAR, G. et al. A comparative elemental analysis and pharmacological evaluation of *Clitoria Ternatea* (Butterfly Pea) Flowers: blue and white varieties from coastal regions of Kerala, India. **Journal of Scientific Research**, v. 16, n. 3, p. 873-885, 2024. Doi: <https://dx.doi.org/10.3329/jsr.v16i3.71451>

SANTOS NETO, C.F. et al. Morphological characteristics and yield of *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera* in integrated crop systems with caatinga trees. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 1, p. 59-68, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00787-y>

SANTOS, A.F.; PÉREZ-MARIN, A.M.; SARMENTO, M.I.A. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricídia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, pp. 276-281, 2018. Doi: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>

SANTOS, K.C. et al. Nutritional potential of forage species found in Brazilian Semiarid region. **Livestock Science**, v. 195, p. 118-124, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.12.002>

SANTOS, M.V.F. et al. Colheita da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* MILL) cv. Gigante sobre o desempenho de vacas em lactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, p.33-37, 1998.

SANTOS, M.V.F. et al. Efeito do período de armazenamento pós-colheita sobre a concentração de massa seca e composição química das palmas forrageiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.777-783, 1992.

SANTOS, M.V.F. Palma forrageira, reserva estratégica. In: **Cultura forrageiras do Brasil: Uso e perspectivas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. p. 199-230

SANTOS, S.A. et al. Progress and trends in forage cactus silage research: a bibliometric perspective. **Fermentation**, v. 10, n. 10, p. 531, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/fermentation10100531>

SARAIVA, F.M. et al. Manure Source and Cropping System Affect Nutrient Uptake by Cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1512, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081512>

SARAIVA, F.M. et al. Performance of Forage Cactus Intercropped with Arboreal Legumes and Fertilized with Different Manure Sources. **Agronomy**, v. 12, n. 8, pp. 1887, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081887>

SARMA, S.K. Review on *Clitoria ternatea*. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Medicine (IJPSM)**, v.8, n.9, p.43-58, 2023. Doi: <https://doi.org/10.47760/ijpsm.2023.v08i09.004>

SHAABAN, A et al. Physiological changes and nutritional value of forage *Clitoria* grown in arid agro-ecosystem as influenced by plant density and water deficit. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 3, p. 3735-3750, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01294-4>

SHEHU, U.I. et al. Auxin induced rooting of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) cladodes for rapid on-farm propagation. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 10, p. 898-900, 2016. Doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10592>

SILVA NETO, A. J. et al. Herbaceous forage legumes with diverse structural traits can display similar productive responses under different harvest frequencies. **Ciência Rural**, v. 54, p. e20220440, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220440>

SILVA, A.V.C. et al. Exchange of germoplasm and genetic diversity to enrichment the *Desmanthus* genebank. **Revista Caatinga**, v. 36, p. 33-40, 2023a. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n104rc>

SILVA, E.M. et al. Eficiência de rizóbios sob doses de fósforo na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.9, n.2, pp.67-77, 2019.

SILVA, E.T.S. et al. Acceptability by Girolando heifers and nutritional value of erect prickly pear stored for different periods. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, p.761-767, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900008>

SILVA, L. S. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in nitrogen-fertilized grass and legume grass forage systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 122, n. 1, p. 105-117, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-021-10188-9>

SILVA, M.V.S.D. et al. Intake, digestibility, and ingestive behavior of sheep fed with thornless Mandacaru, cactus pear genotypes Orelha de Elefante Mexicana and Miúda. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 45, pp. e58162, 2023b. Doi: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.58162>

SILVA, P.H.F. et al. Agronomic responses and herbage nutritive value of elephant grass (*Cenchrus purpureus*) genotypes grown as monocrops and mixed with butterfly pea (*Clitoria ternatea*). **Crop and Pasture Science**, v. 74, p. A-M, 2023c. Doi: <https://doi.org/10.1071/CP22397>

SILVA, T.G.F. et al. Cactus–sorghum intercropping combined with management interventions of planting density, row orientation and nitrogen fertilisation can optimise water use in dry regions. **Science of The Total Environment**, v. 895, p. 165102, 2023d. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165102>

SILVA, T.G.F. et al. Growth and productivity of cactus forage clones in semi-arid and relationship with meconcentraçãoological variables. **Revista Caatinga**, v.28, p.10-18, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>

SILVA, T.G.F. et al. Intercropping cactus and sorghum under agroecological transition and water restriction increases the water productivity of the system regardless of the arrangement of the genotypes. **Scientia Horticulturae**, v. 338, p. 113604, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113604>

SILVA, T.G.F. et al. Profitability of using irrigation in forage cactus-sorghum intercropping for farmers in semi-arid environment. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 132-139, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n2p132-139>

SINGH, S. et al. Nutrient and Rumen Fermentation Studies of Indian Pasture Legumes for Sustainable Animal Feed Utilisation in Semiarid Areas. **Animals**, v. 13, n. 23, p. 3676, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani13233676>

SLOT, L.E; FORT, F. Drivers of adoption of sustainable prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) innovations and conservation agriculture by smallholder farmers in Morocco. **Agronomy**, v. 14, n. 12, p. 3014, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14123014>

SMITH, B.M. et al. The last mile: using local knowledge to identify barriers to sustainable grain legume production. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 6, p. 102, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00102>

SNIFFEN, C.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992. Doi: <https://doi.org/10.2527/1992.70113562x>

SOARES, M.S. Palma forrageira: Aspecto do cultivo e desempenho animal. **Nutritime Revista Eletrônica**, v.14, n.4, p.6041-6055, 2017.

SOLTAN, Y. A. et al. Comparative in vitro evaluation of forage legumes (prosopis, acacia, atriplex, and leucaena) on ruminal fermentation and methanogenesis. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 21, n. 4, p. 759-772, 2012.

SOSA-MONTES, E. Chemical composition and digestibility of four Mexican tropical legumes. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 11, n. SPE24, p. 211-220, 2020. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2371>

SOUZA, A.H.C et al. Productivity and morphological characteristics of buffel grass intercropped with butterfly pea under shade conditions. **Bioscience Jornal** , p. 979-989, 2017.

SOUZA, M.S. et al. Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. **Amazonian Journal of Plant Res...**, v. 3, pp. 417-430, 2019. Doi: <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>

STAMBOULI-ESSASSI, S. et al. STAMBOULI-ESSASSI, S. et al. Avaliação da eficiência de estacas do cladódio de *Opuntia ficus-indica* para multiplicação vegetativa. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 2, pág. 521-527, 2015. Doi: <https://doi.org/10.15835/nbha43210049>

STAVI, I. Ecosystem services related with *Opuntia ficus-indica* (prickly pear cactus): A review of challenges and opportunities. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 46, n. 6, p. 815-841, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2076185>

SUBEDI, P. et al. Effect of different levels of nitrogen and charcoal on growth and yield traits of chili (*Capsicum annuum* L.). **Heliyon**, v. 9, n. 2, e13353, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13353>

SUYBENG, B. et al. Response to climate change: evaluation of methane emissions in northern Australian beef cattle on a high quality diet supplemented with *Desmanthus* using open-circuit respiration chambers and greenfeed emission monitoring systems. **Biology**, v.10, p.943, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/biology10090943>

SUYBENG, B. et al. Supplementing northern Australian beef cattle with *Desmanthus* tropical legume reduces in-vivo methane emissions. **Animal**, 10, 2097, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10112097>

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

TANG, J. et al. Patterns and mechanisms of legume responses to nitrogen enrichment: A global meta-analysis. **Plants**, v. 13, n. 22, p. 3244, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13223244>

TEIXEIRA, V.I. et al. Aspectos agronômicos e bromatológicos de leguminosas forrageiras no nordeste brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 226, n. 59, p. 245-254, 2010.

THAKURIA, A. et al. Edible spineless cactus (*Opuntia ficus-indica*): A promising alternative forage source for livestock. **Indian Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 3, 2020. Doi: <https://doi.org/10.33785/IJDS.2020.v73i03.001>

TOMÁS, D. et al. Edaphic recovery of degraded soils with combined use of leucaena (*Leucaena leucocephala*) and vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) in Vandúzi, Mozambique. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 19, n. 2, 2024. Doi: <https://doi.org/10.18378/rvads.v19i2.10483>

UMAMI, N. et al. The effect of different NPK fertilizer on *Butterfly pea* (*Clitoria ternatea*) Production on the First Harvest. In: **6th International Seminar of Animal Nutrition and Feed Science (ISANFS 2021)**. Atlantis Press, 2022. p. 265-269. Doi: <https://doi.org/10.2991/absr.k.220401.054>

VALENCIAGA, D. et al. Effect of regrowth age on in vitro dry matter digestibility of Pennisetum purpureum cv. CUBA CT-115. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v. 43, n. 1, p. 79-82, 2009.

VANDERMEULEN, S. et al. *In vitro* assessment of ruminal fermentation, digestibility and methane production of three species of *Desmanthus* for application in northern Australian grazing systems. **Crop and Pasture Science**, v.69, n.8, p.797-807, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1071/CP17279>

VARELA PÉREZ, P. et al. Combined bioenergy and food potential of *Opuntia ficus-indica* grown on marginal land in rural Mexico. **Energies**, v. 17, n. 24, p. 6278, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/en17246278>

VIJAYKUMAR, R. et al. Agroforestry systems: A pathway to resilient and productive landscapes. **International Journal of Environment and Climate Change**. v.14, n.12, p.177-193, 2024. Doi: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i124617>

VILAKAZI, B. et al. The role of neglected grain legumes in Food and Nutrition Security and Human Health. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 350, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/su17010350>

WANI, S.P. et al. Scaling up food legume production through genetic gain and improved management. **Genetic Enhancement in Major Food Legumes: Advances in Major Food Legumes**, p. 303-338, 2021. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-64500-7_10

WISDOM, J.J.M. et al. Can strategic integration of cultivated pasture legumes into temperate agricultural systems provide stability to honey bee populations and associated industries?. **Plants, People, Planet**, v.35, n.1, p. 1-18, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1002/ppp3.10591>

YADAV, R.S. et al. Soil biological properties under different tree based traditional agroforestry systems in a semi-arid region of Rajasthan, India. **Agroforestry Systems**, v. 81, pp. 195-202, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9277-z>

YAN, Z. et al. Legume-based crop diversification reinforces soil health and carbon storage driven by microbial biomass and aggregates. **Soil and Tillage Research**, v. 234, p. 105848, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105848>

YEREMKO, L. et al. Role of Environmental Factors in Legume-Rhizobium Symbiosis: A Review. **Biomolecules**, v. 15, n. 1, p. 118, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/biom15010118>

YIN, W. et al. Water utilization in intercropping: A review. **Agricultural Water Management**, v. 241, pp. 106335, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>

YU, H.Y. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia accelerate plant growth and N accumulation and contribution to soil total N in white clover by difficultly extractable glomalin-related soil protein. **Applied Soil Ecology**, v. 197, p. 105348, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105348>

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS PRODUTIVAS E MORFOLÓGICAS DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIOS COM LEGUMINOSAS

Resumo: Objetivou-se avaliar os aspectos morfológicos e produtivos de diferentes espécies de palma forrageira (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw) consorciadas com *Clitoria ternatea* (L.) e *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental-UFRPE, em Garanhuns, Pernambuco, em delineamento experimental em blocos ao acaso, em que os tratamentos foram oito sistemas de cultivo: *O. cochenillifera* + *D. pernambucanus*, *O. cochenillifera* + *C. ternatea*; *O. stricta* + *D. pernambucanus*; *O. stricta* + *C. ternatea*; *O. cochenillifera*; *O. stricta*, *C. ternatea* e *D. pernambucanus*, com quatro repetições. A colheita da palma foi anual e a das leguminosas a cada 90 dias. No segundo ano, a *O. stricta* consorciada com *C. ternatea* (28,1 cm) e *D. pernambucanus* (27,8 cm) apresentou maior comprimento do cladódio primário em comparação ao monocultivo (26,4 cm). A largura do cladódio primário também foi superior nas plantas consorciadas, com 20,7 cm para *Opuntia* consorciada com *C. ternatea* e 19,9 cm para *D. pernambucanus*, frente aos 15,7 cm da planta em monocultivo. Já o perímetro do cladódio primário destacou-se no consórcio com *C. ternatea*, alcançando 69,4 cm, contra 56,5 cm no monocultivo. Quanto às leguminosas, o consórcio afetou o número de folíolos no segundo ano da *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* (9,0) em relação ao monocultivo (11,0). No primeiro ano, observou-se maior número de folhas em consórcios com *C. ternatea* (19,0) e *D. pernambucanus* (18,0), frente ao monocultivo (13,0). O consórcio não influenciou a produção de matéria seca (PMS) de *O. stricta* durante os anos de avaliações. Entretanto, o monocultivo da *O. cochenillifera* obteve maior PMS anual no segundo ano, com 2.933 kg.ha⁻¹, comparado aos consórcios de *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (1.394 kg.ha⁻¹) e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1.175 kg.ha⁻¹). Na PMS das leguminosas, a *C. ternatea* e *D. pernambucanus* apresentaram maior produção em monocultivo por corte entre épocas e anos, bem como maior PMS anual. Na PMS dos sistemas (Produção da palma + produção das leguminosas, quando consorciadas), a *C. ternatea* em monocultivo não diferiu dos consórcios com as palmas em ambos os anos. Já *D. pernambucanus* apresentou comportamento distinto no segundo ano, com o consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (4.490 kg.ha⁻¹) superando a produção da leguminosa em monocultivo (2.058 kg.ha⁻¹). Durante os dois anos de avaliações, a taxa de sobrevivência das leguminosas não foi afetada entre os sistemas de monocultivo e consórcio. Porém, a *C. ternatea* obteve menor taxa de sobrevivência no segundo ano, com decréscimos de 16,8%, 23,4% e 14,1% em monocultivo e em consórcios com *C. ternatea* + *O. cochenillifera* e *C. ternatea* + *O. stricta*, respectivamente. Conclui-se que o consórcio favorece o desenvolvimento dos cladódios primários da *O. stricta* e altera o número de folíolos da *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera*. No entanto, reduz a PMS da *O. cochenillifera* no segundo ano e resulta em menor PMS anual das leguminosas nos consórcios, em comparação aos monocultivos. A taxa de sobrevivência das leguminosas também foi comprometida, com maior mortalidade da *C. ternatea* no segundo ano.

Palavras-chave: Cactáceas, dimensões de cladódios, leguminosa nativa, morfologia e produção de forragem.

Abstract: The study aimed to evaluate the morphological and productive characteristics of different forage cactus species (*Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck and *Opuntia stricta* (Haw.) Haw) intercropped with *Clitoria ternatea* (L.) and *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung. The experiment was carried out at the UFRPE Experimental Farm in Garanhuns, Pernambuco, using a randomized block design. Treatments consisted of eight cropping systems: *O. cochenillifera* + *D. pernambucanus*, *O. cochenillifera* + *C. ternatea*, *O. stricta* + *D. pernambucanus*, *O. stricta* + *C. ternatea*, *O. cochenillifera*, *O. stricta*, *C. ternatea*, and *D. pernambucanus*, with four repetitions. The cactus was harvested annually and legumes every 90 days. In the second year, *O. stricta* intercropped with *C. ternatea* (28.1 cm) and *D. pernambucanus* (27.8 cm) showed greater length of the primary cladode compared to the monoculture (26.4 cm). The width of the primary cladode was also greater in the intercropped plants, with 20.7 cm for *Opuntia* intercropped with *C. ternatea* and 19.9 cm for *D. pernambucanus*, compared to 15.7 cm for the plant in monoculture. The perimeter of the primary cladode stood out in the intercropped with *C. ternatea*, reaching 69.4 cm, compared to 56.5 cm in the monoculture. As for the legumes, the intercropping affected the number of leaflets in the second year of *C. ternatea* intercropped with *O. cochenillifera* having fewer leaflets (9.0) compared to the monoculture (11.0). In the first year the number of leaves was higher in the intercropping systems with *C. ternatea* (19.0) and *D. pernambucanus* (18.0), compared to monoculture (13.0). Intercropping did not influence the dry matter production (DMP) of *O. stricta* during the evaluation period. However, *O. cochenillifera* monoculture had the highest annual DMP in the second year (2,933 kg ha⁻¹), compared to *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (1,394 kg ha⁻¹) and *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1,175 kg ha⁻¹). For the legumes, both *C. ternatea* and *D. pernambucanus* showed higher production per cutting between seasons and years, as well as highest annual DMP in monoculture. In the DMP (cactus + legumes in intercropping), *C. ternatea* monoculture did not differ from the intercropped cactus in both years. In contrast, *D. pernambucanus* behaved differently in the second year, with the *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* system (4,490 kg ha⁻¹) outperforming its monoculture (2,058 kg ha⁻¹). The two-year evaluations, the survival rate legumes were not affected between the monoculture and intercropping systems. However, *C. ternatea* had a lower survival rate in the second year, with decreases of 16.88%, 11.94%, and 14.10% in monoculture, *C. ternatea* + *O. cochenillifera*, and *C. ternatea* + *O. stricta*, respectively. It can be concluded that intercropping favors the development of the primary cladodes *O. stricta* and only change the number of leaflets of *C. ternatea* intercropped with *O. cochenillifera*. However, it reduces the DMP of *O. cochenillifera* in the second year and results in lower annual DMP of legumes in intercropping systems compared to the monoculture. The survival rate of the legumes was also compromised, with higher mortality of *C. ternatea* in the second year.

Keywords: Cactus, cladode dimensions, forage production, morphology and native legume.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por alimentos, aliado à urgente necessidade de práticas mais sustentáveis, tem desafiado o setor pecuário a adotar técnicas que gerem benefícios econômicos e ambientais significativos (Barbosa et al., 2024). Nesse contexto, o uso do consórcio entre forrageiras produtivas e adaptadas, como a palma forrageira e leguminosas, desponta como uma alternativa de produção de forragem no Semiárido brasileiro. Essa técnica não apenas garante a produtividade, mas também alinha o setor a uma produção pecuária resiliente, econômica e ambientalmente responsável, quando bem manejados.

Apesar dos benefícios para pecuária, o sistema de produção de palma forrageira na região Semiárida, em algumas propriedades é marcado pela baixa adoção de tecnologias, o que acarreta diretamente a uma produtividade inferior à capacidade da cultura (Silva et al., 2024). A palma forrageira é uma cultura exigente quanto as características físico-química do solo (Araújo et al., 2023). Porém, o uso de fertilizantes químicos para suprir as demandas nutricionais da planta eleva custos de produção (Qasim et al., 2023) e nem sempre o pecuarista possui condições financeiras suficientes para adquirir fertilizantes em quantidade e qualidade de acordo com a demanda.

Nesse contexto, a utilização de leguminosas em consórcio com palma forrageira pode ser uma alternativa de exploração na região Semiárida, pois as leguminosas incrementam a disponibilidade de nitrogênio (N) ao sistema, via fixação biológica de N (Figueiredo et al., 2023; Niza Costa et al., 2023) ou pela decomposição de serapilheira, raízes e nódulos das leguminosas (Rawal et al., 2023), além de melhorar a qualidade da dieta dos animais. A entrada de N via serapilheira, beneficia a ciclagem de nutrientes, devido à baixa relação C:N, proporcionando maior liberação de N no solo (Sadra et al., 2023).

A efetividade do uso de sistemas consorciados, em contrapartida, depende da interação e complementaridade entre as culturas componentes. Vários fatores podem afetar o rendimento e a taxa de crescimento das plantas em consórcio. Santos Neto et al. (2022) apontam que em sistemas consorciados com arbóreas, a altura e a morfologia das copas das árvores são aspectos importantes que podem alterar a morfologia e a produção das outras culturas nos consórcios.

Segundo Figueiredo et al. (2023), posições de plantas próximas em sistemas integrados provocam maior competição por nutrientes e luz, tornando-se ambientes críticos para o desenvolvimento adequado das plantas cultivadas, o que pode causar heterogeneidade nas características estruturais e na produção de biomassa. Santos Neto et al. (2022) avaliaram as características estruturais e produtivas de *Opuntia stricta* (Haw.) Haw e *Opuntia cochenillifera* L. Mill, sob diferentes arranjos de Caatinga. Foi constatado que a *O.*

cochenillifera foi mais vulnerável às posições próximas ao componente lenhoso, com menor altura média do dossel e menor número de cladódios. Dessa forma, a escolha correta de culturas compatíveis em sistemas consorciados é importante em termos de método de crescimento, uso do espaço, luz, água e nutrientes.

Devido a maior competição por recursos naturais em sistemas integrados com as leguminosas arbóreas e maior sombreamento, o consórcio de palma forrageira com leguminosas de porte arbustivos e herbáceos podem apresentar melhores respostas, por existir menor sombreamento sob a palma forrageira ao longo dos anos. Além de não prejudicar o crescimento e produção da palma e da leguminosa, ao longo das colheitas.

Diante do exposto, a hipótese testada no estudo foi que o consórcio de palma forrageira com *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus*, não impactam negativamente na morfologia e produção da palma forrageira e das leguminosas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar as características morfológicas e produtivas das plantas nos diferentes sistemas com *Opuntia cochenillifera* L. Mill e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw em monocultivo e em consórcio com as leguminosas *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus* em condições de sequeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, localizada no município de Garanhuns-PE, região Agreste de Pernambuco a 8° 53' 25" de latitude Sul e 36° 29' 34" de longitude oeste, situada a 842m de altitude. O clima é classificado como tropical tipo Aw' conforme a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013), com temperatura média anual de 21,2 °C, regime de chuvas do outono a inverno, caracterizado por verões quentes e secos e invernos amenos e úmidos. A precipitação anual histórica média de 53 anos do município foi de 866 mm (Barbosa et al., 2016).

A distribuição mensal das chuvas durante o período experimental é descrita na Figura 1. A partir das precipitações mensais, as épocas do ano foram classificadas em seca e chuvosa, sendo definidas a partir do balanço hídrico sequencial (BHS), calculado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) em planilhas Excel (Rolim et al., 1998), considerando-se época chuvosa como meses que apresentaram balanço hídrico positivo ou nulo, e época seca como os meses que obtiveram balanço hídrico negativo.

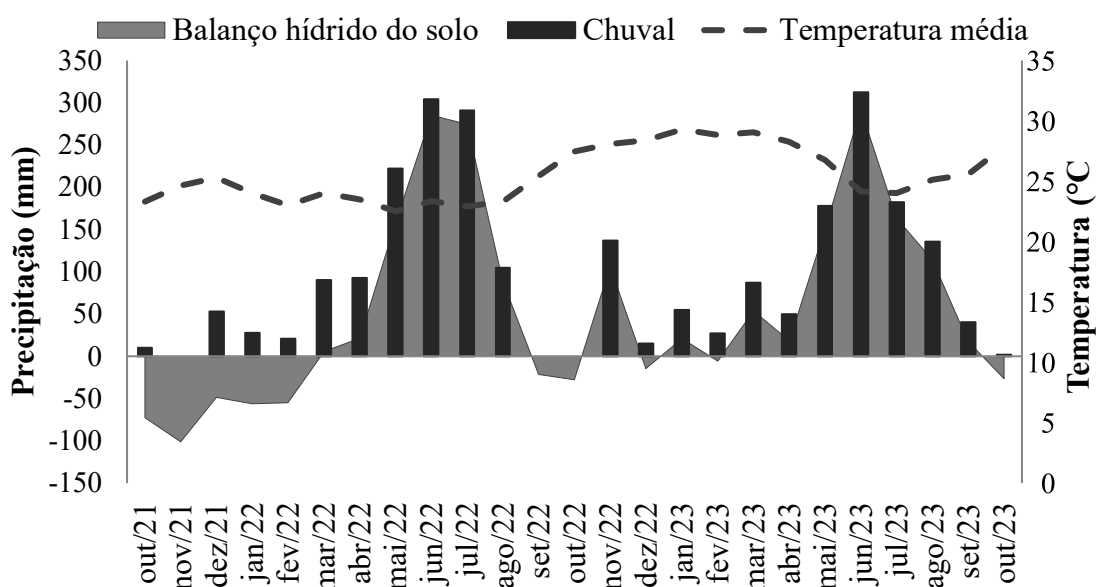


Figura 1. Balanço Hídrico sequencial, precipitação pluviométrica e temperatura média, durante outubro de 2021 a outubro de 2023 na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco/UFRPE, Garanhuns-PE.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos experimentais foram os diferentes sistemas de cultivo da palma forrageira e das leguminosas: (1) – *Opuntia cochenillifera* + *Desmanthus pernambucanus*, (2) *Opuntia cochenillifera* + *Clitoria ternatea*; (3) – *Opuntia stricta* + *Desmanthus pernambucanus*; (4) – *Opuntia stricta* + *Clitoria ternatea*; (5) – *Opuntia cochenillifera*; (6) – *Opuntia stricta*, (7) – *Clitoria ternatea* e (8) – *Desmanthus pernambucanus*. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições.

2.3 Sistema de plantio

A área total do experimento foi de 2.632,5 m² (45 m x 58,5 m) e as parcelas experimentais que constituíram os monocultivos e os consórcios corresponderam à área de 54 m² (6 m x 9 m), em cada parcela (Figura 1, Anexo) com espaçamento entre blocos de 3 m x 58,5 m. Foi realizado o preparo do solo em outubro de 2021 por meio de aração e gradagem, seguidos da correção e adubação, com base nos resultados da análise de solo (Tabela 1).

Para plantio da palma utilizou-se um cladódio por cova, na posição vertical e as leguminosas foram plantadas por mudas. Os cladódios utilizados foram oriundos da própria fazenda experimental. As mudas de leguminosas foram produzidas na casa de vegetação da UFRPE, utilizando-se sacos com substrato de areia e solo na proporção de 1:1. As sementes de

Desmanthus pernambucanus foram escarificadas pela imersão em solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4), com concentração de 98%, durante 3 minutos (Cook et al., 2020). As sementes da *Clitoria ternatea* foram adquiridas escarificadas de empresa comercial.

De acordo com a análise química de amostras do solo (Tabela 1) realizada do Instituto Agrônomo de Pernambuco, IPA, foi feita correção do pH do solo, utilizando-se $0,5 \text{ t.ha}^{-1}$ de calcário calcítico e adubação química. Para as leguminosas, foi realizado adubação de fundação, seguindo as recomendações de Cavalcanti (2008) para *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit e para palma forrageira foram utilizadas as recomendações do IPA conforme a análise do solo. As quantidades aplicadas foram 60 e 50 kg.ha^{-1} de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente para as leguminosas e 60 ; 60 e 50 kg.ha^{-1} de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente para as palmas.

As variedades de palma forrageira, nos tratamentos consorciados, foram plantadas em fileiras duplas com espaçamento de $3,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ (Figura 2, anexo), e densidade de plantio de 10.000 plantas ha^{-1} . Nos tratamentos consorciados, as leguminosas foram plantadas entre as fileiras duplas da palma em três filas simples, com espaçamento de $0,5 \text{ m}$ entre si e densidade de 11.429 plantas ha^{-1} (Figura 3, Anexo).

Os cultivos solteiros da palma e das leguminosas seguiram os mesmos espaçamentos utilizados nas parcelas consorciadas com espaçamento de $1,0 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ para palma, com densidade de plantio de 20.000 plantas ha^{-1} (Figura 2, Anexo). As leguminosas permaneceram com espaçamento de $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, com densidade de 40.000 plantas ha^{-1} (Figura 4, Anexo). Realizou-se adubação orgânica de fundação com 20 Mg.ha^{-1} de esterco curtido de bovinos e caprinos para todo o experimento. Além disso, foram realizados tratos culturais e capinas manuais periódicas. Um ano após o plantio de cada cultura foram feitas adubação orgânica de manutenção com 20 Mg.ha^{-1} também, assim como a adubação química com 60 e 50 kg.ha^{-1} de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente para as leguminosas e 60 ; 60 e 50 kg.ha^{-1} de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente para as palmas.

Tabela 1. Análise química de amostras de solo da área experimental em profundidade de 0-40 cm, Garanhuns – PE.

Sigla	Descrição	Unidade	Resultados
M.Org	Matéria orgânica	g/kg	15,3
P- Mehlich	Fósforo	mg.dm ³	4,2
P-Resina	Fósforo	mg.dm ³	10,0
Ca ²⁺	Cálcio	cmol _c .dm ³	0,68
Mg ²⁺	Magnésio	cmol _c .dm ³	0,53
Na ⁺	Sódio	cmol _c .dm ³	0,042
K ⁺	Potássio	cmol _c .dm ³	0,32
Fe ²⁺	Ferro	mg.dm ³	199,4
Cu ²⁺	Cobre	mg.dm ³	0.2
Zn ²⁺	Zinco	mg.dm ³	2.4
Mn ²⁺	Manganês	mg.dm ³	1,0
S	Soma de bases	cmol _c .dm ³	1,58
Al ³⁺	Alumínio	cmol _c .dm ³	0,00
H ⁺ +Al ³⁺	Hidrogênio+Alumínio	cmol _c .dm ³	2,18
CTC	Capacidade de troca catiônica	cmol _c .dm ³	3,76
m	Saturação por alumínio	(%)	0,0
V	Saturação de bases	(%)	42,07
pH	Potencial hidrogeniônico	-	6,15
CE	Condutividade elétrica	ds m ⁻¹	0,77

2.4 Respostas morfológicas e produtivas

Para avaliação do crescimento da palma forrageira em monocultivo, foram mensuradas a cada três meses quatro plantas centrais da parcela (Figura 2, Anexo). No caso do consórcio, as quatro plantas estavam dispostas na fileira dupla central entre as leguminosas (Figura 3, Anexo). Foram mensuradas as seguintes características: Altura das plantas (AP), largura das plantas (LP), número de cladódios totais, número de cladódios primários, número de cladódios secundários, comprimento, largura, perímetro e espessura dos cladódios de todas as ordens.

Todas as variáveis foram mensuradas por meio de uma fita métrica, com exceção da espessura que foi medida utilizando um paquímetro, de acordo com a metodologia utilizada por Donato et al. (2014).

Para a análise de crescimento das leguminosas, foram mensuradas a cada três meses quatro plantas no monocultivo, no caso do consórcio foram selecionadas as duas plantas centrais de cada fileira central das leguminosas. Foram determinadas as seguintes variáveis: AP, LP, comprimento dos ramos primários, comprimento dos ramos secundários, comprimento da folha e largura da folha através de uma fita métrica. O diâmetro do caule, diâmetro dos ramos primários e secundários foram determinados através de um paquímetro. Além disso foram contabilizados o número de ramos primários e secundários por contagem manual.

Para os dados de produção de matéria seca (PMS) da palma forrageira, após um ano, dez fileiras com dez plantas no monocultivo e quatro fileiras com dez plantas no consórcio (Figuras 2 e 3, Anexo) foram amostradas por parcela e pesadas em balança para a obtenção do peso fresco por planta (PFP, kg.planta⁻¹). A palma foi cortada preservando-se o cladódio mãe. Enquanto nas leguminosas, as plantas que eram avaliadas para avaliação morfológica, eram cortadas a 20 cm do solo, a cada três meses, para PFP. Depois de obter o PFP, kg.planta⁻¹, foi calculado a produção de matéria verde (PMV, em Mg.ha⁻¹) pelo produto entre a PFP e da densidade equivalente das plantas por hectare (DPH). De acordo com a equação (PMV x (%MS)), obteve-se a produção de matéria seca (PMS, Mg.ha⁻¹). Para produção dos sistemas consorciados, foi somado a PMS durante cada ano das duas culturas (PMS Palma forrageira + PMS da leguminosa).

2.5 Taxa de sobrevivência

A contagem de sobrevivência das cactáceas e leguminosas era avaliada a cada noventa dias, sendo ao mesmo tempo replantadas as plantas mortas. A taxa de sobrevivência foi avaliada comparando-se o estande inicial de plantas (100%) com o estande final de cada ano de avaliação, sendo somado as taxas de sobrevivência avaliada a cada 90 dias.

2.6 Análise estatística

Os resíduos dos dados de morfologia e produção da palma forrageira e das leguminosas foram submetidos ao teste de normalidade de (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), através do PROC MIXED do SAS On Demand. Para as palmas forrageiras foram considerados efeitos fixos os sistemas de

cultivo, anos de avaliações e suas interações. Para as leguminosas foram considerados efeitos fixos os sistemas de cultivo, épocas do ano, anos de avaliações e suas interações. Os blocos foram considerados como efeitos aleatórios. Quando o teste F foi significativo, as médias foram estimadas por meio do LSMEANS e comparadas pela probabilidade de diferença (“PDIFF”), ajustada para o Teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

O modelo estatístico utilizado para as palmas foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + B_j + (\alpha B)_{ij} + C_k + e_{ijk}$$

Em que: Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; B_j é o efeito fixo de ano de avaliação; $(\alpha B)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; C_k é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijk} é o erro residual.

O modelo estatístico utilizado para as leguminosas foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + I_k (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha I)_{ik} + (\beta I)_{jk} + y_l + e_{ijkl}$$

Em que: Y_{ijkl} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; β_j é o efeito fixo das épocas do ano; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e épocas do ano; $(\alpha I)_{ik}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; $(\beta I)_{jk}$ é o efeito entre épocas do ano e ano de avaliação; y_l é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijkl} é o erro residual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

3.1.1 Características morfológicas da palma forrageira

Não foram observadas diferenças para altura das plantas de palma forrageira entre os sistemas de monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 2). Contudo, ao comparar cada sistema de cultivo entre os anos, observou-se maiores alturas da palma no segundo ano de avaliação em todos os sistemas. As plantas, independentemente da forma de cultivo, também não apresentaram diferenças entre tratamentos para largura de planta, no primeiro ano de avaliação (Tabela 2). Porém, no segundo ano, a palma no sistema *C. ternatea* + *O. stricta* teve maior largura de planta (72,7 cm) que a palma no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* (56,6 cm).

Tabela 2. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações para altura e largura da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Altura de planta (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	33,7 Bc	49,1 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	35,0 Bbc	52,9 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	37,0 Babc	51,1 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	41,3 Bab	48,3 Aa	0,0003
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	41,0 Bab	54,8 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	42,9 Ba	49,5 Aa	0,0006
P	0,0004	0,0715	
EPM	1,89		
	Largura de planta (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	43,7 Ba	81,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	48,2 Ba	83,5 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	52,5 Ba	78,7 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	58,5 Aa	57,5 Abc	0,8263
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	54,5 Ba	72,7 Aab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	46,1 Ba	56,6 Ac	0,0155
P	0,0727	<0,0001	
EPM	4,26		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não foram observadas diferenças para número de cladódios totais, primários, secundários e terciários entre as plantas nos sistemas de monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações, com valores médios aproximados de 12,0; 5,0; 6,0 e 1,0 para *O. cochenillifera* no primeiro ano de avaliação, respectivamente. No segundo ano, observou-se valores de 35,0; 8,0; 21 e 7,0, respectivamente (Tabela 3).

Em relação a *O. stricta* no primeiro ano, observou-se valores médios de 2,0 para o número de cladódios totais e cladódios primários (Tabela 3). Nesse mesmo ano, não se observou cladódios secundários e terciários nessa espécie. No entanto no segundo ano observou-se resultados médios aproximados de 10,0; 9,0 e 1,0 para número de cladódios totais, primários e secundários, respectivamente.

Ao comparar cada sistema de cultivo entre os anos de avaliações, observou-se que as plantas da *O. cochenillifera* tiveram aumento no número de cladódios totais e de todas as ordens no segundo ano de avaliação. Bem como as plantas nos arranjos da *O. stricta*, que tiveram maior número de cladódios totais e primários, não tendo cladódios de terceira ordem nos dois anos de avaliações. Além disso, plantas no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* apresentaram maior número de cladódios totais, primários e secundários que a *O. stricta* nos diferentes arranjos, no primeiro ano de avaliação (Tabela 3).

Tabela 3. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o número de cladódios totais, primários, secundários e terciários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Número de cladódios totais			
<i>O. cochenillifera</i>	10,0 Babc	35,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	13,0 Ba	36,0 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	12,0 Bab	35,0 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	2,0 Bbc	9,0 Ab	0,0002
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	2,0 Bc	11,0 Ab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	2,0 Bbc	10,0 Ab	<0,0001
P	0,0005	<0,0001	
EPM	1,88		
Número de cladódios primários			
<i>O. cochenillifera</i>	5,0 Ba	8,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	5,0 Ba	8,0 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	4,0 Bab	8,0 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	2,0 Bbc	9,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	2,0 Bc	9,0 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	2,0 Bbc	9,0 Aa	<0,0001
P	<0,0001	0,0774	
EPM	0,59		
Número de cladódios secundários			
<i>O. cochenillifera</i>	5,0 Bab	20,0Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	7,0 Ba	22,0 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,0 Bab	20,0 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0 Ab	0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0 Ab	1,8 Ab	0,1335
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0 Ab	1,6 Ab	0,1931
P	0,0009	<0,0001	
EPM	1,24		
Número de cladódios terciários			
<i>O. cochenillifera</i>	0 Ba	6,8 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1,0 Ba	6,3 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1,4 Ba	6,9 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0 Aa	0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0 Aa	0 Ab	0,8996
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0 Aa	0 Ab	1,0000
P	0,9256	<0,0001	
EPM	0,99		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não foram detectadas diferenças para espessura do cladódio mãe, comprimento, largura e perímetro dos cladódios primários das plantas nos sistemas de monocultivo e consórcio de *O. cochenillifera* ao longo dos dois anos de avaliações, nem entre as plantas nos sistemas de monocultivo e consórcio de *O. stricta* no primeiro ano (Tabela 4). No entanto, no segundo ano,

a espessura do cladódio mãe da palma no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* foi 0,6 cm menor entre as médias observadas na palma no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta*. Adicionalmente, em ambos os anos avaliados, as plantas de *O. cochenillifera* tiveram maior espessura do cladódio mãe, em comparação as de *O. stricta* nos diferentes arranjos. Porém, todos os tratamentos com *O. cochenillifera* e *O. stricta* apresentaram aumento na espessura do cladódio mãe no segundo ano, em comparação ao primeiro.

No segundo ano de avaliação, as palmas nos consórcios da *O. stricta* apresentaram maiores médias de comprimento e largura do cladódio primário, em comparação ao monocultivo dessa espécie (Tabela 4). Além disso, nesse mesmo ano, plantas do consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* apresentaram maiores perímetro do cladódio primário em comparação ao monocultivo de *O. stricta* (Tabela 4). Bem como todos os arranjos que incluíram *O. stricta* demonstraram menores médias na largura e perímetro do cladódio primário, em relação ao primeiro ano.

Tabela 4. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre espessura do cladódio mãe, comprimento, largura e perímetro dos cladódios primários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

em monocultivo e em consórcio com leguminosas do Agreste de Pernambuco.			
Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Espessura do cladódio mãe (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	2,6 Ba	3,8 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	3,0 Ba	4,3 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	2,9 Ba	4,1 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	1,9 Bb	2,6 Abc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	1,7 Bb	2,4 Ac	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	1,7 Bb	3,0 Ab	<0,0001
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,16		
	Comprimento do cladódio primário (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	17,5 Bb	20,8 Ac	0,0014
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	18,8 Bb	22,3 Abc	0,0010
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	19,6 Ab	21,2 Ac	0,1211
<i>O. stricta</i>	20,5 Ba	26,4 Ac	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	26,8 Aa	28,1 Aa	0,2335
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	25,7 Ba	27,8 Aab	0,0428
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,03		
	Largura do cladódio primário (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	8,7 Ab	8,4 Ac	0,7060
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	8,9 Ab	8,9 Ac	0,9424
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	9,2 Ab	8,1 Ac	0,1497
<i>O. stricta</i>	23,3 Aa	15,7 Bb	<0,0001

<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	23,8 Aa	20,7 Ba	0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	23,3 Aa	19,9 Ba	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,78		
	Perímetro do cladódio primário (cm)		
<i>O. cochenillifera</i>	39,5 Bb	45,9 Ad	0,0111
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	41,7 Bb	49,5 Acd	0,0022
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	45,9 Ab	46,3 Ad	0,9070
<i>O. stricta</i>	73,1 Aa	56,5 Bbc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	76,9 Aa	69,4 Ba	0,0084
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	74,9 Aa	65,6 Bab	0,0003
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	2,51		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Foram observados efeitos isolados dos sistemas de produção para comprimento, largura, espessura e perímetro do cladódio mãe. Mas, não se observou diferença entre o monocultivo das espécies de palma e seus consórcios com as leguminosas. No entanto, a *O. stricta* nos diferentes arranjos, apresentou maiores resultados que a *O. cochenillifera*, com média de 27,5; 31,8 e 69,0 cm para o comprimento (Figura 2A), largura (Figura 2 B), e perímetro (Figura 3A) do cladódio mãe, respectivamente. Em contrapartida a *O. cochenillifera* em monocultivo (2,25 cm) e em consórcio com *D. pernambucanus* (2,20 cm) apresentaram maiores espessuras do cladódio mãe em relação a *O. stricta* em monocultivo (1,10 cm) (Figura 3 B).

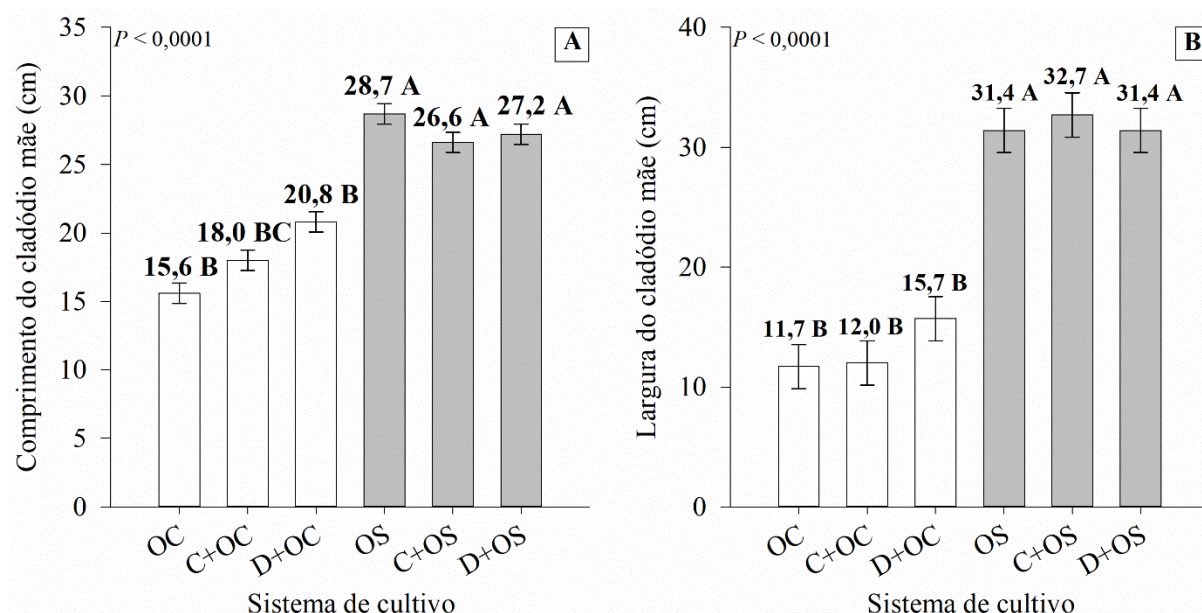


Figura 2. Efeito do sistema de cultivo no comprimento (A) e largura do cladódio mãe (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco. Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). OC: *O. cochenillifera*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenillifera*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; OS: *O. stricta*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*. EPM = 0,74, 1,85.

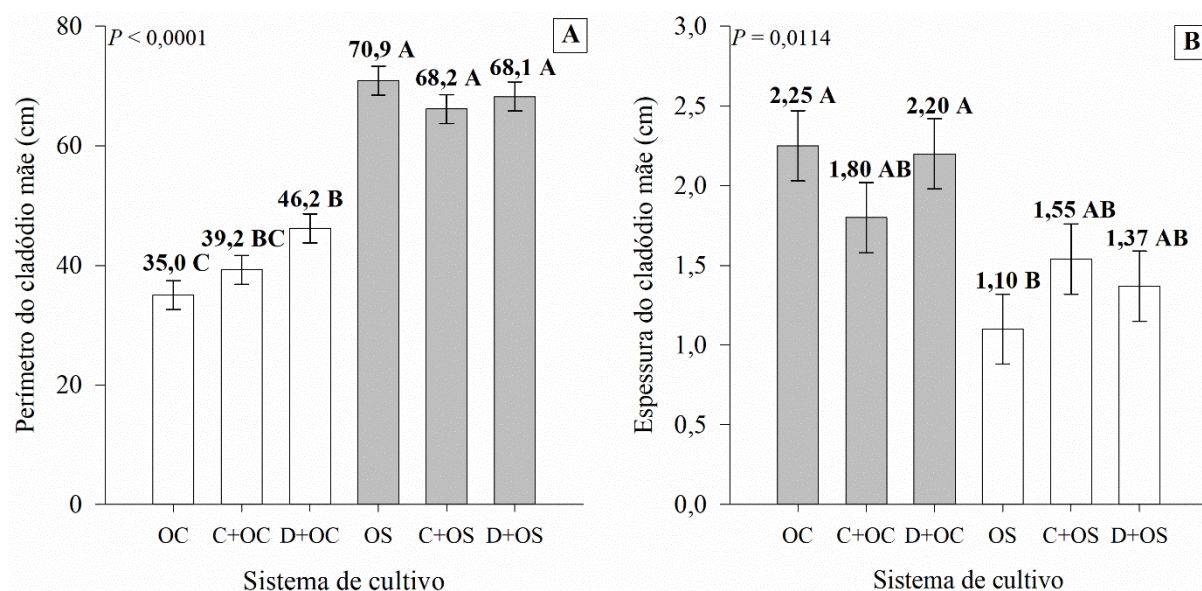


Figura 3. Efeito do sistema de cultivo no perímetro do cladódio mãe (A) e espessura do cladódio mãe (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). OC: *O. cochenillifera*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenillifera*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; OS: *O. stricta*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*. EPM = 2,43, 0,22.

Foram observados efeitos isolados dos anos de avaliações para o perímetro do cladódio mãe (Figura 4), com maior média no segundo ano (55,7 cm) em relação ao primeiro (52,8 cm).

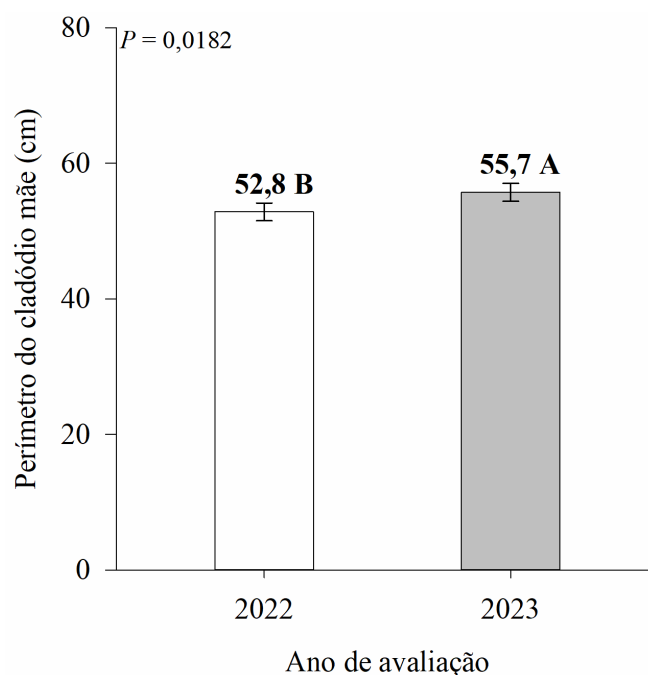


Figura 4. Efeito do ano de avaliação no perímetro do cladódio mãe da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco. Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). EPM = 1,31.

Da mesma forma, foram observados também efeitos isolados dos anos de avaliações para comprimento e largura do cladódio mãe, com maiores resultados para o segundo, com média de 23,6 (Figura 5A) e 23,2 cm (Figura 5B), respectivamente.

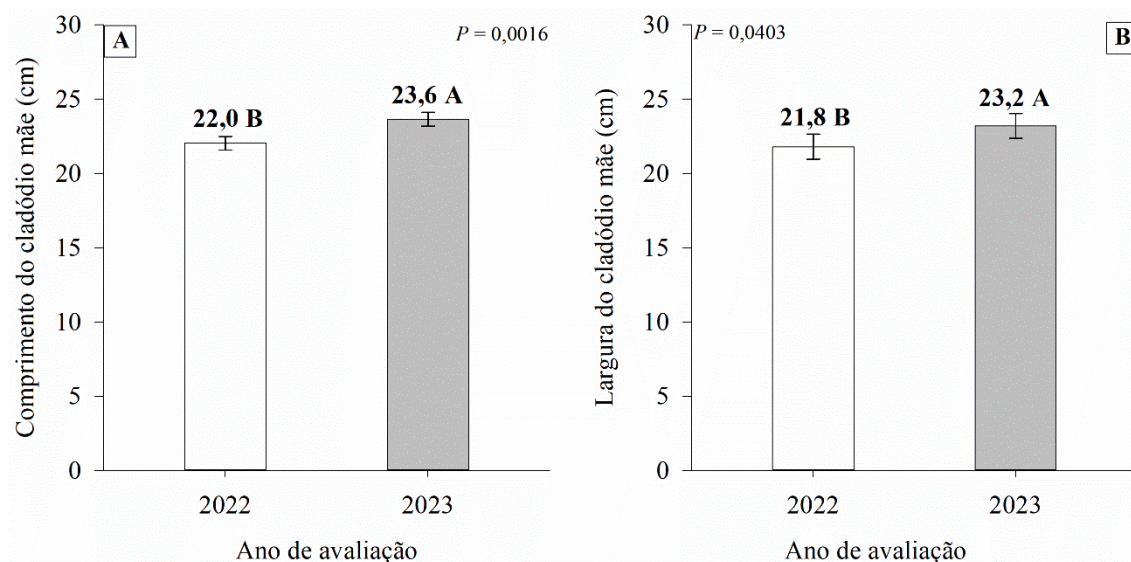


Figura 5. Efeito do ano de avaliação no comprimento do cladódio mãe (A) e largura (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco. Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). EPM = 2,43, 1,31.

De maneira semelhante, não foram detectadas diferenças para comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios secundários entre os sistemas de monocultivo e consórcio de *O. cochenillifera* ao longo dos dois anos de avaliações, bem como não houve diferenças entre a *O. stricta* em consórcio com *C. ternatea*, em relação ao consórcio com *D. pernambucanus* (Tabela 5). Adicionalmente, as plantas nos arranjos da *O. cochenillifera* apresentaram maior comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios secundários que a *O. stricta* no primeiro ano de avaliação. No ano seguinte, esse comportamento foi semelhante, com exceção da largura do cladódio secundário da *O. stricta* consorciada com as duas leguminosas, que não apresentaram diferenças para as plantas da *O. cochenillifera* nos diferentes arranjos.

Tabela 5. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios secundários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Comprimento do cladódio secundário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	12,1 Ba	14,8 Aa	0,0489
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	12,3 Ba	15,5 Aa	0,0268
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	12,7 Ba	16,5 Aa	0,0076
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ac	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	6,4 Ab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	7,8 Ab	0,0007
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,40		
Largura do cladódio secundário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	5,7 Ba	7,7 Aa	0,0367
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,4 Aa	7,5 Aa	0,2631
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,9 Aa	7,3 Aa	0,6303
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	5,9 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	4,4 Aa	<0,0001
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,98		
Espessura do cladódio secundário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,7 Aa	0,8 Aab	0,3495
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,8 Aa	0,7 Aabc	0,2713
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,9 Aa	0,9 Aa	0,7829
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ad	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	0,4 Abcd	0,0007
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	0,4 Acd	0,0047
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,11		
Perímetro do cladódio secundário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	26,5 Aa	33,4 Aa	0,0548
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	29,2 Aa	34,8 Aa	0,1198
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	29,9 Aa	33,9 Aa	0,2533
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ac	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	18,6 Ab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	13,1 Abc	0,0003
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	2,58		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Por não ter sido constatado cladódios terciários nos sistemas *O. cochenillifera*, *O. stricta*, *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* no primeiro ano de avaliação, impediu diferenças entre tratamentos (Tabela 6). Também não foram observadas diferenças nos consórcios *C. ternatea* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* em relação

ao monocultivo da *O. cochenillifera* no segundo ano de avaliação para essas características. Porém, observou-se aumento no comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios terciários para todos os arranjos da *O. cochenillifera* no segundo ano em relação ao primeiro.

Tabela 6. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o comprimento, largura, espessura e perímetro dos cladódios terciários da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Comprimento do cladódio terciário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,0 Bb	10,6 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	3,9 Ba	11,0 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	4,1 Ba	11,0 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	0,7 Ab	0,5489
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
P	0,0020	<0,0001	
EPM	1,20		
Largura do cladódio terciário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,0 Bb	5,3 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1,8 Ba	5,4 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	2,1 Ba	5,6 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Bb	0,7 Ab	0,2772
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
P	0,0016	<0,0001	
EPM	0,63		
Espessura do cladódio terciário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,0 Bb	0,56 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,2 Ba	0,46 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,2 Ba	0,57 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,00 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,03 Ab	0,6044
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,00 Ab	1,0000
P	0,0004	<0,0001	
EPM	0,06		
Perímetro do cladódio terciário (cm)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,0 Bb	22,8 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	7,1 Ba	24,8 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	10,5 Ba	24,2 Aa	<0,0001
<i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	1,9 Ab	0,4604
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,0 Ab	0,0 Ab	1,0000
P	0,0024	<0,0001	
EPM	2,66		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.2 Características morfológicas das leguminosas entre as épocas do ano

Não foram observadas diferenças entre as leguminosas em monocultivo e seus consórcios com a palma forrageira para as variáveis número de ramo primário (Figura 6A), diâmetro de ramos secundários (Figura 6 B), comprimento da folha (Figura 7A) e largura da folha (Figura 7B), com média 3; 0,11; 7,3 e 5,6, respectivamente para a *C. ternatea* e 4; 0,16; 5,3 e 3,9 para *D. pernambucanus*.

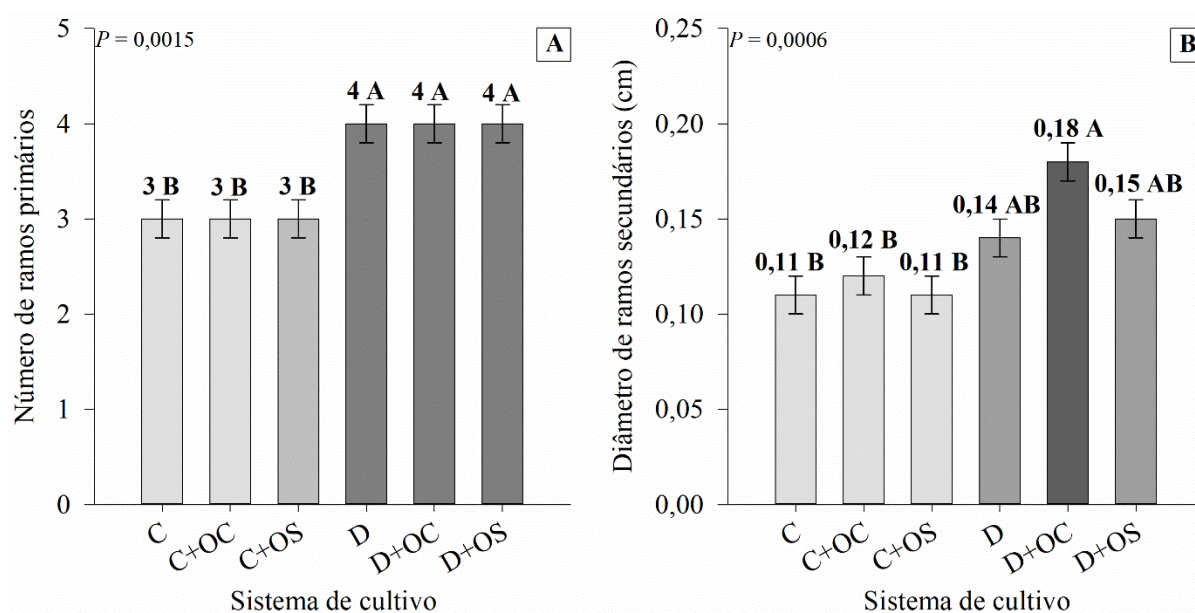


Figura 6. Efeito dos sistemas de cultivo sobre o número de ramos primários (A) e diâmetro dos ramos secundários (B) das leguminosas sob monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). C: *C. ternatea*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenilifera*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; D: *D. pernambucanus*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenilifera*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*.

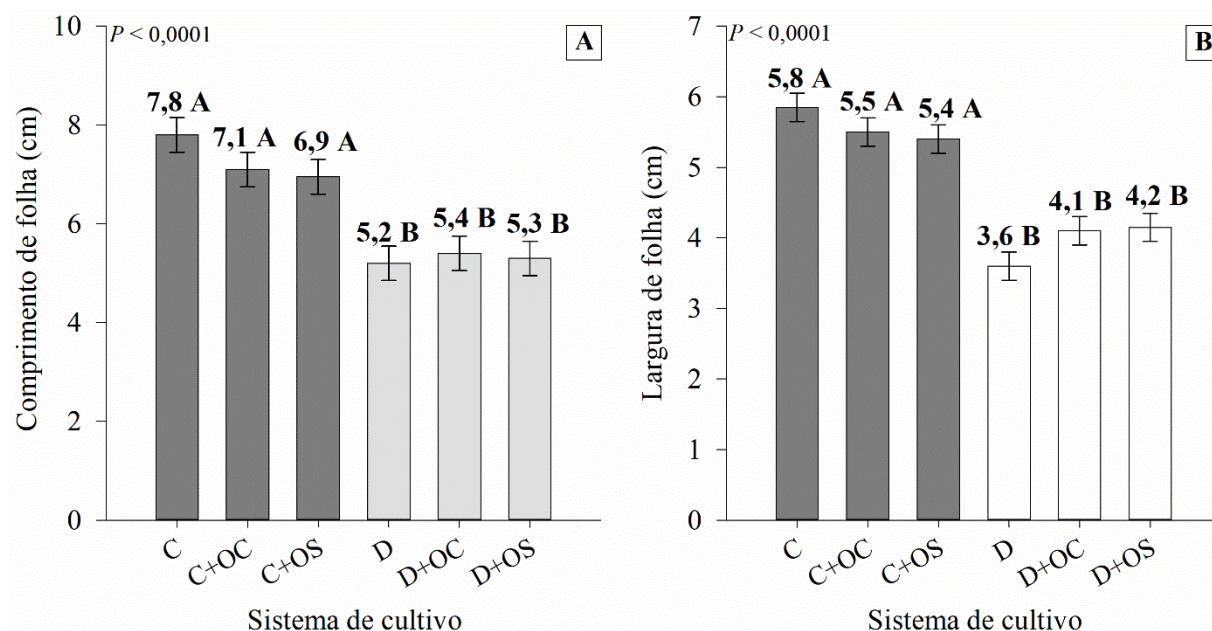


Figura 7. Efeito dos sistemas de cultivo sobre o comprimento da folha (A) e largura da folha (B) de leguminosas sob sistemas de monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). C: *C. ternatea*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenilífera*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; D: *D. pernambucanus*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenilífera*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*.

Não houve diferenças para altura e largura de planta, comprimento do ramo primário e secundário entre as leguminosas em monocultivo e em seus consórcios nas épocas chuvosas e seca (Tabela 7). No entanto, as plantas nos arranjos apresentaram maior altura, largura de planta e comprimento do ramo primário na época chuvosa, com exceção do monocultivo da *C. ternatea*, que não teve diferença na altura de planta observada na época chuvosa e seca. Além disso, não foram observadas diferenças para comprimento ramo secundário entre os tratamentos, com exceção da planta consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenilífera* que apresentou menor comprimento do ramo secundário na época seca (39,9 cm) (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a altura, largura de planta, comprimento dos ramos primários e secundários das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliações		P
	Chuvosa	Seca	
	Altura de Planta (cm)		
<i>C. ternatea</i>	46,8 Ab	43,6 Aab	0,1568
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	49,2 Ab	44,5 Bab	0,0347
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	47,7 Ab	40,0 Bb	0,0005
<i>D. pernambucanus</i>	58,1 Aa	45,0 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	65,6 Aa	51,3 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	61,8 Aa	49,7 Ba	<0,0001
P	<0,0001	0,0019	
EPM	2,21		
	Largura de Planta (cm)		
<i>C. ternatea</i>	83,7 Abcd	62,5 Babc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	79,5 Acd	56,0 Bc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	72,2 Ad	58,0 Bbc	0,0008
<i>D. pernambucanus</i>	97,2 Aabc	76,7 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	107,3 Aa	77,6 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	101,5 Aab	78,6 Ba	<0,0001
P	<0,0001	0,0002	
EPM	4,23		
	Comprimento do ramo primário (cm)		
<i>C. ternatea</i>	78,4 Aab	50,5 Bab	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	73,4 Aab	51,5 Bab	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	70,9 Ab	47,9 Bb	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	73,9 Aab	58,1 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	83,1 Aa	61,2 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	79,4 Aab	60,9 Ba	<0,0001
P	0,0373	0,0020	
EPM	3,18		
	Comprimento do ramo secundário (cm)		
<i>C. ternatea</i>	37,5 Aab	38,5 Aa	0,6715
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	35,2 Ab	36,8 Aa	0,4923
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	35,2 Ab	37,1 Aa	0,4077
<i>D. pernambucanus</i>	43,9 Aab	39,7 Aa	0,0664
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	46,8 Aa	39,9 Ba	0,0028
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	43,6 Aab	40,4 Aa	0,1741
P	0,0004	0,8443	
EPM	2,23		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Na época chuvosa, não foram observadas diferenças para diâmetro do caule, diâmetro do ramo primário e número de folíolos entre as leguminosas cultivadas em monocultivo em relação aos seus consórcios com as espécies de palma forrageira. No entanto, nessa mesma época, as plantas nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (19,0) e *D.*

pernambucanus + *O. stricta* (18,0) tiveram maior número de folhas médias em comparação ao monocultivo de *D. pernambucanus* (13,0) (Tabela 8).

Na época seca, também não se observou diferenças para o diâmetro do ramo primário e número de folhas entre as duas leguminosas em monocultivo e seus consórcios com as espécies de palma forrageira, bem como no número de folíolos nos arranjos da *D. pernambucanus* (Tabela 8). No entanto, nessa época, o diâmetro do caule da leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* (2,03 cm) foi maior que na leguminosa no arranjo *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1,18 cm). Além disso, a *C. ternatea* em monocultivo (11,0) teve maior média no número de folíolos que a planta no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (9,0) (Tabela 8).

Observou-se menor diâmetro do ramo primário nas plantas colhidas na época seca, em relação a chuvosa na *D. pernambucanus* e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*. Além disso, houve diminuição no número de folhas nas plantas em consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* nessa mesma época (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre o diâmetro do caule, diâmetro do ramo primário, número de folíolos e folhas das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliações		P
	Chuvosa	Seca	
	Diâmetro do caule (cm)		
<i>C. ternatea</i>	1,10 Aa	0,90 Ab	0,3381
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,97 Aa	0,91 Ab	0,7859
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	1,05 Aa	1,09 Ab	0,8445
<i>D. pernambucanus</i>	1,35 Aa	1,37 Aab	0,9519
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1,46 Aa	1,18 Ab	0,1869
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	1,39 Ba	2,03 Aa	0,0021
P	0,2128	<0,0001	
EPM	0,21		
	Diâmetro do ramo primário (cm)		
<i>C. ternatea</i>	0,44 Aabc	0,38 Aab	0,0818
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,36 Ac	0,30 Ab	0,0730
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,42 Abc	0,47 Aab	0,1637
<i>D. pernambucanus</i>	0,53 Aab	0,44 Ba	0,0117
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,59 Aa	0,46 Ba	0,0003
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,56 Aab	0,53 Aa	0,3605
P	<0,0001	0,0007	
EPM	0,36		
	Número de folíolos		
<i>C. ternatea</i>	5,0 Bb	11,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,0 Bb	9,0 Abc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	5,0 Bb	10,0 Aab	<0,0001

<i>D. pernambucanus</i>	9,0 Aa	8,0 Abc	0,0664
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	9,0 Aa	8,0 Abc	0,8202
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	7,0 Aa	7,0 Ac	0,9396
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,62		
	Número de folhas		
<i>C. ternatea</i>	10,0 Abc	9,0 Ab	0,3722
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	9,0 Ac	8,0 Ab	0,6272
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	9,0 Ac	7,0 Ab	0,1155
<i>D. pernambucanus</i>	13,0 Ab	14,0 Aa	0,3936
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	19,0 Aa	15,0 Ba	0,0003
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	18,0 Aa	15,0 Ba	0,0211
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,19		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: erro padrão da média.

3.1.3 Características morfológicas das leguminosas entre os anos de avaliações

Não foram observadas diferenças para altura de planta, comprimento do ramo secundário, diâmetro do caule e diâmetro do ramo primário entre as leguminosas cultivadas em monocultivo e seus consórcios com as espécies de palma forrageira ao longo dos dois anos de avaliações (Tabela 9). No entanto, todas as plantas dos arranjos envolvendo *D. pernambucanus* tiveram menor na altura de planta no segundo ano, em comparação ao primeiro. De maneira semelhante, nesse mesmo ano observou-se menor comprimento do ramo secundário nas plantas nos arranjos *C. ternatea* + *O. stricta* e em todos tratamentos da *D. pernambucanus*.

Por outro lado, observou-se maior diâmetro do caule nas leguminosas nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1,6 cm) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (2,2 cm) no segundo ano de avaliação, em relação ao primeiro. Da mesma forma, o diâmetro do ramo primário foi maior em todos os tratamentos com *D. pernambucanus* (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a altura de planta, comprimento do ramo secundário, diâmetro do caule e do ramo primário de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Altura de Planta (cm)		
<i>C. ternatea</i>	45,7 Ac	44,7 Ab	0,6468
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	47,9 Abc	45,9 Ab	0,3671
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	43,6 Ac	44,2 Ab	0,7834
<i>D. pernambucanus</i>	54,4 Aab	48,7 Bab	0,0097
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	62,3 Aa	54,7 Ba	0,0007
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	59,8 Aa	51,7 Bab	0,0003
P	<0,0001	0,0015	
EPM	2,21		
	Comprimento do ramo secundário (cm)		
<i>C. ternatea</i>	39,6 Abc	36,4 Aa	0,1678
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	37,5 Ac	34,6 Aa	0,2107
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	39,2 Abc	33,1 Ba	0,0086
<i>D. pernambucanus</i>	47,5 Aab	36,1 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	49,7 Aa	37,0 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	48,3 Aab	35,7 Ba	<0,0001
P	<0,0001	0,8726	
EPM	2,32		
	Diâmetro do caule (cm)		
<i>C. ternatea</i>	0,9 Aa	1,1 Ab	0,1820
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,9 Aa	1,0 Ab	0,8682
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	0,9 Aa	1,2 Ab	0,3815
<i>D. pernambucanus</i>	1,2 Aa	1,5 Aab	0,0753
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1,0 Ba	1,6 Aab	0,0046
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	1,2 Ba	2,2 Aa	<0,0001
P	0,7094	<0,0001	
EPM	0,21		
	Diâmetro do ramo primário (cm)		
<i>C. ternatea</i>	0,4 Aa	0,4 Abc	0,0556
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,3 Aa	0,3 Ac	0,6381
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	0,4 Aa	0, 4Abc	0,9306
<i>D. pernambucanus</i>	0,4 Ba	0,5 Aab	0,0024
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,4 Ba	0,6 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,4 Ba	0,7 Aa	<0,0001
P	0,1737	<0,0001	
EPM	0,36		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não foram observadas diferenças para número de folíolos entre as leguminosas cultivadas em monocultivo e em seus consórcios com as espécies de palma forrageira ao longo

dos dois anos de avaliações (Tabela 10). No entanto, ao comparar os tratamentos entre os anos observou-se que os tratamentos com *C. ternatea* tiveram menor número de folíolos e folhas no segundo ano em relação ao primeiro. Os tratamentos com *D. pernambucanus* também tiveram menor média no número de folhas no segundo ano de avaliação.

Tabela 10. Efeito da interação entre sistema de cultivo x anos de avaliações sobre número de folíolos e folhas de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Número de folíolos		
<i>C. ternatea</i>	9,0 Aa	6,0 Bbc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	8,0 Aab	6,0 Bc	0,0002
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	9,0 Aab	6,0 Bc	0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	8,0 Aab	8,0 Aa	0,8399
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	9,0 Aab	8,0 Aab	0,1809
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	7,0 Ab	8,0 Aabc	0,6677
P	0,0236	<0,0001	
EPM	0,62		
	Número de folhas		
<i>C. ternatea</i>	11,0 Ac	7,0 Bbc	0,0010
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	10,0 Ac	7,0 Bbc	0,0085
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	9,0 Ac	7,0 Bc	0,0148
<i>D. pernambucanus</i>	17,0 Ab	10,0 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	22,0 Aa	12,0 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	22,0 Aa	12,0 Ba	<0,0001
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,19		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.4 Características morfológicas da leguminosa: Épocas x anos de avaliações

Não houve diferença para o número de ramos secundários, diâmetro de ramos secundários e largura da folha entre as épocas chuvosa e seca no primeiro ano. No entanto, nesse mesmo ano, a altura de planta (58,3 cm) e o número de folhas (17,0) foram maiores na época chuvosa, enquanto o número de ramos primários (4,0) e número de folíolos (10,0) tiveram maiores médias na época seca (Tabela 11).

No segundo ano, apenas para número de ramos primários e folhas das leguminosas, não se observou diferenças entre as épocas do ano. No entanto, para altura de planta (51,5 cm), diâmetro do ramo secundário (0,14 cm) e largura da folha (5,4 cm) observou-se maiores médias na época chuvosa. Ao comparar essas variáveis entre os anos, observou-se que no segundo ano,

durante a época chuvosa, maiores médias no número de ramos primários e largura da folha. Em contrapartida, na época seca desse mesmo ano, observou-se menor número de ramos primários, diâmetro de ramos secundários, largura das folhas, número de folíolos e número de folhas (Tabela 11).

Tabela 11. Efeito da interação de épocas e anos de avaliações sobre as características morfológicas de leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Agreste do Pernambuco.

Épocas do ano	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Altura de planta (cm)		
Chuvosa	58,3 Aa	51,5 Ba	<0,0001
Seca	46,3 Ab	45,2 Ab	0,3884
P-Valor	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,28		
	Número de ramos primários		
Chuvosa	2,0 Bb	4,0Aa	<0,0001
Seca	4,0 Aa	3,0 Ba	0,0063
P-valor	<0,0001	0,1038	
EPM	0,25		
	Número de ramos secundários		
Chuvosa	8,0 Aa	6,0 Bb	<0,0001
Seca	7,0 Aa	7,0 Aa	0,0671
P-valor	0,0007	0,0060	
EPM	0,33		
	Diâmetro do ramo secundário (cm)		
Chuvosa	0,14 Aa	0,14 Aa	0,4577
Seca	0,15 Aa	0,11 Bb	0,0013
P-valor	0,2749	0,0040	
EPM	0,011		
	Largura da folha (cm)		
Chuvosa	4,3 Ba	5,4 Aa	<0,0001
Seca	4,1Aa	4,5 Bb	0,0182
P-valor	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,11		
	Número de folíolos		
Chuvosa	7,0 Ab	7,0 Ab	0,5024
Seca	10,0 Aa	8,0 Ba	<0,0001
P-valor	<0,0001	0,0330	
EPM	0,35		
	Número de folhas		
Chuvosa	17,0 Aa	9,0 Ba	<0,0001
Seca	13,0 Ab	9,0 Ba	<0,0001
P-valor	<0,0001	0,9414	
EPM	0.69		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.5 Características produtivas da palma forrageira

O consórcio de palmas com leguminosas não impactou a produção de matéria seca (PMS) da *O. stricta* nos dois anos avaliados (Tabela 12). Contudo, o sistema consorciado afetou a PMS da *O. cochenillifera* no segundo ano, em que o monocultivo da *O. cochenillifera* apresentou PMS de 2.933 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, resultado superior as plantas nos consórcios com *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (1.394 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) e *C. ternatea* + *O. stricta* (1.175 kg.ha⁻¹.ano⁻¹). Ao comparar a PMS de cada sistema de palma entre anos, observou-se no segundo ano maiores médias para todos os tratamentos, com exceção da palma no arranjo *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*.

Tabela 12. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca das espécies de palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	kg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹		
<i>O. cochenillifera</i>	1.036 Bab	2.993 Aa	0,0002
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	484 Bb	1.394 Abc	0,0397
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	826 Aab	1.175 Ac	0,4062
<i>O. stricta</i>	2.171 Ba	3.930 Aa	0,0004
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	1.058 Bab	3.544 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	1.091 Bab	2.599 Aab	0,0017
P	0,0260	<0,0001	
EPM	410,3		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.1.6 Características produtivas (corte) das leguminosas entre as épocas do ano

Independentemente da época de avaliação, a *C. ternatea* apresentou maior PMS por corte em monocultivo, em comparação aos seus consórcios (Tabela 13). Na época chuvosa, a diferença nas médias da PMS foi de 469,0 e 417,0 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ para leguminosa nos tratamentos *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (263 kg.ha⁻¹.corte⁻¹) e *C. ternatea* + *Opuntia stricta* (315 kg.ha⁻¹.corte⁻¹), respectivamente. Na época seca, esse comportamento se manteve, com PMS média da *C. ternatea* em monocultivo de 530 kg.ha⁻¹.corte⁻¹, sendo 308,0 e 319,0 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ maior que as médias da produção das leguminosas nos consórcios *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (222 kg.ha⁻¹.corte⁻¹) e *C. ternatea* + *O. stricta* (211 kg.ha⁻¹.corte⁻¹), respectivamente (Tabela 13). Porém, entre os anos de avaliações, os consórcios da *C. ternatea*,

não apresentaram diferenças na PMS, diferente do monocultivo que apresentou maior valor na época chuvosa (732 kg.ha⁻¹.corte⁻¹).

A *D. pernambucanus* também apresentou o mesmo comportamento, com maior PMS média no monocultivo nas duas épocas de avaliação, em comparação aos consórcios. Na época chuvosa, a diferença nas médias da PMS foi 564 e 615 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ para leguminosa nos tratamentos *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *Opuntia stricta*, respectivamente (Tabela 13). Na época seca essa diferença nas médias foi menos pronunciada, com 410 e 426 kg.ha⁻¹.corte⁻¹. No entanto, os três arranjos da *D. pernambucanus* apresentaram menor média na época seca comparado a chuvosa, com PMS de 769; 359 e 343 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ para a *D. pernambucanus*, *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*, respectivamente (Tabela 13).

Tabela 13. Efeito da interação entre sistemas de cultivos x épocas de avaliações na produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	Chuvosa	Seca	
	kg.corte ⁻¹ .ha ⁻¹		
<i>C. ternatea</i>	732 Ab	530 Bab	0,0132
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	263 Ae	222 Ac	0,6073
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	315 Ade	211 Ac	0,1997
<i>D. pernambucanus</i>	1.123 Aa	769 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	559 Abc	359 Bbc	0,0143
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	508 Acd	343 Bbc	0,0415
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	80,28		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.1.7 Características produtivas (corte) das leguminosas entre os anos

Ao longo dos dois anos de avaliações, a *C. ternatea* apresentou desempenho superior na produção por corte na planta em monocultivo em comparação aos seus sistemas consorciados. No primeiro ano, as diferenças nas médias da PMS do monocultivo foi 399 e 392 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ para os consórcios *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (218 kg.ha⁻¹.corte⁻¹) e *C. ternatea* + *O. stricta* (225 kg.ha⁻¹.corte⁻¹), respectivamente. Essa tendência manteve-se no segundo ano, quando a PMS do monocultivo (645 kg.ha⁻¹.corte⁻¹) superou em 378 e 344 kg.ha⁻¹.corte⁻¹ os valores médios registrados nos consórcios com *O. cochenillifera* (267 kg.ha⁻¹.corte⁻¹) e *O. stricta* (301 kg.ha⁻¹.corte⁻¹), respectivamente (Tabela 14).

De maneira semelhante, a *D. pernambucanus* também exibiu maior PMS por corte em monocultivo em comparação aos arranjos consorciados ao longo dos dois anos de estudo. No primeiro ano, o monocultivo ($991 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$) apresentou diferenças nas médias de 481 e $520 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$ aos tratamentos *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* ($510 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* ($471,0 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$), respectivamente. No segundo ano, essa vantagem foi novamente verificada, com o monocultivo atingindo $901 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$, superando as médias dos consórcios em 493 e $521 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$, respectivamente, em relação aos arranjos com *O. cochenillifera* ($408,0 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$) e *O. stricta* ($380,0 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$) (Tabela 14). Entretanto, diferentemente do comportamento da PMS nas diferentes épocas do ano, não foram observadas diferenças na produção por corte entre os anos de avaliações.

Tabela 14. Efeito da interação entre sistema de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	kg.corte ⁻¹ .ha ⁻¹		
<i>C. ternatea</i>	617 Ab	645 Ab	0,7338
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	218 Ad	267 Ac	0,5464
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	225 Acd	301 Ac	0,3441
<i>D. pernambucanus</i>	991 Aa	901 Aa	0,2651
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	510 Ab	408 Ac	0,2048
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	471 Abc	380 Ac	0,2581
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	80,28		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.8 Características produtivas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

Nos dois anos de avaliações, observou-se maior PMS na época chuvosa, com médias de 583 e $584 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{corte}^{-1}$, no primeiro e segundo ano, respectivamente. No entanto, ao comparar a PMS por época entre os anos, não se observou diferenças.

Tabela 15. Efeito da interação entre épocas x anos de avaliações sobre a produção de matéria seca (corte) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Épocas do ano	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	kg.corte ⁻¹ .ha ⁻¹		
Chuvosa	583 Aa	584 Aa	1,0000
Seca	428 Ab	383 Ab	0,8183
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	51,64		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.1.9 Características produtivas (anual) das leguminosas entre os anos

Nos dois anos avaliados, a *C. ternatea* também apresentou maior PMS anual em monocultivo, em comparação aos consórcios. No primeiro ano, a diferença nas médias para PMS do monocultivo (1.942 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) foi de 1.277 e 1.225 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ para os tratamentos da *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (665 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) e *C. ternatea* + *Opuntia stricta* (717 kg.ha⁻¹.ano⁻¹), respectivamente. No segundo ano, essa superioridade se manteve, com PMS anual do monocultivo (1.527 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) sendo 963 e 844 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ maior que os consórcios *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (564 kg.ha⁻¹) e *C. ternatea* + *O. stricta* (683 kg.ha⁻¹), respectivamente (Tabela 16). Porém, entre os anos de avaliações, os consórcios da *C. ternatea*, também não apresentaram diferenças na PMS anual.

Nos dois anos avaliados, a *D. pernambucanus* também apresentou maior PMS anual na planta em monocultivo em comparação aos seus consórcios. No primeiro ano, a diferença entre as médias PMS foi 1.521 e 1.654 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ superior aos tratamentos *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (1.619 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (1.486 kg.ha⁻¹.ano⁻¹), respectivamente. No segundo ano, essa superioridade também se manteve, com PMS anual no monocultivo de 2.058 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, sendo 1.112 e 1.264 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ maior nas médias dos consórcios com *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (946 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (794 kg.ha⁻¹.ano⁻¹), respectivamente (Tabela 16). No entanto, nos três arranjos, as plantas apresentaram menor média no segundo ano.

Tabela 16. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca anual das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	kg.ha ⁻¹		
<i>C. ternatea</i>	1.942 Ab	1.527 Bab	0,0482
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	665 Ac	564 Ac	0,6105
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	717 Ac	683 Ac	0,8660
<i>D. pernambucanus</i>	3.140 Aa	2.058 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1.619 Ab	946 Bbc	0,0030
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	1.486 Ab	794 Bc	0,0024
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	196,20		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.10 Características produtivas dos sistemas

Para PMS dos sistemas (Produção da palma + Produção das leguminosas, quando consorciadas (Tabela 17), não houve diferenças na *C. ternatea* e da *D. pernambucanus* em monocultivo dos seus consórcios no primeiro ano de avaliação, bem como no segundo ano para *C. ternatea*. No entanto, a média da PMS da *D. pernambucanus* no arranjo *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (4.490 kg.ha⁻¹. ano⁻¹) foi maior que a *D. pernambucanus* em monocultivo (2.058 kg.ha⁻¹. ano⁻¹).

Ao comparar a PMS entre os sistemas consorciados e os monocultivos das espécies de palma, verificou-se que a *O. cochenillifera* consorciada com *D. pernambucanus* apresentou médias maiores que o monocultivo da *O. cochenillifera*, com diferenças de 1.641 e 1.498 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ no primeiro e segundo ano de avaliação, respectivamente. Em contrapartida, para *O. stricta*, observou-se maior produção no monocultivo durante o segundo ano (3.929 kg.ha⁻¹.ano⁻¹), superando o consórcio com *C. ternatea*, cuja média foi de 1.858 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, o que representa uma diferença de 2.071 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ entre os sistemas.

Tabela 17. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na produção de matéria seca da(s) cultura(s) nos sistemas de produção no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
<i>C. ternatea</i>	1.942 Aabcd	1.527 Ae	0,3511
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	1.149 Acd	1.957 Acde	0,0769
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	1.542 Abcd	1.858 Ade	0,4777
<i>D. pernambucanus</i>	3.140 Aa	2.058 Bcde	0,0208
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	2.677 Bab	4.490 Aa	0,0004
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	2.577 Aabc	3.393 Aabc	0,0743
<i>O. cochenillifera</i>	1.036 Bd	2.992 Abcd	0,0002
<i>O. stricta</i>	2.171 Babcd	3.929 Aab	0,0005
P	0,0004	<0,0001	
EPM	437, 27		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.11 Taxa de sobrevivência das culturas

A taxa de sobrevivência das palmas forrageiras não apresentou diferenças entre as plantas cultivadas em sistemas de monocultivo e consórcio nos dois anos de avaliações (Tabela 19). Contudo, nos tratamentos que incluíram *O. cochenillifera*, observou-se redução na taxa de sobrevivência no segundo ano, com decréscimos de 4,17; 6,45 e 4,17 % nos tratamentos com *O. cochenillifera*, *C. ternatea* + *O. cochenillifera* *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*, respectivamente. Em contrapartida, os tratamentos com *O. stricta* não apresentaram diferenças nas taxas de sobrevivência ao longo dos dois anos de avaliações.

Tabela 18. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na taxa de sobrevivência (%) de espécies de palma forrageira em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
<i>O. cochenillifera</i>	96 Ab	92 Bb	0,0039
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	93 Ab	87 Bb	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	96 Ab	92 Bb	0,0039
<i>O. stricta</i>	100 Aab	100 Aa	0,9998
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	99 Aa	99 Aa	0,9998
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	99 Aab	99 Aa	0,9998
P	0,1294	0,0003	
EPM	1,13		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

A taxa de sobrevivência das leguminosas também não apresentou diferenças entre as plantas cultivadas em sistemas de monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 18). Contudo, nos tratamentos que incluíram *C. ternatea*, observou-se redução na taxa de sobrevivência no segundo ano, com decréscimos de 16,8%, 23,4% e 14,1% nos tratamentos com *C. ternatea*, *C. ternatea* + *O. cochenillifera* e *C. ternatea* + *O. stricta*, respectivamente. Em contrapartida, os tratamentos com *D. pernambucanus* não apresentaram diferenças nas taxas de sobrevivência ao longo dos dois anos avaliados.

Tabela 19. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações na sobrevivência (%) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
<i>C. ternatea</i>	77 Ab	64 Bb	0,0017
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	77 Ab	59 Bb	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	78 Ab	67 Bb	0,0067
<i>D. pernambucanus</i>	84 Aab	82 Aa	0,5928
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	92 Aa	88 Aa	0,2363
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	84 Aab	88 Aa	0,2905
P	0,0081	<0,0001	
EPM	3,67		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3. 2 Discussão

3.2.1 Características morfológicas da palma forrageira

O aumento na altura de planta e largura de planta (Tabela 2) no segundo ano de avaliação pode ser atribuído ao maior desenvolvimento do sistema radicular e ao maior estabelecimento das plantas de palma ao longo do tempo. Neste sentido, Edvan et al. (2013), ao avaliarem o crescimento das raízes da palma em várias épocas de colheita, observaram que as raízes *Opuntia ficus-indica* Mill – cv. Gigante atingiram a profundidade de 30 cm no primeiro ano e 40 cm no segundo ano em mesmo tipo de solo do experimento, arenoso.

O maior incremento na largura de planta apresentado na palma no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta*, em comparação com *D. pernambucanus* + *O. stricta* no segundo ano (Tabela 2) pode estar relacionado a interações mais específicas entre as espécies do primeiro consórcio, promovendo condições que beneficiam o crescimento lateral das plantas, como por exemplo menor altura de planta comparada a *D. pernambucanus* (Tabelas 7 e 9), permitindo maior espaço físico para o crescimento da *O. stricta*. Além disso, o aumento na largura de planta para

a maioria dos tratamentos no segundo ano reforça a hipótese do melhor estabelecimento do sistema radicular e a maior eficiência na captação de recursos.

A ausência de diferenças para número de cladódios totais e nas diferentes ordens entre as plantas nos sistemas de monocultivo e consórcio (Tabela 3) indica que o manejo em consórcio não afetou negativamente o desenvolvimento das estruturas vegetativas das palmas, ao longo dos dois anos de estabelecimento, corroborando com os achados por Lira et al. (2022).

Os referidos autores objetivando avaliar o crescimento e a produtividade de três espécies de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Baiana em três sistemas de cultivo (monocultivo; consorciado com Algaroba e consorciado com Sabiá) não encontraram diferença na altura da planta, largura da planta, peso da planta, produção de matéria fresca, concentração de massa seca e área fotossintética ativa da palma forrageira em relação ao genótipo, sistema de cultivo e genótipo $\times$ interação do sistema de cultivo, após dois anos, em região Semiárida.

O aumento no número de cladódios totais e nas diferentes ordens observado no segundo ano para *O. cochenillifera*, bem como maior número de cladódios primários em todos os tratamentos da *O. stricta* (Tabela 3) reflete o benefício do maior tempo de estabelecimento para o desenvolvimento das plantas, com aumento na emissão de cladódios.

No caso de *O. stricta*, a ausência de cladódios de segunda e terceira ordem nos dois anos de avaliações (Tabela 3) representa sua arquitetura morfológica específica, caracterizada pela predominância de cladódios maiores, que requerem maior tempo para completa expansão, resultando em menor emissão de cladódios de ordem subsequente (Lahmidi et al., 2023). No entanto, a superioridade de *O. cochenillifera* em termos de número de cladódios totais, secundários e terciários em relação a *O. stricta* é uma característica inerente a este genótipo, produção de cladódios menores, porém, em maior quantidade (Edvan et al., 2020). Lira et al. (2022) também observaram menor dimensão de cladódios e maior número total para Miúda em condições de monocultivo e consorciada com Algaroba e Sabiá.

Amorim et al. (2015) destacam que espécies com maior capacidade de emissão de cladódios apresentam maior potencial para expansão e estabelecimento em sistemas de cultivo, especialmente em regiões Semiáridas, em que a rápida multiplicação de mudas pode ser um fator determinante para o sucesso do plantio.

Diante dos resultados obtidos, os consórcios com leguminosas não afetaram negativamente as características morfológicas dos cladódios primários e secundários no primeiro ano de avaliação nos dois gêneros cultivares, *O. cochenillifera* e *O. stricta*, bem como no segundo ano na *O. cochenillifera* para os cladódios primários (Tabela 4), secundários (Tabela 5) e terciários (Tabela 6). No entanto, observou-se que nesse mesmo ano para *O. stricta*

maiores comprimento e largura dos cladódios primários para os consórcios com as duas leguminosas, em relação ao monocultivo. Os aumentos observados possivelmente ocorreram devido os benefícios das leguminosas no sistema, como fixação biológica de nitrogênio (Diniz et al., 2021; Tang et al., 2024) e maior disponibilidade de nutrientes (Jiao et al., 2021).

3.2.2 Características morfológicas das leguminosas entre as épocas do ano

A ausência de diferenças para altura de planta, largura de planta, comprimento do ramo primário e secundário (Tabela 7) entre os sistemas de monocultivo e consórcio entre as épocas chuvosa e seca, sugere-se que o consórcio com as espécies de palma, não impactou o desenvolvimento das plantas. Porém ao comparar cada sistemas entre as épocas de avaliação, observou-se maior altura, largura de planta e comprimento do ramo primário na época chuvosa em todos os arranjos, com exceção da altura de planta da *C. ternatea* em monocultivo.

A *D. pernambucanus* apresentou altura média de planta entre os tratamentos de 61,8 e 48,7 cm nas épocas chuvosa e seca, respectivamente. Esse comportamento se assemelha aos resultados encontrados por Costa (2024) na Zona da Mata de Pernambuco, que encontrou maior altura de planta na época chuvosa (106,0cm), em comparação a seca (63,0cm) para *D. pernambucanus* colhida a cada 150 dias. As menores alturas, independente da época encontrada no presente estudo comparado a Costa (2024) pode estar associado a menor frequência de corte (90 dias), proporcionando menor tempo de recomposição dos tecidos.

Em contrapartida, a redução no crescimento das plantas, em termos de altura de planta, largura de planta e comprimento de ramo (Tabela 7) na época seca pode ser associada ao menor acúmulo de chuva que aconteceu durante o período de estiagem. Costa (2020) constatou que colheitas realizadas em períodos secos na Zona da Mata de Pernambuco reduziram as taxas morfogênicas de aparecimento, alongamento e expansão foliar (0,017 folha.dia⁻¹; 0,0031 e - 0,008 cm.dia⁻¹, respectivamente) da *D. pernambucanus* quando comparadas às colheitas realizadas em épocas chuvosas (0,19 folha.dia⁻¹; 0,04 e 0,02 cm.dia⁻¹).

Esse comportamento pode estar relacionado ao mecanismo de regulação fisiológica da planta, uma vez que sua via metabólica para a fixação do carbono e a fotossíntese ocorre diretamente pelo ciclo de Calvin, caracterizando-a como uma planta C3. Dessa forma, apresenta menor eficiência no uso da água em comparação às plantas C4 e CAM (Moura et al., 2020). Segundo Devia et al. (2020), plantas forrageiras nos trópicos crescem lentamente durante os períodos de baixa precipitação e alta temperatura.

A manutenção da altura de planta da *C. ternatea* em monocultivo (Tabela 7) entre as épocas chuvosa (46,8 cm) e seca (43,6 cm) sugere que essa espécie pode ter se beneficiado da menor competição por recursos, uma vez que, nesse arranjo, não houve interferência da palma forrageira, que é uma cultura mais competitiva em sistemas consorciados com outras forrageiras (Lopes et al., 2013). Além disso, a maior cobertura do solo proporcionada pelo monocultivo pode ter contribuído para a retenção de umidade, reduzindo os efeitos do déficit hídrico e favorecendo a estabilidade do crescimento da planta ao longo das estações.

Camelo (2024) observou que a *C. ternatea* em monocultivo (41 cm) na Zona da Mata de Pernambuco apresentou maior altura, em comparação à consorciada com elefante B e Mott (33 e 33 cm). Porém, a altura da *C. ternatea* entre os consórcios não diferiu. As maiores alturas encontradas no presente estudo podem estar associadas a maior distribuição de chuvas no local da pesquisa. Porém a autora observou também que *C. ternatea* em monocultivo apresentou maior altura na época chuvosa (40cm) comparada a seca (34cm), diferindo do presente trabalho.

A ausência de diferenças no diâmetro do caule, diâmetro do ramo primário e número de folíolos das leguminosas entre os sistemas de monocultivo e consorciados durante a época chuvosa (Tabela 8) sugere que sob condições favoráveis de umidade, essas plantas conseguem expressar seu crescimento de maneira semelhante, independentemente do arranjo de cultivo.

A maior presença de folhas na *D. pernambucanus* em consórcio durante o período chuvoso, indica possível efeito positivo da interação com a palma forrageira, possivelmente relacionado a modificações microambientais, proporcionadas pela palma, que atua como uma barreira contra ventos. Além disso, a palma também atua como barreira contra intensos, mesmo não sendo observadas formigas cortadeiras durante o experimento para essa planta. Outrossim, a palma reduz a incidência direta da radiação solar devido a maior cobertura do solo, minimizando o estresse térmico e hídrico.

Por outro lado, em condições de seca, pode haver maior competição por recursos naturais como água. Ao comparar o número de folhas dos arranjos entre as épocas, observou-se diminuição no número de folhas na leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *Opuntia stricta*. Essa perda de folhas talvez seja um mecanismo de adaptação das plantas para minimizar a transpiração e preservar a água disponível, devido uma competição por água entre as culturas.

Medeiros (2021) também observa redução no número de folhas da época chuvosa (Média de 11 folhas) para a seca (Média de 7 folhas) na *D. pernambucanus* na Zona da Mata de Pernambuco, com frequência de corte de 84 dias, tendo diferença de 4 folhas entre as épocas, quantidade semelhante observada neste experimento. Porém, a *D. pernambucanus* era cultivada

em condição de monocultivo. No entanto, a falta de diferenças no número de folhas na *D. pernambucanus* em monocultivo observada no presente experimento pode estar relacionado a maior adaptação dessa leguminosa as condições locais. Além disso, Medeiros (2021) observou maior balanço hídrico negativo.

A *C. ternatea* não apresentou diferenças no número de folhas em monocultivo e em consórcio nas duas épocas de avaliação (Tabela 8). Porém reduziu 2 folíolos no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (11), em comparação ao monocultivo de *C. ternatea* (9) na época seca, indicando que a interação com *O. cochenillifera* pode ter resultado em maior competição por recursos, afetando a quantidade de folíolos (Tabela 8).

3.2.3 Características morfológicas das leguminosas entre os anos de avaliações

A ausência de diferenças na altura de planta, comprimento de ramo secundário, diâmetro do caule e diâmetro do ramo primário entre as leguminosas cultivadas em monocultivo e em consórcio ao longo dos dois anos (Tabela 9) sugere que a presença das espécies de palma forrageira não afetou diretamente o crescimento estrutural dessas espécies. No entanto, a redução na altura de planta e comprimento do ramo secundário nos tratamentos da *D. pernambucanus* no segundo ano indica um possível efeito cumulativo das condições ambientais (Figura 1), como a limitação hídrica e nutricional, que podem ter impactado o crescimento vertical e a expansão lateral da *D. pernambucanus*.

Por outro lado, o aumento expressivo no diâmetro do caule na leguminosa nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* no segundo ano (Tabela 9) sugere que, apesar das limitações ambientais, houve direcionamento do crescimento para o engrossamento do caule. Esse padrão pode indicar uma estratégia de adaptação para garantir maior estabilidade estrutural e resistência ao déficit hídrico. Da mesma forma, o aumento no diâmetro do ramo primário em todos os tratamentos com *D. pernambucanus* reforça essa hipótese, evidenciando um possível investimento na estruturação da planta em resposta às condições ambientais do segundo ano.

A redução no número de folíolos e folhas (Tabela 10), nos arranjos envolvendo *C. ternatea* e *D. pernambucanus*, pode estar associada a mecanismos de resposta ao estresse hídrico, devido a menor disponibilidade hídrica no segundo ano (Figura 1). A menor área foliar reduz a perda de água por transpiração, uma estratégia comum em plantas forrageiras submetidas a condições de seca (Mastalerczuk et al., 2022). Esse comportamento pode ser uma

adaptação fisiológica para minimizar os impactos do déficit hídrico e manter a funcionalidade metabólica das plantas ao longo do ciclo produtivo.

3.2.4 Características morfológicas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

A sazonalidade tem impacto significativo em algumas variáveis morfológicas da planta, refletindo ajustes fenotípicos em resposta às condições ambientais. No primeiro ano, a maior altura de planta e o maior número de folhas durante a época chuvosa (Tabela 11) podem estar relacionados à maior disponibilidade hídrica (Figura 1) e nutricional, favorecendo o crescimento vegetativo.

Por outro lado, o aumento do número de ramos primários e folíolos na época seca do mesmo ano (Tabela 11) sugere possível adaptação morfológica para maximizar a captação de recursos sob estresse hídrico. A maior ramificação pode ser uma estratégia para aumentar a área de exploração do ambiente, enquanto folhas mais longas podem compensar eventuais reduções na taxa fotossintética devido à menor disponibilidade de água.

A redução de altura de planta, número de ramos secundários e folhas na época chuvosa do segundo ano em comparação ao primeiro (Tabela 11) pode estar associada a fatores como competição intraespecífica, mudanças nas condições edafoclimáticas ou até mesmo ao estágio fenológico da planta. Já na época seca, a diminuição do número de ramos primários, diâmetro de ramos secundários, largura da folha, número de folíolos e número de folhas entre os anos sugere uma resposta conservativa da planta, minimizando o gasto energético e reduzindo sua estrutura foliar para enfrentar o estresse hídrico.

Esses resultados reforçam a importância de considerar a sazonalidade ao avaliar a produtividade e a adaptação de espécies forrageiras. A capacidade da planta de ajustar sua morfologia conforme as condições ambientais demonstra um potencial adaptativo que pode ser explorado em sistemas de produção sustentáveis, garantindo maior eficiência no uso dos recursos naturais.

3.2.5 Características produtivas da palma forrageira

A *O. stricta* manteve sua produtividade nos sistemas consorciados nos dois anos de avaliações, enquanto os consórcios da *O. cochenillifera* foram afetados no segundo ano de avaliação (Tabela 12). Essa diferença pode estar associada à maior capacidade da *O. stricta* em lidar com as condições de consórcio, como competição por recursos. Jardim et al. (2021b) também não encontraram diferenças na PMS na *O. stricta* em consórcio com espécies de sorgo

de dupla aptidão nos dois anos de avaliações no Sertão de Pernambuco, sob condição de irrigação.

Por outro lado, a redução PMS de *O. cochenillifera* nos consórcios no segundo ano (Tabela 12), sugere que a leguminosa exerceu forte pressão competitiva por recursos naturais sob esse cultivar. A *O. stricta* por apresentar boas repostas agronômicas, sendo menos exigente em nutrientes, mais tolerante às condições de estresse hídrico em comparação a *O. cochenillifera* (Lopes et al., 2013) pode ter contribuído para seu desempenho nos consórcios.

O aumento expressivo na PMS no segundo ano de avaliação para todos os sistemas (Tabela 12), com exceção da *O. cochenillifera* no arranjo *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*, pode ser atribuído ao estabelecimento pleno das plantas de palma forrageira, um processo crítico para a maximização do desempenho produtivo. Durante o primeiro ano, as culturas possivelmente enfrentaram desafios relacionados ao enraizamento, adaptação ao ambiente e competição inicial com as espécies consorciadas, fatores que limitam seu crescimento.

No segundo ano, com as plantas mais adaptadas e suas estruturas radiculares totalmente desenvolvidas, houve provavelmente maior eficiência na captação de recursos como água e nutrientes, o que favoreceu o aumento da biomassa. Saraiva et al. (2022) também relataram esse comportamento, observando PMS de 2,3; 2,4 e 2,8 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ no primeiro ano de avaliação e de 3,8; 3,9 e 4,8 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ no segundo ano, respectivamente, para a palma IPA Sertânia nos sistemas Palma + Gliricídia, Palma + Leucena e Palma em monocultivo no Agreste Pernambucano.

Jardim et al. (2021b) também relataram maior PMS em cultivares de palma consorciada em comparação as cactáceas em monocultivo, com valores de 5,12; 3,41 e 1,32 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ para *O. stricta*, *O. cochenillifera* e IPA Sertânia em consórcio com sorgos de dupla aptidão, respectivamente, sob irrigação no Sertão pernambucano durante o primeiro ciclo. As maiores PMS encontradas por Jardim et al. (2021b) para as duas variedades em um ano de cultivo, em comparação aos resultados do primeiro ano do presente estudo podem estar associada a maior densidade de plantio de 1,0 x 0,2 m (50.000 plantas ha⁻¹); corte de uniformização, preservando o cladódio primário, o que garante mais rápida recuperação e maior brotação dos tecidos; as condições de irrigação e as maiores temperaturas do Sertão, comparada as temperaturas de Garanhuns, que além de apresentar menor temperatura, possuem maior nebulosidade durante todo ano, diminuindo a intensidade da luz para fotossíntese. Além disso, os autores também encontraram maior PMS no segundo ano, com cerca de 3,5 vezes maior produção que no primeiro.

Miranda et al. (2019) não encontram diferenças na PMS da palma IPA Sertânia em monocultivo (24,5 t.ha⁻¹) e consorciada com *Leucena* (21,2 t.ha⁻¹) e *Gliricídia* (20,5 t.ha⁻¹) no Agreste de Pernambuco. Essa PMS mais expressiva pode estar relacionada ao maior estabelecimento da cultura, pois a palma havia sido plantada há 5 anos; preservação também dos cladódios primários; densidade de plantio 1,0 x 0,25 m (40.000 plantas ha⁻¹); adubação com esterco, tendo como base a concentração de nitrogênio, atendendo a recomendação de 200 kg.ha⁻¹ de N e o corte bienal, o qual permite maior desenvolvimento da cultura. Farias et al. (2000) já relatam que a interação entre a maior frequência (4 anos) e intensidade de colheita (preservar cladódio primário) resulta em maior PMS (4,08 t.ha⁻¹) de palma Gigante, quando comparado com a frequência de colheita de 2 anos (3,43 t.ha⁻¹).

A falta de diferença para PMS da palma entre o monocultivo e seus consórcios na *O. stricta* na presente pesquisa pode estar relacionado ao curto intervalo de tempo, conforme também observado por Diniz et al. (2017), que não observaram diferenças na palma forrageira *O. stricta* em monocultivo (4.627 kg.ha⁻¹) e consorciada com sorgo SF-15 (3.573 kg.ha⁻¹) no Sertão de Pernambuco em sistema de irrigação, sob espaçamento de 1,6 x 0,4m (15.625 plantas ha⁻¹), após um ano de cultivo da palma. Esses resultados são baixos e semelhantes aos encontrados na presente pesquisa. Dessa forma, observa-se que nos anos iniciais de plantio, a PMS pode não ser alta, dependendo dos sistemas.

3.2.6 Características produtivas (corte) das leguminosas entre as épocas do ano

A maior PMS observada nos monocultivos de *C. ternatea* e *D. pernambucanus*, independente da época de avaliação, em relação aos seus respectivos consórcios com cactáceas (*O. cochenillifera* e *O. stricta*) (Tabela 13), pode ser atribuída principalmente à maior densidade de plantas por hectare. No monocultivo, a população foi de aproximadamente 40.000 plantas ha⁻¹, enquanto nos consórcios essa densidade foi reduzida para cerca de 11.429 plantas ha⁻¹. Essa diferença expressiva implica maior cobertura vegetal, maior interceptação da luz solar e maior volume de biomassa aérea no monocultivo, favorecendo naturalmente uma maior produção por área.

A densidade de plantas é um fator determinante para a produtividade de culturas forrageiras. De acordo com Xu et al. (2022), a alta densidade permite o fechamento mais rápido do dossel e maximiza a captação da radiação fotossinteticamente ativa, fatores que contribuem para o aumento da PMS. Em contrapartida, densidades reduzidas, diminuem a competição intraespecífica mas também limitam o aproveitamento eficiente dos recursos ambientais

disponíveis, resultando em menor acúmulo de biomassa por hectare, conforme observado por Medeiros et al. (2022), que observaram produção de forragem de 576,5 e 189,0 kg.MS.ha⁻¹.colheita⁻¹ para *D. pernambucanus* nas densidades de 40.000 e 10.000 plantas.ha⁻¹ respectivamente, na Zona da Mata Norte de Pernambuco.

Além da menor densidade, nos consórcios há ainda a influência da competição interespecífica entre leguminosas e cactáceas, por água, luz e nutrientes, o que pode acentuar a redução da produtividade individual (Farias et al., 2000). No entanto, neste caso específico, a limitação física imposta pela redução do número de plantas pode ter sido mais determinante.

3.2.7 Características produtivas (corte) das leguminosas entre os anos

A maior PMS por corte observada nos monocultivos de *C. ternatea* e *D. pernambucanus* também pode estar associada a maior densidade de plantas, o que favoreceu melhor cobertura do solo e aproveitamento dos recursos disponíveis, conforme comentado anteriormente. No entanto, não foram observadas diferenças na produção das plantas nos sistemas de cultivo entre os anos de avaliações (Tabela 14). Do ponto de vista zootécnico e agrônomo, a estabilidade na produção por corte ao longo dos anos pode indicar que os sistemas estudados têm um bom potencial de adaptação às variações climáticas anuais, o que é importante para garantir a sustentabilidade da alimentação animal.

3.2.8 Características produtivas das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

Ao longo dos dois anos de avaliações, a maior PMS foi registrada durante a época chuvosa (Tabela 15), o que era esperado, pois as condições climáticas favoráveis, especialmente a maior disponibilidade de água, estimulam o crescimento das plantas e o acúmulo de biomassa. Esse resultado é consistente com as observações de Costa (2024), que relataram que a colheita da *D. pernambucanus* aos 150 dias, na época chuvosa, favoreceu maior crescimento e produtividade. A água, sendo um fator essencial e muitas vezes limitante para o desenvolvimento das forrageiras, cria condições ideais para a fotossíntese e a absorção de nutrientes, resultando em aumento significativo na produção de forragem.

3.2.9 Características produtivas (anual) das leguminosas entre os anos

A redução na PMS anual em ambas as leguminosas em sistemas consorciados nos dois anos de avaliações (Tabela 16) podem estar mais associado a menor densidade de plantio em

relação ao monocultivo, conforme também comentado anteriormente. Porém à maior eficiência das palmas forrageiras na captação de recursos do solo, com raízes superficiais e adaptadas, captam com maior eficiência os recursos do solo, resultando em pressão competitiva significativa sobre as leguminosas (Souza et al., 2021).

Jardim et al. (2021b) apesar de não encontrarem diferença na PMS entre as espécies de sorgo em monocultivo e em consórcio com as espécies de Palma Miúda, IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana, observaram redução na PMS de 22, 34 e 34% para os sorgos IPA 467, SF11 e 2502, respectivamente, após o final do ciclo de produção (quatro cortes). No entanto, Diniz et al. (2019) observaram redução na PMS de 5.516,0 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, tendo o sorgo em monocultivo (14.073,0 kg.ha⁻¹) e em consórcio (8.557,0 kg.ha⁻¹), em um ano de cultivo. Essa maior PMS do sorgo em relação as leguminosas e espécies de palma está relacionado ao metabolismo fotossintético.

As gramíneas apresentam maior PMS em comparação às leguminosas e cactáceas devido ao seu metabolismo fotossintético C4, que é mais eficiente na fixação de carbono, especialmente em condições de alta luminosidade e temperatura (Chen et al., 2023). Esse mecanismo permite menor fotorrespiração e maior eficiência no uso da água e dos nutrientes, resultando em maior acúmulo de biomassa (Fu et al., 2024).

Já as leguminosas, possuem metabolismo C3, apresentando menor eficiência fotossintética em climas quentes e áridos, o que pode limitar seu crescimento (Adireddy et al., 2024). Por outro lado, as cactáceas, adaptadas a ambientes extremamente secos, possuem metabolismo CAM, que reduz a perda de água ao realizar a fixação de CO₂ predominantemente à noite, mas com menor taxa de crescimento e acúmulo de matéria seca em comparação às gramíneas (Wang et al., 2023). Dessa forma, a superioridade produtiva das gramíneas é explicada pela maior eficiência fotossintética do metabolismo C4 em ambientes favoráveis ao crescimento vegetal.

3.2.10 Características produtivas dos sistemas

Apesar da menor densidade de plantas nos sistemas consorciados, a PMS dos arranjos envolvendo *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* superou a produção dos respectivos monocultivos no segundo ano (Tabela 17). Isso demonstra a eficiência da interação entre essas espécies, em que a complementaridade no uso de recursos, compensou a redução no número de plantas. Esse consórcio permitiu melhor aproveitamento do ambiente, reforçando a vantagem de sistemas diversificados para aumentar a produtividade forrageira.

Por outro lado, a menor resposta da *C. ternatea* nesses sistemas consorciados sugere baixa competitividade ou adaptação ao sistema. Diante do exposto, o sucesso dos consórcios depende da compatibilidade fisiológica e ecológica entre as espécies, e que, em alguns casos, o monocultivo pode ser mais eficiente, especialmente quando a leguminosa associada não contribui de maneira significativa para o sistema.

3.2.11 Taxa de sobrevivência das culturas

Em relação a taxa de sobrevivência da palma forrageira, observou-se redução entre 4 e 7 % para os tratamentos da *O. cochenillifera* (Tabela 18). Em contrapartida, os tratamentos com *O. stricta* mantiveram taxas de sobrevivência constantes ao longo dos dois anos avaliados. Esses resultados corroboram com Jardim et al. (2021b), que observaram alta taxa de mortalidade em 71,68% para *O. cochenillifera* e *O. stricta* com 8,56% em condições de consórcio com sorgo no Sertão pernambucano. A alta mortalidade para *O. cochenillifera* observada pelos autores podem estar associados ao maior sombreamento pelas espécies de Sorgo, pois segundo Santos Neto et al. (2022) a *O. cochenillifera* apresenta maior vulnerabilidade sob copa das árvores da Caatinga em comparação a *O. stricta*.

A maior taxa de sobrevivência para *O. stricta* (Tabela 18), em sistemas de cultivo consorciado reduz a sazonalidade da forragem e proporciona maior longevidade para a palma forrageira, com menores custos para aquisição de cladódios e menor necessidade de replantio da área pelo produtor comparado a *O. cochenillifera*.

Em relação a taxa de sobrevivência das leguminosas, observou-se redução na *C. ternatea* no segundo ano de avaliação (Tabela 19), tanto em monocultivo quanto em consórcio. A *C. ternatea* provavelmente teve limitada adaptação às condições ambientais locais ao longo do tempo. Essa mortalidade pode ser atribuída a fatores climáticos adversos, como variações na precipitação, temperatura ou outros aspectos microambientes que impactaram o estabelecimento e a persistência da espécie. Como por exemplo, aparecimento de uma “ferrugem” nas folhas durante um momento no experimento.

Por outro lado, a sobrevivência da *D. pernambucanus* ao longo dos dois anos de avaliações reflete sua maior capacidade de adaptação às condições do meio, conforme também observado por Medeiros et al. (2022), que notaram que as alturas de colheita e 20 e 40 cm, ou seja, intensidade de corte, não afetam a sobrevivência dessa leguminosa. Essa característica é crucial em sistemas de produção, em que a estabilidade ao longo do tempo é um requisito para a viabilidade econômica e a sustentabilidade.

4. CONCLUSÃO

As leguminosas *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus* não alteram a morfologia das espécies de palma forrageira, enquanto as palmas, por sua vez, também não influenciam negativamente a morfologia das leguminosas quando consorciadas.

A produção de forragem variou conforme a espécie. A *Opuntia stricta* manteve sua produção de matéria seca em consórcio, enquanto *O. cochenillifera* apresentou redução, sobretudo no segundo ano, indicando maior suscetibilidade à competição.

As leguminosas produziram mais em monocultivo quando comparada aos seus consórcios. Porém na produção dos sistemas (Produção da palma + produção das leguminosas) observou-se maior produção de matéria seca no consórcio *D. pernambucanus* com *O. cochenillifera*, sugerindo melhor aproveitamento dos recursos e maior eficiência do sistema.

A *Clitoria ternatea* apresenta maior sensibilidade às variações climáticas, refletida na redução de sua taxa de sobrevivência no segundo ano.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIREDDY, R.G. et al. Possible impacts of elevated CO₂ and temperature on growth and development of grain legumes. **Environments**, v. 11, n. 12, p. 273, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/environments11120273>

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meconcentraçãoologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

AMORIM, P.L. et al. Morphological and productive characterization of forage cactus varietie. **Revista Caatinga**, v.28, n.3, p.230-238, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n326rc>

ARAÚJO, C.A. et al. Influence of cactus pear cultivation density on the physicochemical characteristics of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 232, p. 105771, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105771>

BARBOSA, V.V. et al. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.353-367, 2016.

BARBOZA, L.Y.B. et al. Integration agriculture-livestock and production “Bull Harvest”. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 2, p. e3194-e3194, 2024. Doi: <https://doi.org/10.55905/oelv22n2-079>

CAMELO, D. **Serviços ecossistêmicos promovidos por diferentes sistemas de cultivo de *Clitoria ternatea* L. e *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone**. Tese (Doutorado em

Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 127f. 2024.

CAVALCANTI, F.J.A. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª edição revisada** (p. 212). Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA, 2008.

CHEN, L. et al. Genome-wide identification and comparative analyses of key genes involved in C4 photosynthesis in five main gramineous crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1134170, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1134170>

COOK, B.G. et al. **Tropical Forages: An interactive selection tool**. 2nd and Revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya, 2020. Disponível em: <http://tropicalforages.info/text/entities/desmanthus pernambucanus.htm>. Acesso em: fev. 2025.

COSTA, M.N.F. **Caracterização morfológica e estrutural de *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung sob diferentes densidades de plantio e altura de colheita**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 51f. 2020.

COSTA, M.N.F. ***Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung sob diferentes densidades de plantio e frequências de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 100f. 2024.

DEVIA, D.C. et al. Effects of different regrowth ages and cutting heights on biomass production, bromatological composition and *in vitro* digestibility of *Guazuma ulmifolia* foliage. **Agroforestry Systems**, v.94, p.1199–1208, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00354-y>

DINIZ, W.P.S. et al. Morphological, productive, and nutritional characterization of *Desmanthus* spp. accessions under different cutting intensities. **Agroforest Systems**, v. 95, n. 3, pp. 571-581, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00609-7>

DONATO, P.E.R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira “Gigante” sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 9, n.1, p. 51-158, 2014. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i1a3252>

EDVAN, R.L. et al. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes períodos de colheita. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 11, n. 4, p. 373-381, 2013.

EDVAN, R.L. et al. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. **Scientific Reports**, v.10, n1, p. 10040., 2020. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66972-0>

FARIAS, I. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.341-347, 2000. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200013>

FIGUEIREDO, C.C. et al. Nitrogen use efficiency in an agrisilviculture system with *gliricidia sepium* in the Cerrado Region. **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1647, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants12081647>

FU, X. et al. Metabolomics of related C3 and C4 Flaveria species indicate differences in the operation of photorespiration under fluctuating light. **Plant Direct**, v. 8, n. 10, p. e70012, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1002/pld3.70012>

ILVA, J.A.D. et al. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.1, p. 564-569, 2016. Doi: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n6p564-569>

JARDIM, A.M.R.F. et al. Intercropping forage cactus and sorghum in a semi-arid environment improves biological efficiency and competitive ability through interspecific complementarity. **Journal of Arid Environments**, v. 188, p. 104464, 2021b. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104464>

JIAO, N. et al. The importance of aboveground and belowground interspecific interactions in determining crop growth and advantages of peanut/maize intercropping. **The Crop Journal**, v. 9, n. 6, pp. 1460-1469, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.12.004>

LAHMIDI, S. et al. Physical and physicochemical characteristics, bioactive compounds, and antioxidant activity of cladodes from erect prickly pear *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. **Journal of Food Quality**, v. 2023, n. 1, p. 3028552, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1155/2023/3028552>

LIRA, E.C.D. et al. Intercropping forage cactus genotypes with wood species in a semi-arid environment. **Agronomy Journal**, v. 114, n. 6, pp. 3173-3182, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1002/agj2.21174>

LOPES, E.B. et al. Rendimento e aspectos fenológicos de espécies de palma forrageira em relação ao cultivo com dois tipos de cladódios. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, p.59-61, 2013.

MASTALERCZUK, G. et al. Ahmad. Changes in the physiological and morphometric characteristics and biomass distribution of forage grasses growing under conditions of drought and silicon application. **Plants**, v. 12, n. 1, p. 16, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants12010016>

MEDEIROS, A.S. et al. Morphology, accumulation and survival of *Desmanthus* under different planting densities and harvest heights. **Grass and Forage Science**, v. 78, n. 1, p. 161-172, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1111/gfs.12586>

MEDEIROS, A.S. **Morfologia, produtividade e valor nutritivo de jureminha em resposta à densidade de plantio e altura de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 88f. 2021.

MIRANDA, K.R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, e20180324, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180324>

MOURA, E.A. et al. Relation of plant height and cladode number of cactus little sweet clone consorted with pornunça. **Cuban Journal of Agricultural Science**, v.54, n.2, p. 279-288, 2020.

NIZA COSTA, M. et al. Combined use of a bacterial consortium and early-colonizing plants as a treatment for soil recovery after fire: a model based on los Guájares (Granada, Spain) Wildfire. **Biology**, v. 12, n. 8, p. 1093, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/biology12081093>

PEIXOTO, M.J.A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de zootecnia**, v. 67, n. 257, pp. 35-39, 2018. Doi: <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

PESSOA, D.V. et al. Nutritional value and kinetics of in vitro fermentation of spineless cactus of the genus *Nopalea* in different phenological phases. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 3, p. e20221001, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420221001>

QASIM, M. et al. Morphological and physiological response of tomato to sole and combined application of vermicompost and chemical fertilizers. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1508, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13061508>

RAWAL, N. et al. Fertilizer management and incorporation of legumes on performance of maize (*Zea mays* L.) in western hills of Nepal. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100690, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100690>

ROLIM, G.D.S.; SENTELHAS, P. S.; BARBIERI, V. Planilhas do ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agromeconcentraçãoologia**, v.6, p.133-137, 1998.

SADRA, S.; MOHAMMADI, G.; MONDANI, F. Nitrogen release dynamics and carbon sequestration by legume and non-legume cover crops under pure and mixed planting conditions. **Agriculture (Pol'nohospodárstvo)**, v. 69, n. 1, p. 13-26, 2023. Doi: <https://doi.org/10.2478/agri-2023-0002>

SANTOS NETO, C.F. et al. Morphological characteristics and yield of *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera* in integrated crop systems with caatinga trees. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 1, p. 59-68, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00787-y>

SILVA, J.B. et al. Economic and energetic analysis of cactus pear biomass production systems with increasing levels of technological intensity. **Industrial Crops and Products**, v. 208, p. 117883, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117883>

SOUZA, M.D.S. et al. Growth, phenology and harvesting time of cactus-millet intercropping system under biotic mulching. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 68, n. 6, p. 764-778, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1852553>

TANG, J. et al. Patterns and mechanisms of legume responses to nitrogen enrichment: A global meta-analysis. **Plants**, v. 13, n. 22, p. 3244, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13223244>

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. The Water Balance. New Jersey: Drexel Institute Of 508 Technology. **Publications in Climatology**, p.104, 1955.

WANG, Y. et al. Rethinking the potential productivity of crassulacean acid metabolism by integrating metabolic dynamics with shoot architecture, using the example of *Agave tequilana*. **New Phytologist**, v. 239, n. 6, p. 2180-2196, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.19128>

XU, C. et al. High density and uniform plant distribution improve soybean yield by regulating population uniformity and canopy light interception. **Agronomy**, v. 11, n. 9, p. 1880, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11091880>

CAPÍTULO III

VALOR NUTRITIVO DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIO

Resumo: Objetivou-se avaliar o valor nutricional de diferentes espécies de palma forrageira *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw consorciadas com *Clitoria ternatea* (L.) e *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental-UFRPE, em Garanhuns, Pernambuco, em delineamento experimental em blocos ao acaso, em que os tratamentos foram: *O. cochenillifera* + *D. pernambucanus*, *O. cochenillifera* + *C. ternatea*; *O. stricta* + *D. pernambucanus*; *O. stricta* + *C. ternatea*; *O. cochenillifera*; *O. stricta*, *C. ternatea* e *D. pernambucanus*, com quatro repetições. A colheita da palma foi realizada anualmente, nos anos de 2022 e 2023, com a preservação do cladódio mãe. Com essa palma colhida anual foi realizada as análises químico-bromatológicas. As leguminosas foram colhidas a cada 90 dias, com intensidade de 20 cm de altura, sendo avaliado o valor nutricional em duas épocas distintas de cada ano, chuva e seca. O consórcio proporcionou pequenas alterações no valor nutricional da palma, em que no segundo ano de avaliação, *O. cochenillifera* consorciada com *D. pernambucanus* apresentou menor concentração média de carboidratos totais, com 466,3 g.kg⁻¹ de MS, enquanto no monocultivo dessa planta foi de 622,9 g.kg⁻¹ de MS. Além disso, nesse mesmo ano, observou-se maior produção de gás total (289,3 g.kg⁻¹MS) na *O. stricta* em monocultivo, em relação aos seus consórcios. Porém, a *O. stricta* nos consórcios, *C. ternatea* + *O. stricta* (779,7 g.kg⁻¹MS) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (816,1 g.kg⁻¹MS), apresentaram maiores coeficientes de digestibilidade *in vitro* da matéria seca, tendo no monocultivo, valor de 712,3 g.kg⁻¹MS. Em relação ao valor nutricional das leguminosas, na época chuvosa, observou-se menor concentração média de hemicelulose na leguminosa *D. pernambucanus* em consórcio com *O. stricta* (113,1 g.kg⁻¹ MS), em comparação à planta em monocultivo (169,6 g.kg⁻¹ MS) e consorciada com *O. cochenillifera* (152,0 g.kg⁻¹ MS). Ainda nessa época, observou-se maior fração A + B1 na *D. pernambucanus* em monocultivo (320,7 g.kg⁻¹ MS), em comparação a leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (264,6 g.kg⁻¹ MS). Na época seca, a leguminosa *C. ternatea* em consórcio com *O. cochenillifera* apresentou maior valor médio de proteína bruta (176,3 g.kg⁻¹ MS), superando a *C. ternatea* em monocultivo, que obteve 141,7 g.kg⁻¹ MS. Porém, a *C. ternatea* em monocultivo, nesta época teve maior valor médio de carboidratos totais (771,9 g.kg⁻¹ MS) que a planta em consórcio com *O. cochenillifera* (730,6 g.kg⁻¹ MS). Em relação ao valor nutricional das leguminosas entre os anos, observou-se que no segundo ano, a *C. ternatea* em monocultivo apresentou proteína bruta média de 153,1 g.kg⁻¹ de MS, concentração inferior a observada no consórcio com *O. cochenillifera*, com 175,8 g.kg⁻¹ de MS. No entanto, as concentrações da fração A+B1 apresentaram resultados contrários nesse mesmo ano, com maior concentração na *C. ternatea* em monocultivo (250,3 g.kg⁻¹ MS) que no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (166,7 g.kg⁻¹ MS). O consórcio com *C. ternatea* ou *D. pernambucanus* não compromete o valor nutricional das espécies de palma, mas proporciona pequenas alterações no valor nutricional das leguminosas em épocas de chuva e seca e entre os anos de avaliações, sem causar comprometimento.

Palavras-chave: Cactáceas, composição química, digestibilidade, Fabáceas e Semiárido.

Abstract: The objective was to evaluate the nutritional value of different species forage cactus species, *Opuntia cochenillifera* (L.) Mill syn. *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck and *Opuntia stricta* (Haw.) Haw, intercropped with *Clitoria ternatea* (L.) and *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung. The experiment was conducted at the UFRPE Experimental Farm, in Garanhuns, Pernambuco, in a randomized block design, in which the treatments were: *O. cochenillifera* + *D. pernambucanus*, *O. cochenillifera* + *C. ternatea*, *O. stricta* + *D. pernambucanus*, *O. stricta* + *C. ternatea*, *O. cochenillifera*, *O. stricta*, *C. ternatea*, and *D. pernambucanus*, with four replicates. Forage cactus was harvested annually in 2022 and 2023, preserving the mother cladode. The Chemical-bromatological analyses were carried out with this annually harvested palm. The Legumes were harvested every 90 days, cutting them to a height of 20 cm. Nutritional value was assessed in two distinct seasons each year rainy and dry. Intercropping led to small changes in the nutritional value of the cactus. In the second year of evaluation, *O. cochenillifera* in consortium with *D. pernambucanus* had a lower average concentration of total carbohydrates, with 466.3 g.kg⁻¹ of DM, while in the monoculture this plant had 622.9 g.kg⁻¹ of DM. In addition, in that same year, higher total gas production (289.3 g.kg⁻¹ DM) was observed in *O. stricta* in monoculture compared to its intercropping systems. However, *O. stricta* in the consortia *C. ternatea* + *O. stricta* (779.7 g.kg⁻¹ DM) and *D. pernambucanus* + *O. stricta* (816.1 g.kg⁻¹ DM) showed higher *in vitro* dry matter digestibility coefficients, whereas the monoculture had a value of 712.3 g.kg⁻¹ DM. Regarding the nutritional value of legumes, during the rainy season, *D. pernambucanus* intercropped with *O. stricta* showed a lower average hemicellulose content (113.1 g.kg⁻¹ DM) compared to when grown in monoculture (169.6 g.kg⁻¹ DM) or intercropped with *O. cochenillifera* (152.0 g.kg⁻¹ DM). Also in this season, a highest A + B1 fraction was observed in monocropped *D. pernambucanus* (320.7 g.kg⁻¹ DM), compared to the intercropping with *O. cochenillifera* (264.6 g.kg⁻¹ DM). In the dry season, *C. ternatea* intercropped with *O. cochenillifera* showed a higher average crude protein content (176.3 g.kg⁻¹ DM) than the monocropped legume (141.7 g.kg⁻¹ DM). However, monocropped *C. ternatea* had a higher total carbohydrate content (771.9 g.kg⁻¹ DM) than when intercropped with *O. cochenillifera* (730.6 g.kg⁻¹ DM). Regarding the nutritional value of legumes between years, it was observed that in the second year, monocropped *C. ternatea* had an average crude protein content of 153.1 g.kg⁻¹ DM, a lower concentration than that observed when intercropped with *O. cochenillifera*, which had 175.8 g.kg⁻¹ DM. However, the concentrations of fraction A+B1 showed opposite results in that same year, with a higher concentration in monocropped *C. ternatea* (250.3 g.kg⁻¹ DM) than in the consortium *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (166.7 g.kg⁻¹ DM). It is concluded that intercropping *C. ternatea* and *D. pernambucanus* does not compromise the nutritional value of forage cactus species, although it causes minor changes in the nutritional value of the legumes across seasons and years, without leading to negative impacts.

Keywords: Cactus, chemical composition, digestibility, Fabaceae and Semi-arid.

1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para a produção de alimentos tem sido prioridade crescente na pecuária (Raza et al., 2021). Entre as alternativas, o consórcio de palma forrageira e leguminosas podem ser uma prática promissora, devido à capacidade de adaptação a diferentes ambientes e alta produtividade da palma forrageira e valor nutricional das leguminosas. A utilização conjunta dessas forrageiras em sistemas de consórcio representa uma estratégia interessante para maximizar o valor nutricional das dietas e promover uma produção pecuária mais eficiente e sustentável.

As palmas, pertencentes a família *Cactaceae*, destacam-se como importante fonte de alimento para os ruminantes em regiões áridas e semiáridas devido à sua resistência à seca e baixa demanda por recursos hídricos (Sakar et al., 2023). Segundo Batista et al. (2022), independente do gênero e da espécie, a palma forrageira apresenta altas concentrações de água e de carboidratos não fibrosos, além de baixas concentrações de proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro, em relação à recomendação de níveis mínimos indicados para ruminantes, devendo ser fornecida em associação a fontes nitrogenadas e fonte de fibra fisicamente efetiva.

As leguminosas, em contrapartida, são conhecidas por melhorar o valor nutricional da dieta (Castro-Montoya, Dickhoefer, 2020), por sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, aumentando a disponibilidade desse nutriente para as plantas nos sistemas de produção (Kluga et al., 2023). Além disso, a adição de leguminosas em consórcio com a palma pode reduzir a dependência de suplementação alimentar comercial para os animais, tornando o sistema mais econômico e ecologicamente sustentável. Entre as leguminosas forrageiras adaptadas as condições de semiárido, segundo Dubeux Júnior et al. (2022) e Apolinario et al. (2022), destacam-se a *Desmanthus perambucanus* (L.) Thell (Jureminha) e a *Clitoria ternatea* (L.) (Cunhã).

A maioria dos trabalhos sobre o efeito do consórcio de palma forrageira sobre a composição química são com leguminosas arbóreas (Grünwaldt et al., 2018; Miranda et al., 2019; Saraiva et., 2021; Saraiva et al., 2022). Nesse sentido, Santos Neto et al. (2022) encontraram maiores concentrações de matéria mineral para palma em monocultivo, comparada a palma consorciada com leguminosas arbóreas da Caatinga. Além disso, são escassas na literatura informações sobre o valor nutricional entre o consórcio de palma com as leguminosas *Clitoria ternatea* e *Desmanthus perambucanus*, bem como o efeito da palma forrageira sobre a composição química das leguminosas.

A hipótese testada foi que o consórcio das leguminosas *Clitoria ternatea* e *pernambucanus* com espécies de palma forrageira, não impactam negativamente o valor nutricional da palma e das leguminosas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o valor nutricional dos diferentes sistemas de produção com *Opuntia cochenillifera* Mill e *Opuntia stricta* (Haw.) Haw em consórcio com as leguminosas *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus*, mantidas em condições de sequeiro ao longo de dois anos de avaliações.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Prof. Antônio de Pádua Maranhão Fernandes, localizada no município de Garanhuns-PE, região Agreste de Pernambuco a 8° 53' 25" de latitude Sul e 36° 29' 34" de longitude oeste. O clima é classificado como tropical tipo Aw' conforme a classificação climática de Köppen-Geiger (Alvares et al., 2013), com temperatura média anual de 21,2 °C, regime de chuvas do outono a inverno, caracterizado por verões quentes e secos e invernos amenos e úmidos. A precipitação anual histórica média de 53 anos do município foi de 866 mm (Barbosa et al., 2016).

A distribuição mensal das chuvas durante o período experimental é descrita na Figura 1. A partir das precipitações mensais, as épocas do ano foram classificadas em seca e chuvosa, sendo definidas a partir do balanço hídrico sequencial (BHS), calculado pelo método proposto por Thornthwaite e Mather (1955) em planilhas Excel (Rolim et al., 1998), considerando-se época chuvosa os meses que apresentaram balanço hídrico positivo ou nulo, e época seca foi considerada os meses que obtiveram balanço hídrico negativo.

Os tratamentos experimentais, delineamento e o sistema de plantio foram os mesmos apresentados no capítulo II.

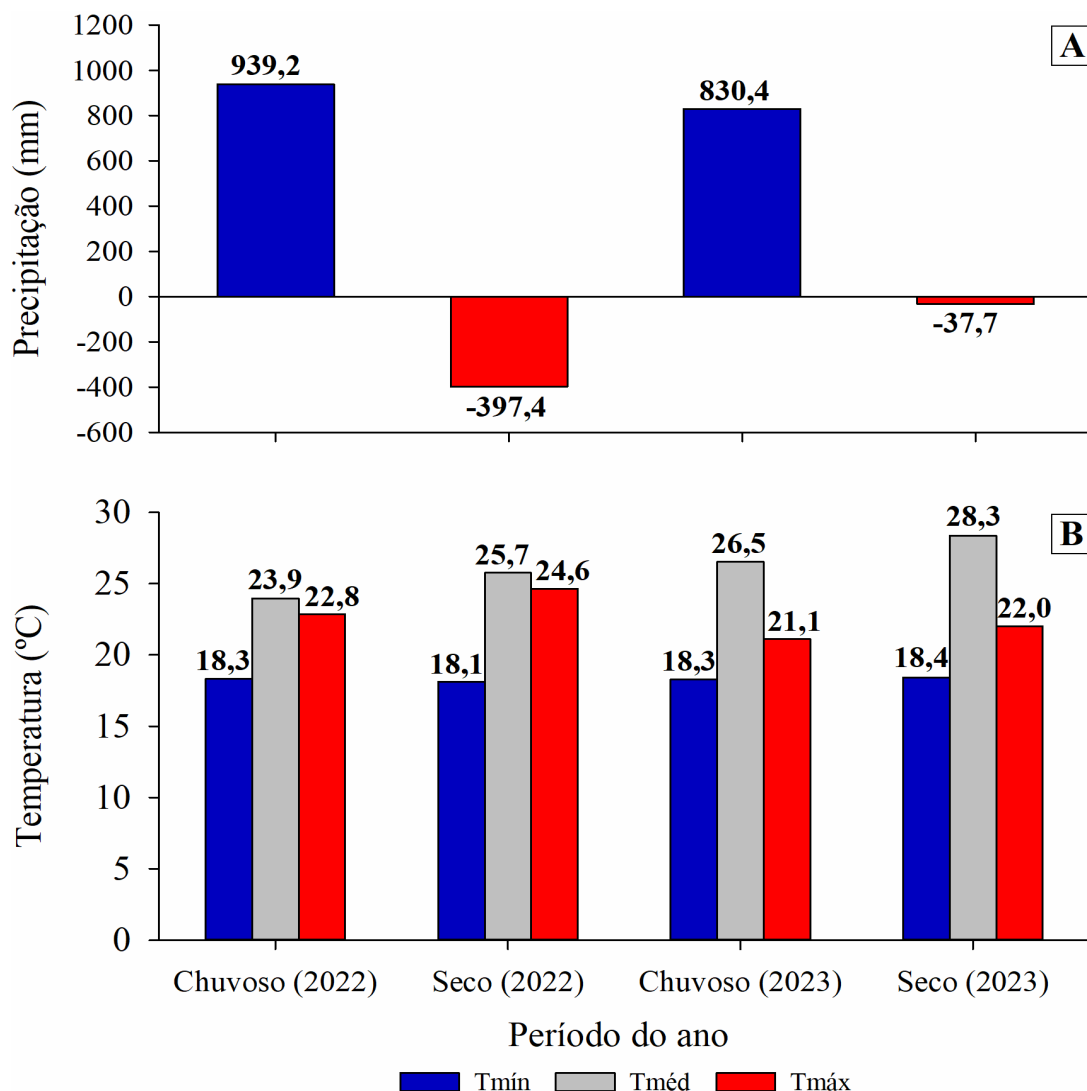


Figura 1. Balanço Hídrico – (A) e temperatura (B) em diferentes épocas do ano durante o experimento em Garanhuns-PE.

Tmín: Temperatura mínima; Tméd: Temperatura média e Tmáx: Temperatura máxima.

2.2 Composição químico-bromatológica

Após cada ano de plantio, foram coletadas quatro plantas centrais da palma forrageira no monocultivo, no caso do consórcio, as plantas estavam dispostas na fileira dupla entre as leguminosas, sendo avaliado o valor nutricional a cada ano. Para as leguminosas, foram coletadas quatro plantas centrais, a cada três meses no monocultivo, no caso do consórcio foram selecionadas as duas plantas centrais de cada fileira central das leguminosas e realizado a composição química do material nas épocas de chuva e seca em cada ano de avaliação.

Após o corte, os cladódios foram seccionados em tamanho menor, com o intuito de aumentar a superfície de contato e acelerar o processo de secagem. Para as leguminosas, após o corte, foi separado a fração folha do caule e em seguida realizadas a pré-secagem das amostras

em estufa de ventilação forçada de ar à temperatura de 55°C até atingir peso constante. Depois, foram moídas em moinho de facas com peneiras de crivos de 2 mm para os ensaios *in vitro* e 1 mm para as análises de composição química.

A composição químico-bromatológica: matéria seca (MS, método 930.15), matéria orgânica (MO, método 942,05), matéria mineral (MM, método 942.05), proteína bruta (PB, método 954.01) foi realizada de acordo com a metodologia descrita pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2019). As análises de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram de acordo com Van Soest et al. (1991), com modificações propostas por Senger et al. (2008), no qual foi utilizado autoclave com temperatura de 110 °C por 40 minutos. Para determinação da lignina, foi utilizada metodologia proposta por Van Soest et al. (1991), e as frações de hemicelulose (HEM) e celulose (CEL) foram estimadas pelas equações: HEM = FDN – FDA e CEL = FDA – LDA, respectivamente.

2.3 Digestibilidade *in vitro*

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) e foi obtida segundo Tilley e Terry (1963), com modificações, na qual as amostras foram pesadas e acondicionadas em sacos de tecido não-tecido (TNT - 100 g/m²) previamente pesados e foram incubados com a solução tampão proposta por McDougall (1948) com pH de 6,8 e inóculo ruminal, na DAISYII Incubator (ANKOM[®] Technology), por 48 horas (estágio da fermentação ruminal). Após este período foi adicionado 40 mL de solução de HCl (6N) e 8 g de pepsina e foram incubadas novamente por 24 horas (estágio da digestão química). Ao término, os sacos contendo os resíduos foram lavados e secos em estufa a 105 °C até peso constante e pesados.

$$DIVMS(\%) = \left[100 - \left(\frac{W3 - (W1 * W4)}{W2} \right) \right] * 100$$

Onde: W1 = peso da tara dos sacos TNT;

W2 = peso das amostras;

W3 = peso dos sacos TNT final após as 24 h de digestão com Pepsina + HCL;

W4 = correção dos sacos TNT em branco (peso do saco TNT em branco após as 24 h de digestão com Pepsina + HCL /peso do saco TNT inicial).

2.4 Produção de gás *in vitro*

A cinética de produção de gás, também foi realizada no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE) e foi utilizada a técnica *in vitro* com uso do transdutor de pressão, proposta por Theodorou et al. (1994). As amostras foram incubadas em frascos (160 mL), com 1,0 g de amostra, juntamente com 90 mL de meio nutritivo de Goering e Van Soest (1970), injetados CO₂ constantemente e 10 mL de líquido ruminal de bovino. Em seguida, os frascos foram vedados com rolhas de borracha e lacres de alumínio. Os frascos foram incubados em uma estufa com temperatura constante de 39°C. A produção cumulativa dos gases foi estimada por meio da mensuração da pressão dos gases produzidos no decorrer do processo fermentativo, utilizando-se transdutor de pressão (LOGGER AG100 – Agricer), nos tempos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42 e 48h pós-incubação.

A pressão em PSI (pressão por polegada quadrada) foi transformada em mL através da equação:

$$\text{Produção de gás em mL} = 5,1612 \times \text{PSI} - 0,3017, r^2 = 0,9873$$

Pertencente ao Laboratório de Produção de Gases da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (-8°90'77" S, -36°49'49" W, altitude de 844 m e ajustada em relação ao branco e a matéria seca incubada. Para estimativa dos parâmetros, foi utilizado o modelo Logístico Bicompartimental (Schofield et al., 1994):

$$Vt = \frac{V_{f1}}{1 + e^{[2-4k1(t-\lambda)]}} + \frac{V_{f2}}{1 + e^{[2-4k2(t-\lambda)]}} + \varepsilon$$

Onde:

Vt = volume total de gases produzidos;

V_{f1} = volume de gases produzidos pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF), de rápida fermentação;

V_{f2} = volume de gases produzidos pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CF), de lenta degradação;

k1 = taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF);

k2 = taxa específica de produção de gases pela degradação da fração B2 (CF);

t = tempo de fermentação;

λ = fase de latência;

e = exponencial;

ε = erro experimental associado a cada observação.

2.5 Análise estatística

Os resíduos dos dados de valor nutritivo da palma forrageira e das leguminosas foram submetidos ao teste de normalidade de (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), através do PROC MIXED do SAS On Demand. Para as palmas forrageiras foram considerados efeitos fixos os sistemas de cultivo, anos de avaliações e suas interações. Para as leguminosas foram considerados efeitos fixos os sistemas de cultivo, épocas do ano, anos de avaliações e suas interações. Os blocos foram considerados como efeitos aleatórios. Quando o teste F foi significativo, as médias foram estimadas por meio do LSMEANS e comparadas pela probabilidade de diferença (“PDIFF”), ajustada para o Teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

O modelo estatístico utilizado para as palmas foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + B_j + (\alpha B)_{ij} + C_k + e_{ijk}$$

Em que: Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; B_j é o efeito fixo de ano de avaliação; $(\alpha B)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; C_k é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijk} é o erro residual.

O modelo estatístico utilizado para as leguminosas foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + I_k (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha I)_{ik} + (\beta I)_{jk} + y_l + e_{ijkl}$$

Em que: Y_{ijkl} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; β_j é o efeito fixo das épocas do ano; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e épocas do ano; $(\alpha I)_{ik}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; $(\beta I)_{jk}$ é o efeito entre épocas do ano e ano de avaliação; y_l é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijkl} é o erro residual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

3.1.1 Valor nutritivo da palma forrageira

Não foram identificadas diferenças para a concentração de matéria seca entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 2). Contudo, observou-se menor concentração de matéria seca da palma nos sistemas *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*, *O. stricta*, *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*, respectivamente, com médias de 55,3; 61,3; 54,8 e 51,2 g.kg⁻¹ MN no segundo ano de colheita em comparação ao primeiro ano.

Ao longo dos dois anos, não houve diferenças nas concentrações de matéria mineral e orgânica entre a *O. cochenillifera* em monocultivo e seus consórcios (Tabela 1). Contudo, no segundo ano, observou-se maiores médias de matéria mineral nas palmas nos sistemas da *O. stricta* em relação ao primeiro ano, com 152,9; 190,4 e 197,8 g.kg⁻¹ MS para os sistemas *O. stricta*, *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*, respectivamente. Adicionalmente, no segundo ano, a palma no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* apresentou maior concentração de matéria mineral que em monocultivo.

Tabela 1. Efeito da interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre as concentrações de matéria seca, matéria mineral e matéria orgânica da palma forrageira cultivadas em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Matéria seca (g.kg ⁻¹ MN)		
<i>O. cochenillifera</i>	67,4 Aab	57,9 Aa	0,3082
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	61,6 Ab	58,0 Aa	0,6981
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	78,6 Aab	55,3 Ba	0,0189
<i>O. stricta</i>	94,1 Aa	61,3 Ba	0,0019
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	94,2 Aa	54,8 Ba	0,0004
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	95,9 Aa	51,2 Ba	0,0001
P	0,0040	0,9226	
EPM	9,04		
	Matéria mineral (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>O. cochenillifera</i>	166,3 Aa	176,9 Aab	0,4170
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	168,2 Aa	179,4 Aab	0,3969
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	168,7 Aa	188,5 Aab	0,1426
<i>O. stricta</i>	121,0 Bb	152,9 Ab	0,0238
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	137,9 Bab	190,4 Aab	0,0007
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	134,4 Bab	197,8 Aa	0,0001
P	0,0040	0,0408	
EPM	12,93		
	Matéria orgânica (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>O. cochenillifera</i>	833,7 Ab	823,0 Aab	0,4170
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	831,8 Ab	820,6 Aab	0,3969
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	831,3 Ab	811,5 Aab	0,1426
<i>O. stricta</i>	878,9 Aa	847,1 Ba	0,0238
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	862,1 Aab	809,6 Bab	0,0007
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	865,6 Aab	802,2 Bb	0,0001
P	0,0040	0,0408	
	12,93		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média. ¹g.kg de matéria natural. ²g.kg de MS.

Não se observou diferenças para proteína bruta da forragem oriunda do monocultivo da *O. cochenillifera* e dos seus consórcios, com média de 71,0 g.kg⁻¹ MS (Figura 2A). Da mesma

forma, não houve diferenças entre os tratamentos da *O. stricta*, com média de 57,0 g.kg⁻¹ MS. No entanto, todos os tratamentos com *O. cochenillifera* observou-se maior concentração de proteína bruta que a *O. stricta* em monocultivo. Além disso, houve aumento na concentração de proteína bruta no segundo ano de colheita entre os sistemas, comparado ao primeiro ano de avaliação (Figura 2 B).

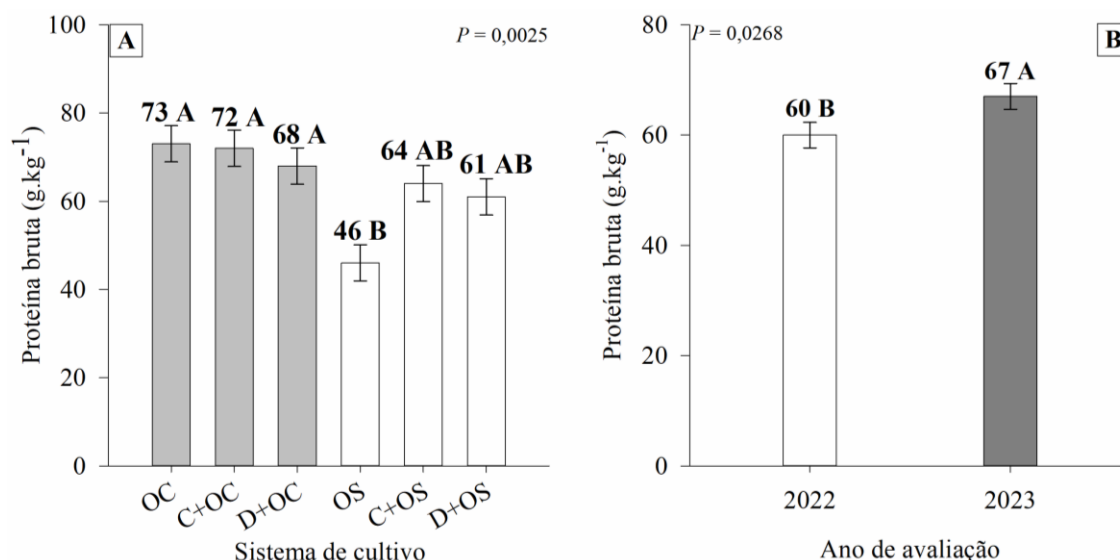


Figura 2. Efeito dos sistemas de produção (A) e anos de avaliações (B) na concentração de proteína bruta da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste Tukey (A) e F (B) ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). OC: *O. cochenillifera*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenillifera*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*; OS: *O. stricta*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*. EPM = 4,10; 2,32.

A palma no sistema *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (26,0 g.kg⁻¹ MS) apresentou diferença entre as médias de extrato etéreo de 9,0 g.kg⁻¹ MS em relação a *O. cochenillifera* em monocultivo (17,0 g.kg⁻¹ MS) (Fig. 3A). Além disso, a concentração de extrato etéreo no segundo ano foi menor (Figura 3B).

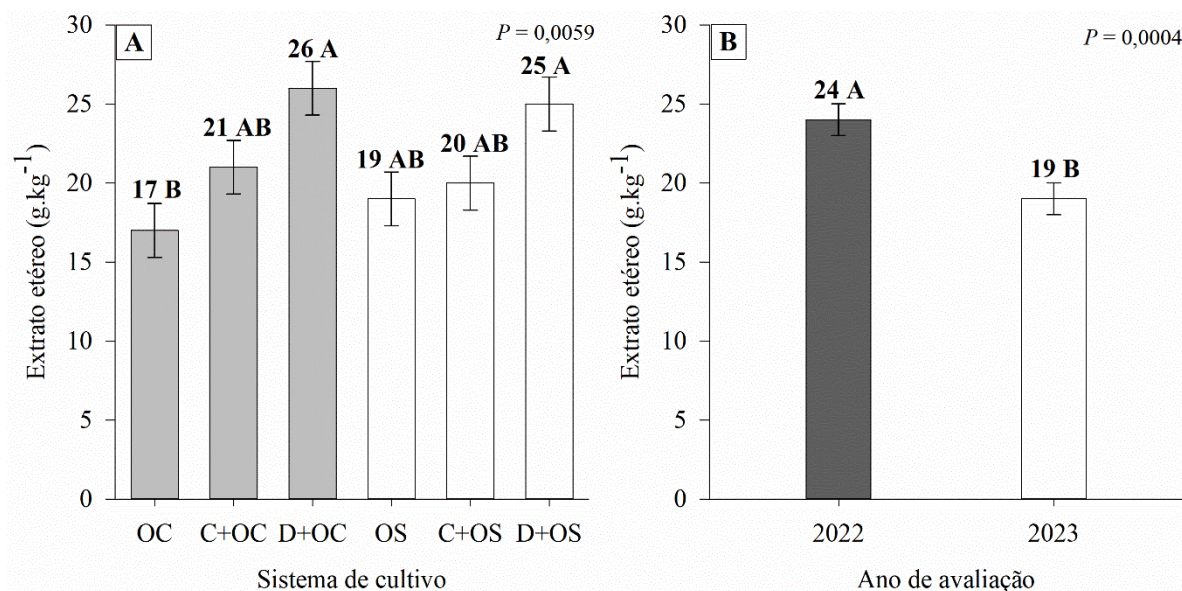


Figura 3. Efeito dos sistemas de produção (A) e anos de avaliações (B) na concentração de extrato etéreo da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste Tukey (A) e F (B) ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). OC: *O. cochenillifera*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenillifera*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*; OS: *O. stricta*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*. EPM = 1,70; 1,00.

Entre os anos de avaliações para a palma forrageira, observaram-se maiores médias no segundo ano para as concentrações de fibra em detergente neutro, fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) (Figura 4A), fibra em detergente ácido, celulose (Figura 4B) e proteína ligada a fibra em detergente neutro (PIDN) (Figura 5B), sendo observado, 284,0; 261,0; 151,0; 138,0 e 24,0 g.kg⁻¹ MS, respectivamente. Em contrapartida, as cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN) foi maior no primeiro ano com 25,0 g.kg⁻¹ MS (Figura 5A).

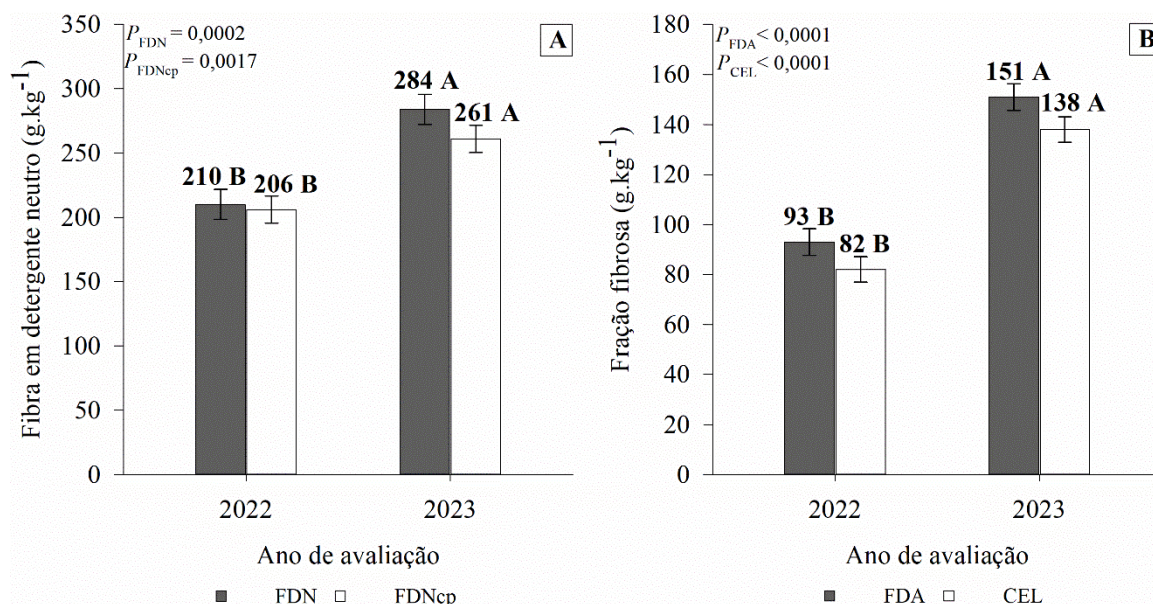


Figura 4. Efeito dos anos de avaliações na concentração de fibra em detergente neutro (A) e frações fibrosas (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 11,7; 10,6.

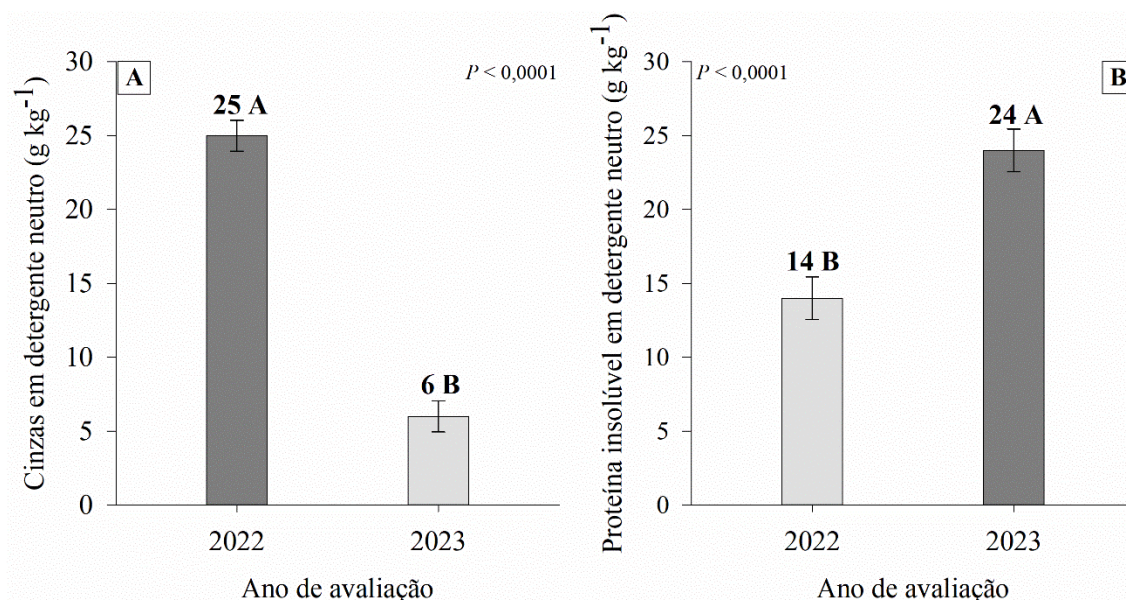


Figura 5. Efeito dos anos de avaliações na proteína ligada a fibra em detergente neutro (PIDN) e cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 1,05; 1,45

Não foram identificadas diferenças para concentração de lignina entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 2). Contudo, no segundo ano observou-se maior concentração de lignina na palma nos consórcios

com *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*, respectivamente, atingindo 17,9 e 16,2 g.kg⁻¹ MS em relação ao primeiro.

Tabela 2. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de lignina da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
<i>O. cochenillifera</i>	12,1 Aa	7,5 Ac	0,0940
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	10,6 Aa	7,8 Abc	0,2992
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	8,3 Aa	13,9 Aabc	0,0513
<i>O. stricta</i>	12,6 Aa	14,9 Aabc	0,3903
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	10,1 Ba	17,9 Aa	0,0082
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	10,6 Ba	16,2 Aab	0,0490
P	0,6570	0,0030	
EPM	2,65		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

No primeiro ano de avaliação, não foram observadas diferenças para concentração de carboidratos totais entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios (Tabela 3). No entanto, no segundo ano, a palma nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* apresentaram menor concentração em relação aos seus monocultivos. Além disso, foram observadas que todos os tratamentos, com exceção do monocultivo da *O. cochenillifera* diminuíram a concentração de carboidratos totais no segundo ano de avaliação.

No primeiro ano, também não foram observadas diferenças na concentração da fração C dos CHOT entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios (Tabela 3). No entanto, no segundo ano, a palma nos consórcios *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* tiveram maiores médias, com 70,6 e 68,8 g.kg⁻¹ CHOT, respectivamente, em relação ao monocultivo da *O. stricta*. Além disso, essa palma nesses consórcios aumentaram as concentrações de fração C ao longo dos anos de avaliações.

Não foram observadas diferenças nas concentrações de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da *O. cochenillifera* entre o monocultivo e os consórcios ao longo dos anos (Tabela 3). Por outro lado, no primeiro ano, a *O. stricta* em consórcio com *D. pernambucanus* apresentou maior DIVMS (919,4 g.kg⁻¹ MS) em relação ao monocultivo (857,0 g.kg⁻¹ MS), com uma diferença de 62,4 g.kg⁻¹ MS entre as médias. Além disso, no segundo ano, observou-se aumento nas médias de DIVMS nos sistemas consorciados, enquanto o monocultivo de *O. stricta* apresentou menor valor (712,3 g.kg⁻¹ MS).

Tabela 3: Efeito de interação entre os sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre as concentrações de carboidratos totais, fração C dos CHOT e digestibilidade *in vitro* da matéria seca da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Carboidratos totais (g.kg ⁻¹ MN)		
<i>O. cochenillifera</i>	754,0 Aa	622,9 Aa	0,0006
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	749,1 Aa	555,4 Babc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	747,6 Aa	466,3 Bc	<0,0001
<i>O. stricta</i>	821,3 Aa	644,3 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	801,1 Aa	598,5 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	797,8 Aa	504,9 Bbc	<0,0001
P-valor	0,1152	0,0001	
EPM	31,42		
	Fração C (g.kg ⁻¹ CHOT)		
<i>O. cochenillifera</i>	51,0 Aa	54,1 Aab	0,6449
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	43,2 Aa	36,8 Ab	0,3444
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	48,5 Aa	41,4 Ab	0,3001
<i>O. stricta</i>	35,3 Aa	31,2 Ab	0,5446
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	42,9 Ba	70,6 Aa	0,0006
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	46,9 Ba	68,8 Aa	0,0041
P	0,3764	<0,0001	
EPM	6,63		
	DIVMS (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>O. cochenillifera</i>	857,4 Ab	830,5 Aa	0,0606
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	856,2 Ab	805,7 Ba	0,0014
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	863,3 Ab	783,7 Ba	<0,0001
<i>O. stricta</i>	857,0 Ab	712,3 Bb	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	873,2 Aab	779,7 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	919,4 Aa	816,1 Ba	<0,0001
P	0,0070	<0,0001	
EPM	13,40		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média. ¹g.kg de matéria natural. ²g.kg de MS.

Entre os anos avaliados, a média da fração A+B1 dos carboidratos totais das cultivares de palma passou de 735,0 para 524,0 g.kg⁻¹ CHOT. Por outro lado, a fração B2 apresentou elevação na média, de 220,0 para 384,0 g.kg⁻¹ MS (Figura 6).

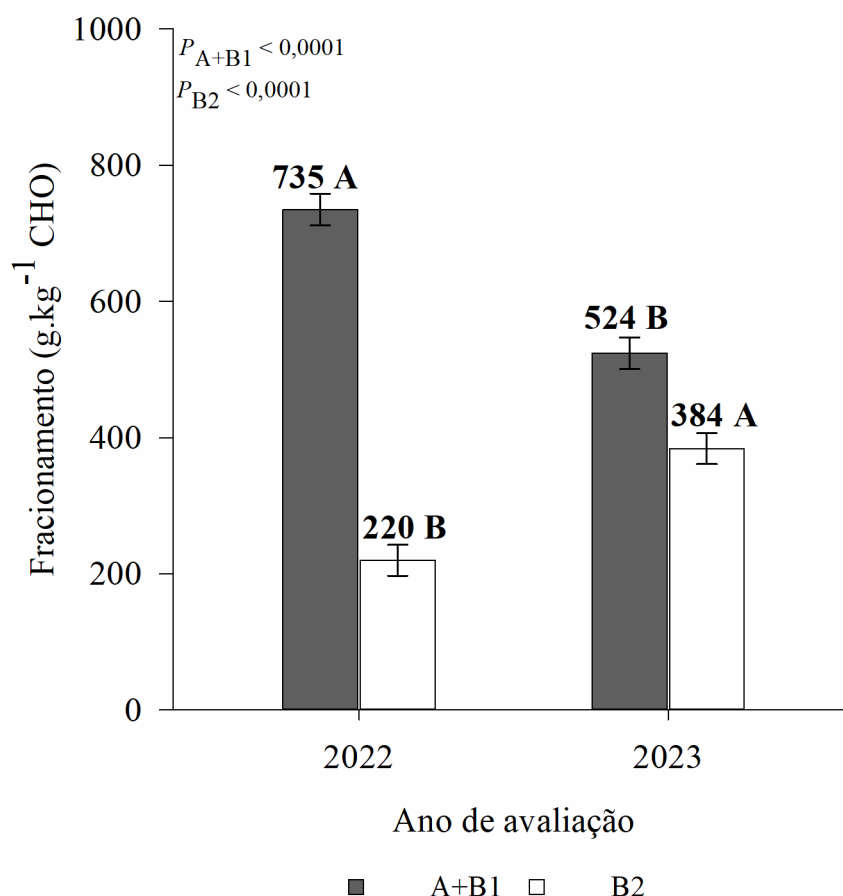


Figura 6. Efeito do ano de avaliação nas frações de CHO da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 23,2; 22,8.

Não foram identificadas diferenças na produção de gás total observada entre a forragem obtida no monocultivo de *O. cochenillifera* e seus sistemas consorciados ao longo dos dois anos de avaliações, nem entre os anos (Tabela 4). No entanto, no segundo ano, a *O. stricta* em monocultivo (289,3 mL.g⁻¹ MS) apresentou maior produção de gás total quando consorciada com *C. ternatea* + *O. stricta* (234,6 mL.g⁻¹ MS) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (238,3 mL.g⁻¹ MS). Observou-se ainda que todos os sistemas com *O. stricta* apresentaram menores médias na produção de gás total no segundo ano de avaliação em relação ao primeiro ano, com produções de 289,3; 234,6 e 238,3 mL.g⁻¹ MS para *O. stricta*, *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*, respectivamente.

Tabela 4. Efeito da interação de sistema de cultivo x anos de avaliações sobre produção de gás total observada (PGTO) e produção de gás total ajustada (PGTA) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	PGTO (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>O. cochenillifera</i>	268,5 Abc	271,7 Aab	0,7793
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	261,6 Abc	258,4 Aabc	0,7750
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	258,5 Ac	248,8 Abc	0,3961
<i>O. stricta</i>	317,8 Aa	289,3 Ba	0,0203
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	296,8 Aab	234,6 Bc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	284,8 Aabc	238,3 Bbc	0,0006
P	0,0003	0,0009	
EPM	11,18		
Sistemas de cultivo	PGTA (mL.g ⁻¹ MS)		P
	2022	2023	
	PGTA (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>O. cochenillifera</i>	268,2 Aabc	269,8 Aab	0,8846
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	261,1 Abc	256,7 Aabc	0,6964
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	258,0 Ac	247,8 Abc	0,3707
<i>O. stricta</i>	316,5 Aa	287,8 Ba	0,0188
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	295,9 Aab	233,9 Bc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	284,1 Aabc	237,1 Bbc	0,0005
P	0,0003	0,0010	
EPM	11,11		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Não foram identificadas diferenças no volume de produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Vf₁) entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações. Contudo, observou-se maior volume no segundo ano de avaliação para o Vf₁ da *O. cochenillifera* em monocultivo (161,1 mL) em relação a todos os tratamentos da *O. stricta* (Tabela 5). Também não foram identificadas diferenças taxa de degradação da produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Kd₁) entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios no segundo ano avaliação. Porém a *O. stricta* em monocultivo reduziu a taxa em 15,8%.h⁻¹, comparado a palma no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta*, no primeiro ano de avaliação (Tabela 5). Além disso, observou-se redução 20,4 %.h⁻¹ na Kd₁ para *O. cochenillifera* em monocultivo no segundo ano de avaliação em comparação ao primeiro ano.

Tabela 5. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre o volume de produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Vf₁) e sobre a taxa de degradação da produção de gás dos carboidratos não fibrosos (Kd₁) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Vf _l (mL)			
<i>O. cochenillifera</i>	133,2 Ba	161,1 Aa	0,0257
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	140,9 Aa	154,9 Aab	0,2402
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	134,9 Aa	142,3 Aabc	0,5291
<i>O. stricta</i>	144,2 Aa	121,6 Abcd	0,0643
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	133,1 Aa	104,2 Bd	0,0216
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	118,7 Aa	115,2 Acd	0,7671
P	0,3582	0,0004	
EPM	0,36		
Kd _l (%.h ⁻¹)			
<i>O. cochenillifera</i>	0,093 Aabc	0,074 Bb	0,0016
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,080 Ac	0,077 Ab	0,6382
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,080 Ac	0,078 Ab	0,7535
<i>O. stricta</i>	0,085 Abc	0,080 Aab	0,3018
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	0,099 Aab	0,095 Aa	0,3514
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,101 Aa	0,081 Aab	0,0004
P	0,0004	0,0065	
EPM	0,01		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferenças no volume de gás produzidos a partir da taxa de degradação dos carboidratos fibrosos (Vf₂) entre as cultivares de palma em monocultivo e seus consórcio das (Figura 7A). No entanto, a *O. stricta* em monocultivo produziu maior Vf₂ que todos os tratamentos da *O. cochenillifera*. Enquanto, as palmas nos consórcios da *O. stricta* produziram mais Vf₂ que os consórcios da *O. cochenillifera*. Além disso, observou-se menor Vf₂ entre os anos de avaliações no segundo ano, com volume de 124,0 mL (Figura 7B).

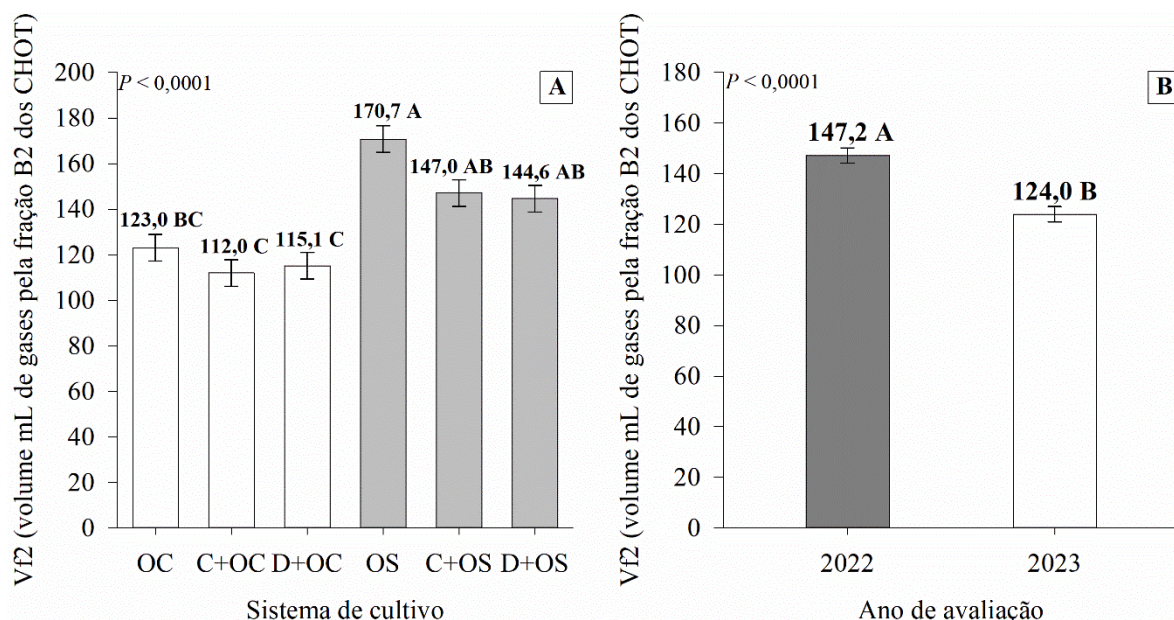


Figura 7. Efeito dos sistemas de cultivo (A) e anos de avaliações (B) no volume de gases produzidos pela fração B2 dos CHOs da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste Tukey (A) e F (B) ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). OC: *O. cochenillifera*; C+OC: *C. ternatea* + *O. cochenillifera*; C+OS: *C. ternatea* + *O. stricta*; OS: *O. stricta*; D+OC: *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera*; D+OS: *D. pernambucanus* + *O. stricta*). EPM = 23,2; 22,8.

Observou-se efeito isolado dos anos de avaliações para o período de latência, com diferença média de 1 hora entre os anos, saindo de 2,9 para 3,9 horas (Figura 8).

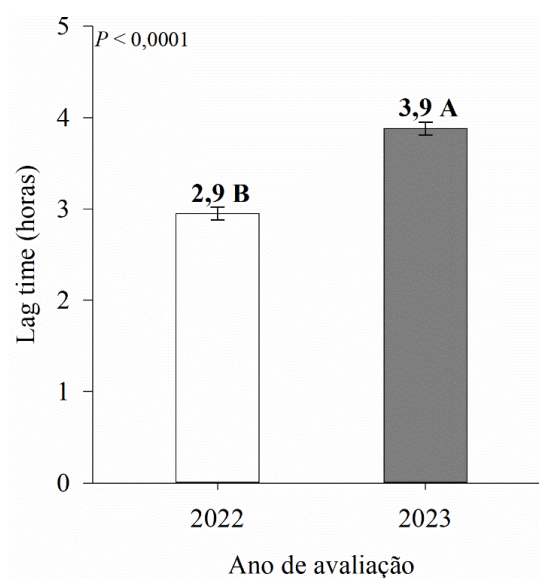


Figura 8. Efeito do ano de avaliação no período de latência da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras diferentes em cima das barras diferem entre pelo teste F ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o erro padrão da média (EPM). EPM = 23,2; 22,8.

3.1.2 Valor nutritivo das leguminosas entre as épocas do ano

Houve interação entre o sistema de cultivo e época de avaliação sobre a matéria mineral, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo das leguminosas (Tabela 6). Em que na época chuvosa, a leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* (49,9 g.kg⁻¹ MS) apresentou maior matéria mineral que a *D. pernambucanus* em monocultivo (38,7 g.kg⁻¹ MS). Na época seca, porém, não houve diferença nas concentrações de matéria mineral das leguminosas em monocultivos e seus respectivos consórcios. Comparando as épocas dentro de cada sistema, a *C. ternatea* no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* apresentou maior matéria mineral durante a época seca, enquanto as concentrações nas leguminosas consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* foram menores nessa época.

Não houve diferença para matéria orgânica e extrato etéreo da *C. ternatea* e *D. pernambucanus* nas épocas chuvosa e seca (Tabela 6). Bem como na concentração de proteína bruta na época chuvosa. Porém, na seca, a leguminosa no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (176,3 g.kg⁻¹ MS) teve mais proteína bruta que a *C. ternatea* em monocultivo (141,7 g.kg⁻¹ MS). Ao comparar as concentrações de proteína bruta de cada sistema entre as épocas, observou-se maior concentração durante as chuvas nas leguminosas nos diferentes arranjos, com exceção dos consórcios *C. ternatea* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta*. Em contrapartida as concentrações de extrato etéreo na *C. ternatea* em todos os arranjos aumentaram na seca (Tabela 6).

Tabela 6. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a matéria mineral, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliação		P
	Chuvosa	Seca	
	MM (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	56,4 Aa	53,7 Aa	0,2361
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	54,8 Aa	58,3 Aa	0,1264
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	52,1 Ba	56,9 Aa	0,0094
<i>D. pernambucanus</i>	38,7 Ac	41,2 Ab	0,2801
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	44,7 Abc	39,4 Bb	0,0249
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	49,9 Aab	40,1 Bb	<0,0001
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	2,28		
	MO (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	943,5 Ac	946,2 Ab	0,3153
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	945,1 Ac	941,9 Ab	0,2369
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	947,9 Abc	942,3 Ab	0,0396

<i>D. pernambucanus</i>	958,0 Aa	959,6 Aa	0,5491
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	960,5 Aab	955, 2 Aa	0,0696
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	950,0 Babc	965,2 Aa	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	2,70		
	PB (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	194,4 Aa	141,7 Bbc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	175,7 Aa	176,3 Aa	0,9335
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	179,8 Aa	159,0 Bab	0,0065
<i>D. pernambucanus</i>	130,7 Ab	113,7 Bd	0,0246
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	138,7 Ab	117,6 Bd	0,0058
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	138,1 Ab	124,2 Acd	0,0636
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	7,35		
	EE (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	22,4 Ba	32,5 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	22,4 Ba	32,8 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	23,2 Ba	30,5 Aab	0,0005
<i>D. pernambucanus</i>	22,8 Aa	23,2 Ac	0,8417
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	26,1 Aa	25,3 Abc	0,6912
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	23,2 Aa	22,6 Ac	0,7563
<i>P</i>	0,4278	<0,0001	
EPM	1,99		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: erro padrão da média.

Não houve diferença para fibra em detergente neutro e fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp) na *C. ternatea* e *D. pernambucanus* em monocultivo em relação aos seus consórcios nas épocas chuvosa e seca. Ao comparar as épocas dentro de cada sistema, observou-se maiores concentrações nessa fração fibrosa na *C. ternatea* no arranjo *C. ternatea* + *O. cochenillifera* na época chuvosa (Tabela 7).

No período das águas observou-se também maior quantidade de cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN) na *C. ternatea* no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* (26,8 g.kg⁻¹ MS) quando comparada a *C. ternatea* (13,9 g.kg⁻¹ MS) e *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (15,6 g.kg⁻¹ MS) (Tabela 7). Não houve diferença na proteína ligada a fibra em detergente neutro (PIDN) na época chuvosa para as leguminosas em monocultivo comparada aos seus consórcios, porém na época seca, a *C. ternatea* em monocultivo (32,3 .kg⁻¹ MS) teve menos PIDN quando que a *C. ternatea* + *O. stricta* (40,9 .kg⁻¹ MS) (Tabela 7). Nessa mesma época também se observou menor concentração PIDN para *D. pernambucanus* no consórcio com *O. cochenillifera* (33,0 g.kg⁻¹ MS), quando comparada as leguminosas nos demais sistemas avaliados (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteínas (FDNcp), cinzas ligadas a fibra em detergente neutro (CIDN), proteínas ligadas a fibra em detergente neutro (PIDN) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliações		P
	Chuvosa	Seca	
	FDN (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	553,8 Ab	524,7 Ab	0,0709
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	581,4 Aab	520,5 Bb	0,0003
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	555,4 Ab	531,3 Ab	0,1329
<i>D. pernambucanus</i>	597,1 Aab	610,7 Aa	0,3930
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	615,9 Aa	623,8 Aa	0,6180
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	587,5 Bab	622,2 Aa	0,0324
P	0,0012	<0,0001	
EPM	15,81		
	FDNcp (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	525,4 Ab	504, 7 Ab	0,1782
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	554,6 Aab	499,2 Bb	0,0005
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	532,3 Ab	506,7 Ab	0,0965
<i>D. pernambucanus</i>	568,6 Aab	580,4 Aa	0,4370
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	594,3 Aa	591, 1 Aa	0,8359
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	563,5 Aab	590,8 Aa	0,0764
P	0,0003	<0,0001	
EPM	15,14		
	CIDN (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	13,9 Abc	7,3 Ba	0,0014
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	15,6 Ab	8,1 Ba	0,0003
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	26,8 Aa	8,0 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	11,8 Abc	7,0 Ba	0,0175
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	12,5 Abc	7,5 Ba	0,0137
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	8,6 Ac	8,2 Aa	0,8543
P	<0,0001	0,9721	
EPM	1,95		
	PIDN (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	32,4 Aab	32,3 Ac	0,9848
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	27,7 Bb	38,1 Aabc	0,0002
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	30,4 Bab	40,9 Aab	0,0002
<i>D. pernambucanus</i>	37,8 Aa	40,9 Aa	0,2436
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	32,9 Aab	33,0 Abc	0,9758
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	36,5 Ba	43,2 Aa	0,0156
P	0,0038	0,0003	
EPM	2,67		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferenças para hemicelulose da *C. ternatea* em monocultivo e seus consórcios com as espécies de palma forrageira nas duas épocas de avaliações (Tabela 8). Em

contrapartida, a hemicelulose da leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* foi menor (131,3 g.kg⁻¹ MS), comparada aos demais arranjos da *D. pernambucanus* na época chuvosa. Adicionalmente, os consórcios com *D. pernambucanus* apresentaram maiores concentrações de hemicelulose na época seca, com valores de 200,2 g.kg⁻¹ MS na planta no sistema *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e 182,3 g.kg⁻¹ MS no *D. pernambucanus* + *O. stricta*, quando comparados à época chuvosa (Tabela 8).

Não houve diferenças para os carboidratos totais das duas leguminosas em monocultivo e em consórcios com as espécies de palma forrageira na época chuvosa, bem como nas frações A+B1 e B2 dos carboidratos totais na época seca (Tabela 8). No entanto, a leguminosa no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (730,6 g.kg⁻¹ MS) teve menos carboidratos totais na época seca que a *C. ternatea* em monocultivo (771,9 g.kg⁻¹ MS). Nessa mesma época, o monocultivo da *C. ternatea* teve mais carboidratos totais que a época chuvosa, comportamento semelhante para as leguminosas nos consórcios com *D. pernambucanus*, as quais também tiveram maiores valores nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (817,4 g.kg⁻¹ MS) e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (812,9 g.kg⁻¹ MS) na época seca comparada a chuvosa.

A *C. ternatea* também apresentou maiores concentrações da fração A+B1 na forragem colhida na época seca em comparação à chuvosa, em todos os arranjos avaliados. Contudo, nessa mesma época, houve redução nos teores da fração B2 em todos os sistemas com essa leguminosa. Em contrapartida, *D. pernambucanus* em monocultivo apresentou maior concentração da fração B2 na época seca, com valor de 202,7 g.kg⁻¹ MS (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliações sobre a hemicelulose, carboidratos totais, fração A+B1 e B2 dos CHOT das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliação		P
	Chuvosa	Seca	
	Hemicelulose (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	138,2 Aab	153,9 Ab	0,2024
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	150,7 Aa	158,9 Ab	0,5056
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	156,6 Aa	173,5 Aab	0,1704
<i>D. pernambucanus</i>	169,6 Aa	172, 7 Aab	0,7986
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	152,0 Ba	200,2 Aa	0,0002
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	113,1 Bb	182,3 Aab	<0,0001
P	0,0007	0,0053	
EPM	12,20		
	Carboidratos totais (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	721,8 Bb	771,9 Ab	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	742,1 Ab	730,6 Ac	0,2040
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	740,4 Ab	751,4 Abc	0,2202

<i>D. pernambucanus</i>	811,0 Aa	821,5 Aa	0,2454
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	797,3 Ba	817,4 Aa	0,0280
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	791,4 Ba	812,9 Aa	0,0191
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	8,92		
	A+B1 (g.kg ⁻¹ CHOT)		
<i>C. ternatea</i>	280,2 Babc	362,5 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	242,6 Bc	332,4 Aab	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	298,8 Bab	350,3 Aa	0,0028
<i>D. pernambucanus</i>	320,7 Aa	301,5 Abc	0,2500
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	264,6 Abc	286,4 Abc	0,1914
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	302,2 Aab	282,9 Ac	0,2449
<i>P</i>	0,0002	<0,0001	
EPM	16,51		
	B2 (g.kg ⁻¹ CHOT)		
<i>C. ternatea</i>	258,2 Aab	198,8 Ba	0,0021
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Cochenillifera</i>	285,0 Aa	231,9 Ba	0,0057
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	244,4 Aabc	205,2 Ba	0,0382
<i>D. pernambucanus</i>	141,7 Bd	202,7 Aa	0,0016
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	186,8 Acd	190,9 Aa	0,8239
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. Stricta</i>	201,6 Abc	188,5 Aa	0,4826
<i>P</i>	<0,0001	0,3044	
EPM	18,50		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferença na produção de gás total, na produção de gás total ajustada pelo modelo e volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos (Vf1) das leguminosas nas épocas chuvosa e seca entre cada leguminosa em monocultivo e seus consórcios (Tabela 19). No entanto, comparando as épocas dentro de cada sistema, observou-se maiores produções de gás e Vf1 nos arranjos da *C. ternatea* na época seca. Em contra partida, houve redução do Vf1 nos tratamentos da *D. pernambucanus* (Tabela 9). Adicionalmente, a *C. ternatea* em monocultivo apresentou maior taxa de degradação dos carboidratos não fibrosos (Kd1) que a *C. ternatea* + *O. cochenillifera* na época chuvosa. De forma oposta, a leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* apresentou maior kd1 que a *D. pernambucanus* nos demais sistemas na época seca. Porém, em todos os arranjos, as leguminosas tiveram maior kd1 na época de seca em comparação com a chuvosa (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da interação de sistemas de cultivo x épocas de avaliação sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf1) e taxa específica de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (CNF) (Kd1) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliação		P
	Chuvosa	Seca	
	PGTO (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	138,5 Ba	163,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	138,8 Ba	170,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	140,8 Ba	158,8 Aa	0,0008
<i>D. pernambucanus</i>	116,6 Ab	110,2 Ab	0,2090
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	123,0 Ab	123,5 Ab	0,9194
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	118,11 Ab	119,9 Ab	0,7228
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	5,08		
	PGTA (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	132,5 Ba	155,1 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	131,7 Ba	162,2 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	134,6 Ba	150,8 Aa	0,0010
<i>D. pernambucanus</i>	107,7 Ab	104,3 Ab	0,4635
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	114,8 Ab	117,4 Ab	0,5899
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	110,9 Ab	113,2 Ab	0,6233
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	4,69		
	Vf1 (mL)		
<i>C. ternatea</i>	35,7 Bab	47,0 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	39,8 Bab	52,7 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	40,6 Ba	46,79 Aa	0,0199
<i>D. pernambucanus</i>	32,8 Ab	22,9 Bb	0,0003
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	36,6 Aab	25,3 Bb	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	33,0 Ab	27,5 Bb	0,0304
P	0,0102	<0,0001	
EPM	2,55		
	Kd1 (%.h ⁻¹)		
<i>C. ternatea</i>	0,13 Ba	0,15 Aa	0,0302
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,10 Bbc	0,13 Aab	0,0005
<i>C. ternatea</i> + <i>O. Stricta</i>	0,11 Bab	0,14 Aab	0,0067
<i>D. pernambucanus</i>	0,09 Bbc	0,11 Ab	0,0211
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	0,09 Bbc	0,15 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	0,09 Bc	0,11 Ab	0,0029
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,01		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferença no período de latência na taxa de degradação nas leguminosas na época seca para *C. ternatea* e *D. pernambucanus* em monocultivo para seus consórcios (Tabela

10). Porém, durante o período de chuva, a leguminosa no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* (5,2 h) apresentou menor latência que a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* (6,7 h). Nessa mesma época, a leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* (6,7 h) também teve menor latência quando comprado a *D. pernambucanus* (7,9 h) e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* (8,0 h). Além disso, ao comparar cada sistema entre as épocas observou-se que a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* teve menor latência na época seca (5,5 h), comportamento contrário na leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta*, a qual foi maior nessa época de restrição hídrica (7,5 h).

Tabela 10. Efeito da interação de sistemas de cultivos x épocas de avaliações sobre o período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas de avaliação		P
	Chuvosa	Seca	
	Latência (horas)		
<i>C. ternatea</i>	6,1 Abc	5,7 Ab	0,1932
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,7 Ab	5,5 Bb	0,0004
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	5,2 Ac	5,3 Ab	0,8593
<i>D. pernambucanus</i>	7,9 Aa	7,7 Aa	0,7021
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	8,0 Aa	8,0 Aa	0,9711
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	6,7 Bb	7,5 Aba	0,0075
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,301		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.3 Valor nutritivo das leguminosas entre os anos de avaliações

No primeiro ano de avaliação, não foram observadas diferenças nas concentrações de proteína bruta entre a *C. ternatea* e *D. pernambucanus* em monocultivo em relação aos seus consórcios (Tabela 11). No entanto, no segundo ano, a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* teve maior concentração de proteína bruta, com 175,8 g.kg⁻¹ MS em relação a planta em monocultivo, com 153,1 g.kg⁻¹ MS. Além disso, nesse mesmo ano, a *C. ternatea* em monocultivo e em consórcio com *O. stricta* tiveram menores concentrações de proteína bruta em relação ao primeiro ano, enquanto a *D. pernambucanus*, tanto em monocultivo quanto no consórcio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* tiveram maiores concentrações, alcançando 130,5 e 138,7 g.kg⁻¹ MS, respectivamente.

No segundo ano de avaliação, o CIDN não diferiu entre cada leguminosa em monocultivo e seus respectivos consórcios com as espécies de palma forrageira (Tabela 11).

No entanto, no primeiro ano, a *C. ternatea* consorciada com *O. stricta* apresentou maior CIDN em comparação à leguminosa em monocultivo (7,2 g.kg⁻¹ MS) e ao consórcio com *O. cochenillifera* (6,9 g.kg⁻¹ MS). Ressalta-se que, com exceção da *C. ternatea* associada à *O. stricta*, todas as demais leguminosas apresentaram maiores concentrações médias de CIDN no segundo ano.

Tabela 11. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a proteína bruta e cinzas em detergente neutro das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	PB (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	183,0 Aa	153,1 Bbc	0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	176,2 Aa	175,8 Aa	0,9599
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	178,7 Aa	160,2 Bab	0,0145
<i>D. pernambucanus</i>	113,9 Bb	130,5 Ad	0,0272
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	117,6 Bb	138,7 Abcd	0,0056
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	128,8 Ab	133,5 Acd	0,5240
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	7,35		
	CIDN (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	7,2 Bb	14,0 Aa	0,0009
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,9 Bb	16,8 Aa	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	21,8 Aa	13,0 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	5,8 Bb	13,1 Aa	0,0004
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	7,0 Bb	13,0 Aa	0,0029
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	3,7 Bb	13,1 Aa	<0,0001
P	<0,0001	0,3365	
EPM	1,95		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P≤0,05). EPM: erro padrão da média.

Não houve diferença nas concentrações de carboidratos totais, na fração C e na DIVMS nas leguminosas em monocultivo e com seus consórcios nos dois anos de avaliações, bem como na fração A+ B1 no primeiro ano (Tabela 12). No entanto, no segundo ano, a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* (166,7 g.kg⁻¹ MS) teve menor concentração da fração A+ B1 que a *C. ternatea* nos demais arranjos.

Na avaliação anual de cada sistema, os arranjos *C. ternatea* + *O. cochenillifera*, *D. pernambucanus* em monocultivo e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* apresentaram menores concentrações médias de carboidratos totais no segundo ano (Tabela 12). Verificou-se ainda que, em todos os arranjos, as leguminosas reduziram as concentrações da fração A+B1

e aumentaram a fração C. Além disso, todos os tratamentos com *C. ternatea* apresentaram menor DIVMS no segundo ano.

Tabela 12. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre os carboidratos totais, fração A+B1, C dos CHOT e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	CHOT (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	742,6 Ab	751,1 Ab	0,3431
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	746,0 Ab	726,7 Bb	0,0351
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	744,2 Ab	747,6 Ab	0,7109
<i>D. pernambucanus</i>	826,2 Aa	806,4 Ba	0,0301
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	822,5 Aa	792,2 Ba	0,0013
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	809,6 Aa	794,6 Aa	0,0968
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	8,92		
	A+B1 (g.kg ⁻¹ CHOT)		
<i>C. ternatea</i>	392,3 Aab	250,3 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	408,4 Aab	166,7 Bc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	414,4 Aa	234,7 Bab	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	407,7 Aab	214,6 Babc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	364,6 Ab	186,7 Bbc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	364,7 Ab	220,4 Bab	<0,0001
P	0,0057	<0,0001	
EPM	16,51		
	C (g.kg ⁻¹ CHOT)		
<i>C. ternatea</i>	415,6 Bb	484,4 Ac	0,0021
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	371,0 Bb	536,7 Aabc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	395,4 Bb	505,5 Abc	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	480,7 Ba	552,3 Aab	0,0015
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	501,8 Ba	569,2 Aa	0,0026
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	481,0 Ba	543,5 Aabc	0,0050
P	<0,0001	0,0022	
EPM	21,42		
	DIVMS (g.kg ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	508,3 Aa	449,3 Ba	0,0021
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	534,6 Aa	418,8 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	501,6 Aa	499,1 Ba	0,0057
<i>D. pernambucanus</i>	321,3 Ab	330,8 Ab	0,6065
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	313,4 Bb	359,4 Ab	0,0147
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	321,1 Ab	342,9 Ab	0,2401
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	18,33		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferença para produção de gás total e na produção de gás total ajustada pelo modelo na *C. ternatea* e *D. pernambucanus* em monocultivo e com seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 13). No entanto, todos os arranjos da *C. ternatea* e os consórcios da *D. pernambucanus* diminuíram a produção de gás total no segundo ano. No entanto, a *D. pernambucanus* em todos os sistemas não apresentou diferença no volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 (Vf1) nos dois anos de avaliações. Bem como para todos os tratamentos da *C. ternatea* no segundo ano. No entanto, no primeiro ano, a *C. ternatea* em monocultivo (43,1 mL) teve menor volume quando comparado com a *C. ternatea* no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (51,7 mL).

A *D. pernambucanus* e a *C. ternatea* em monocultivo em comparação aos seus sistemas consorciados, não apresentaram diferença no período de latência da degradação no primeiro de avaliação. Em contrapartida, no segundo ano, a leguminosa no arranjo *C. ternatea* + *O. stricta* teve menor latência (6,8 h) quando no consórcio *C. ternatea* + *O. cochenillifera* (8,2 h). Assim como a *D. pernambucanus* em consórcio com *O. stricta* (7,9 h) em relação aos demais tratamentos dessa leguminosa (Tabela 13).

Tabela 13. Efeito da interação de sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), volume de gases produzido pela degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf1) e período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		<i>P</i>
	2022	2023	
	PGTO (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	163,4 Aa	138,1 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	173,1 Aa	135,7 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	167,7 Aa	132,0 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	118,5 Ab	108,3 Ab	0,0501
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	130,2 Ab	116,4 Bb	0,0089
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	125,3 Ab	112,6 Bb	0,0149
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	5,08		
	PGTA (mL.g ⁻¹ MS)		
<i>C. ternatea</i>	155,8 Aa	131,8 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	164,8 Aa	129,2 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	159,8 Aa	125,7 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	109,2 Ab	102,9 Ab	0,1843
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	120,7 Ab	111,5 Ab	0,0548
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	116,1 Ab	107,9 Ab	0,0876
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	4,69		
	Vf1 (mL)		

<i>C. ternatea</i>	43,1 Ab	39,6 Aa	0,1754
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	51,7 Aa	40,8 Ba	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	49,1 Aab	38,3 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	21,7 Bc	33,9 Ba	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	25,2 Bc	36,7 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	23,6 Bc	36,9 Aa	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	0,1296	
EPM	2,55		
	Latência (horas)		
<i>C. ternatea</i>	4,2 Bb	7,5 Abc	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. cochenillifera</i>	4,0 Bb	8,2 Ab	<0,0001
<i>C. ternatea</i> + <i>O. stricta</i>	3,8 Bb	6,8 Ac	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i>	6,2 Ba	9,4 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. cochenillifera</i>	6,6 Ba	9,5 Aa	<0,0001
<i>D. pernambucanus</i> + <i>O. stricta</i>	6,3 Ba	7,9 Ab	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,31		

Médias seguidas por letras diferentes maiúscula na linha e minúscula na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

3.1.4 Valor nutritivo das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

Observou-se maior concentração de matéria seca, matéria mineral e extrato etéreo na forragem colhida na época seca no primeiro ano de avaliação (Tabela 14). A concentração de matéria seca se manteve maior na época seca do segundo ano, assim como a concentração de matéria orgânica, no entanto, a matéria mineral e proteína bruta reduziram. Ao comparar as concentrações das variáveis nas épocas entre os anos, notou-se maiores concentrações de matéria seca e matéria mineral na época chuvosa do segundo ano. Porém, na época seca deste mesmo ano houve redução dessas variáveis e da proteína bruta, aliado ao aumento da matéria orgânica e extrato etéreo.

Tabela 14. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre as concentrações de matéria seca, matéria mineral, matéria orgânica, proteína bruta e extrato etéreo das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Épocas do ano	Anos de avaliações		<i>P</i>
	2022	2023	
MS (g.kg ⁻¹ MN)			
Chuvosa	270,6 Bb	330,5 Ab	0,0083
Seca	486,6 Aa	410,3 Ba	0,0009
<i>P</i>	<0,0001	0,0031	
EPM	21,91		
MM (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	43,7 Bb	55,1 Aa	<0,0001
Seca	51,7 Aa	45,2 Bb	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,32		
MO (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	955,1 Aa	944,9 Bb	<0,0001
Seca	950,5 Bb	954,7 Aa	0,0093
<i>P</i>	0,0241	<0,0001	
EPM	1,56		
PB (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	150,1 Aa	169,0 Aa	<0,0001
Seca	149,3 Aa	128,3 Bb	<0,0001
<i>P</i>	0,9969	<0,0001	
EPM	4,24		
EE (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	17,4 Bb	29,3Aa	<0,0001
Seca	24,2 Ba	31,4 Aa	<0,0001
<i>P</i>	<0,0001	0,2597	
EPM	1,15		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Foi observado efeito da interação época e anos de avaliações (Tabela 15) para fibra em detergente neutro, FDNcp, CIDN, PIDN, fibra em detergente ácido, hemicelulose e lignina nas leguminosas. No primeiro ano, observou-se maiores concentrações de CIDN, fibra em detergente ácido e lignina na época chuvosa. Em contrapartida, observou-se maiores concentrações de PIDN e hemicelulose no período de seca.

No segundo ano, na época chuvosa notou-se maiores concentrações de fibra em detergente neutro, FDNcp, CIDN e PIDN (Tabela 15). Ao comparar as concentrações das variáveis nas épocas entre os anos, observou-se maiores concentrações de fibra em detergente neutro, FDNcp, fibra em detergente ácido e hemicelulose nas leguminosas em ambas as épocas,

chuvosa e seca no segundo ano. Bem como maiores CIDN e lignina na época seca e redução de PIDN nessa mesma época (Tabela 15).

Tabela 15. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre a fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigidas para cinzas e proteínas (FDNcp), cinzas corrigidas para fibra em detergente neutro (CIDN), proteínas corrigidas para fibra em detergente neutro (PIDN), fibras em detergente ácido (FDA), hemicelulose e lignina das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Épocas do ano	Ano de avaliações		P
	2022	2023	
FDN (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	501,9 Ba	661,8 Aa	<0,0001
Seca	517,0 Ba	627,3 Ab	<0,0001
P	0,3575	0,0020	
EPM	9,13		
FDNcp (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	486,7 Ba	626,1 Aa	<0,0001
Seca	488,7 Ba	602,3 Ab	<0,0001
P	0,9959	0,0409	
EPM	8,74		
CIDN (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	13,8 Aa	15,8 Aa	0,0771
Seca	3,7 Bb	11,9 Ab	<0,0001
P	<0,0001	0,0045	
EPM	1,13		
PIDN (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	20,4 Bb	45,5 Aa	<0,0001
Seca	44,0 Aa	32,1 Bb	<0,0001
P-valor	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,54		
FDA (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	424,6 Ba	454,8 Aa	<0,0001
Seca	360,4 Bb	441,2 Aa	<0,0001
P	<0,0001	0,2374	
EPM	7,15		
HEM (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	91,5 Bb	201,9 Aa	<0,0001
Seca	156,4 Ba	190,8Aa	<0,0001
P	<0,0001	0,3993	
EPM	7,0453		
LIG (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	168,7 Aa	158,6 Aa	0,0691
Seca	138,0 Bb	165,6 Aa	<0,0001
P	<0,0001	0,5784	
EPM	5,43		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Foi observado efeito da interação das épocas e anos de avaliações nas concentrações de carboidratos totais e das frações A+B1 e B2 das leguminosas (Tabela 16). No primeiro ano, observou-se maior concentração de carboidratos totais na época chuvosa e maior fração B2 na época seca. No segundo ano de avaliação, observou-se maiores concentrações de carboidratos totais e fração A+ B1 na época seca e fração B2 na época chuvosa. Ao comparar as concentrações dos nutrientes de cada época entre os anos observou-se que no segundo ano, os carboidratos totais diminuíram na época chuvosa e aumentaram na seca. Observou-se ainda redução das frações A+B1 e elevação da fração C em ambas as épocas no segundo ano.

Tabela 16. Efeito da interação de época x anos de avaliações sobre os carboidratos totais, Fração A+B1 e B2 das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

No Agreste de Pernambuco.			
Épocas do ano	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
CHOT (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	789,1 Aa	745,6 Bb	<0,0001
Seca	774,6 Bb	794,0 Aa	0,0004
P	0,0328	<0,0001	
EPM	5,15		
A+B1 (g kg ⁻¹ CHOT)			
Chuvosa	399,4 Aa	170,3 Bb	<0,0001
Seca	384,6 Aa	254,0 Ba	<0,0001
P	0,4161	<0,0001	
EPM	9,53		
B2 (g.kg ⁻¹ CHOT)			
Chuvosa	147,8 Bb	291,5 Aa	<0,0001
Seca	186,1 Ba	220,0 Ab	0,0024
P	0,0037	<0,0001	
EPM	10,68		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Foi observado efeito da interação das épocas e anos de avaliações para produção de gás total, produção de gás ajustada pelo modelo, Kd1, VF2 e período de latência da degradação de leguminosas (Tabela 17). Em que no primeiro ano, não houve diferenças dos valores encontrados na época chuvosa para seca em todas as variáveis. No entanto, no segundo ano, observou-se maior produção de gás total, produção de gás ajustada pelo modelo, taxa de degradação da fração A+B1, volume de gases produzido pela degradação da fração B2 na época seca e maior período de latência da degradação de leguminosas na época chuvosa.

Tabela 17. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre a produção de gás total (PGTO), produção de gás total ajustada pelo modelo (PGTA), taxa de degradação da fração A+B1 do Sistema de Cornell (CNF) (Kd1), volume de gases produzido pela degradação da fração B2 do Sistema de Cornell (CNF) (Vf2) e período de latência da degradação das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Épocas do ano	Anos de avaliações		<i>P</i>
	2022	2023	
PGTO (mL.g ⁻¹ MS)			
Chuvosa	145,3 Aa	113,4 Bb	<0,0001
Seca	147,4 Aa	134,4 Ba	<0,0001
<i>P</i>	0,8826	<0,0001	
EPM	2,93		
PGTA (mL.g ⁻¹ MS)			
Chuvosa	136,7 Aa	107,3 Bb	<0,0001
Seca	138,7 Aa	129,0 Ba	0,0007
<i>P</i>	0,8889	<0,0001	
EPM	2,71		
Kd1 (%.h ⁻¹)			
Chuvosa	0,14 Aa	0,07 Bb	<0,0001
Seca	0,14 Aa	0,12 Ba	<0,0001
<i>P</i>	0,2125	<0,0001	
EPM	0,01		
Vf2 (mL)			
Chuvosa	110,7 Aa	75,0 Bb	<0,0001
Seca	110,5 Aa	97,2 Ba	<0,0001
<i>P</i>	0,9998	<0,0001	
EPM	2,23		
Latência (horas)			
Chuvosa	5,0 Ba	8,5 Aa	<0,0001
Seca	5,4 Ba	7,9 Ab	<0,0001
<i>P</i>	0,2242	0,0076	
EPM	0,18		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.2 Discussão

3.2.1 Valor nutritivo da palma forrageira

A redução observada na concentração de matéria seca da forragem colhida no segundo ano de avaliação para palma no consócio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e todos os arranjos da *O. stricta* (Tabela 1), pode ser explicada pela maior presença de cladódios secundários (capítulo II, tabela 3). Esses cladódios, por serem mais jovens e tenros, possivelmente apresentaram maior concentração de água e menor acúmulo de matéria seca, em relação aos cladódios primários mais maduros. Os valores de matéria seca foram de 55,3 g.kg⁻¹MN para palma no consócio *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e média de 55,8 g.kg⁻¹MN

para os arranjos da *O. stricta* (Tabela 1) no segundo ano, o que evidencia a clássica informação da baixa concentração de matéria seca apresentado pela palma forrageira (Pessoa et al., 2024), independente dos sistemas de cultivo, típico de plantas suculentas.

O aumento expressivo na concentração de matéria mineral e redução proporcional de matéria orgânica para todos os tratamentos da *O. stricta*, no segundo ano, indica que tanto os sistemas consorciados, quanto os monocultivos apresentaram a mesma tendência (Tabela 1). Esse mesmo comportamento nos dois sistemas pode estar associado à alta eficiência de *O. stricta* na exploração do solo e no acúmulo de minerais, pois segundo Lopes et al. (2013), a *O. stricta* apresenta boas repostas agronômicas, sendo menos exigente em fertilidade em comparação a *O. cochenillifera*.

A maior concentração de proteína bruta para os tratamentos com *O. cochenillifera* em comparação à *O. stricta* em monocultivo (Figura 2A) diverge dos achados por Rocha Filho et al. (2021) e Dubeux Júnior et al. (2021). Esses autores observaram que em condições ambientais semelhantes, a palma *O. cochenillifera* apresenta maiores concentrações de matéria seca, e menor proteína bruta, quando comparada com a *O. stricta*. Comportamento semelhante ao observado por Magalhães et al. (2021) que observaram concentrações de proteína bruta de 74,3 e 38,1 g.kg⁻¹ MS para *O. stricta* e *O. cochenillifera*. Esses achados reforçam a hipótese que a composição química da palma é fortemente influenciada por diversos fatores como idade dos cladódios (Hernández-Urbiola et al., 2011), manejo de adubação (Nascimento et al., 2024), manejo de irrigação (Barros et al. 2025), fatores ambientais época de colheita (Méndez et al., 2015), manejo de armazenamento (Santos et al., 2024), entre outros.

A maior proteína bruta para *O. cochenillifera* pode ser relacionada à maior quantidade de cladódios de segunda e terceira ordem (Capítulo II, tabela 3). No momento do corte, foi observado menor quantidade de cladódios de segunda e ausência de cladódios de terceira ordem para o gênero *Opuntia*. Além disso, o aumento na concentração de proteína bruta no segundo ano (Figura 2B) pode estar relacionado ao melhor desenvolvimento do sistema radicular. Com o sistema radicular mais estabelecido, as raízes possivelmente, exploraram mais nutrientes no solo, refletindo em maior concentração de nitrogênio e proteína bruta. No primeiro ano, possivelmente a planta pode ter alocado mais recursos para o estabelecimento do sistema radicular e adaptação ao ambiente.

A maior concentração de extrato etéreo da palma no sistema *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* comparado a *O. cochenillifera* em monocultivo (Figura 3A), pode estar relacionada a mudanças no perfil metabólico da palma, incluindo o acúmulo de extrato etéreo, como resposta a estímulos fisiológicos ou competições indiretas com as leguminosas,

favorecendo a produção de compostos com funções de armazenamento ou proteção. No entanto, Peixoto et al. (2018) não observaram diferenças para as concentrações de extrato etéreo na palma Gigante com concentração média de $13,1 \text{ g.kg}^{-1}$ MS em consórcio com a leguminosa Cajá (*Cajanus cajan*) em comparação a palma em monocultivo ($12,2 \text{ g.kg}^{-1}$ MS) no primeiro ano de cultivo, sob condição de sequeiro e plantada com espaçamento de $1 \times 0,5 \text{ m}$.

Por outro lado, a redução na concentração de extrato etéreo no segundo ano (Figura 3B) pode estar relacionado ao maior desenvolvimento da planta, comparado ao primeiro ano. No segundo ano, o crescimento vegetativo da palma foi maior (Capítulo II, tabela 2), o que possivelmente levou a maior diluição dos nutrientes acumulados nos tecidos. Isso pode ter resultado em concentrações relativamente menores de extrato etéreo nos tecidos das plantas.

O aumento das concentrações de fibra em detergente neutro no segundo ano de avaliação da palma forrageira, independente do sistema de cultivo (Figura 4A), bem como na concentração de lignina na palma nos consórcios com *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (Tabela 2), pode ser atribuído ao maior desenvolvimento das plantas, que apresentaram maior altura (Capítulo II, tabela 2) e número de cladódios (Capítulo II, tabela 3) em comparação ao primeiro ano. Esse avanço é resultado do melhor estabelecimento do sistema radicular, permitindo maior absorção de nutrientes e promovendo maior crescimento. O crescimento estrutural mais acentuado nos cladódios inferiores melhora a sustentação das ordens superiores (Silva et al., 2010), prevenindo o tombamento da planta e contribuindo para o aumento de tecidos estruturais, como lignina. Além disso, a elevação das concentrações de fibra em detergente neutro está associada à maturidade fisiológica, com maior lignificação das células e acúmulo desses componentes na parede celular.

Em contrapartida, Peixoto et al. (2018) não observaram diferenças para as concentrações de fibra em detergente ácido e lignina na palma Gigante com concentrações médias de $191,4$ e $30,8 \text{ g.kg}^{-1}$ MS, respectivamente em consórcio com Cajá, em comparação a palma em monocultivo, com concentrações de fibra em detergente ácido e lignina de $182,7$ e $28,4 \text{ g.kg}^{-1}$ MS, respectivamente. A falta de diferença encontrada pelo autor mencionado pode estar associada a época de colheita, primeiro ano de cultivo. O que também corrobora com os resultados do primeiro ano, que também não apresentaram diferenças na lignina (Tabela 2) na palma em monocultivo e em sistema consorciado.

Dentre os compostos estruturais que compõem a fibra em detergente ácido, a celulose apresentou concentração superior em $56,0 \text{ g.kg}^{-1}$ MS no segundo ano de avaliação (Figura 4B), contribuindo diretamente para o aumento da fibra em detergente ácido e neutro, tendo aumento das mesmas no segundo ano de 74 (Figura 4A) e 58 g.kg^{-1} MS (Figura 4B), respectivamente.

Naorem et al. (2022), ao avaliar o efeito da maturidade da palma forrageira na composição químico-bromatológica, observaram aumento progressivo na fibra em detergente neutro com a maturidade da planta, atingindo concentrações de 37,50; 24,65 e 15,78 g.kg⁻¹ MS nas fenofases madura, intermediária e jovem, respectivamente. Esses dados corroboram a hipótese de que os tecidos inferiores dos cladódios aumentam a deposição de componentes estruturais, como celulose, para garantir maior sustentação às ordens superiores e prevenir problemas estruturais, como o tombamento, aumentando assim a concentração dos tecidos estruturais da planta de modo geral.

O aumento da PIDN (Figura 5B) no segundo ano impactou diretamente a concentração de FDNcp (Figura 4A), que apresentou aumento de 55 g.kg⁻¹ MS, tendo em vista que os conteúdos de CIDN diminuíram (Figura 5A). Esse aumento reflete a maior proporção de proteínas estruturais associadas à matriz fibrosa, que são contabilizadas na FDN total antes da correção, influenciando diretamente o perfil fibroso da planta.

A redução da concentração de CIDN na palma forrageira no segundo ano de avaliação (Figura 5A) pode estar associada a diminuição da disponibilidade de nutrientes no solo ao longo do tempo, o que pode ter levado a menor incorporação de minerais pela planta (Capítulo IV). Outro fator possível é o maior acúmulo de tecidos mais envelhecidos, que tendem a conter menos minerais em comparação com os tecidos jovens e em crescimento.

No segundo ano de avaliação, o aumento nas concentrações de fibra em detergente neutro (Figura 4A), fibra em detergente ácido, celulose (Figura 4B) e lignina (Tabela 2) aliado à redução dos carboidratos totais (Tabela 3) na maioria dos tratamentos pode ser explicado por mudanças no desenvolvimento estrutural das plantas. À medida que as plantas forrageiras envelhecem, ocorre um processo natural de lignificação e maior deposição de celulose na parede celular, que está associado ao amadurecimento dos tecidos e à formação de estruturas mais rígidas (Tedeschi, Adams, Vieira, 2022). Esses fatores contribuem para menor proporção de carboidratos solúveis e não estruturais, o que pode explicar a diminuição dos carboidratos totais no segundo ano. Por outro lado, a *O. cochenillifera* em monocultivo, não apresentou redução de carboidratos totais entre os anos de avaliações. Possivelmente essa espécie pode ter uma capacidade intrínseca de manter o equilíbrio entre o crescimento estrutural e o acúmulo de carboidratos, provavelmente devido à ausência de competição direta, tendo em vista que em sistemas consorciados, houve redução na concentração de carboidratos na *O. cochenillifera* entre os anos de avaliações.

No contexto dos consórcios, a redução dos carboidratos totais na palma nos sistemas *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* em relação aos

monocultivos de cada palma (Tabela 3), no segundo ano de avaliação, pode estar associada também ao efeito da *D. pernambucanus* sobre as espécies de palma. Essa leguminosa reduziu as concentrações de carboidratos totais em ambas as espécies de palma, enquanto no consórcio com *C. ternatea* não houve diferenças em relação ao monocultivo das palmas. No entanto, a falta de diferenças nas concentrações de CHOT na palma em monocultivo e em consórcio no primeiro ano de avaliação também foi exposto por Peixoto et al. (2018) com concentrações médias de CHOT de 813,6 e 798,5 g.kg⁻¹ MS no primeiro e segundo ano, respectivamente.

O aumento significativo da fração C na palma nos consórcios *C. ternatea* + *O. stricta* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* (Tabela 3), com diferença entre as médias de 27,7 e 21,9 g.kg⁻¹ CHOT, respectivamente, no segundo ano, podem ser atribuídos ao aumento da deposição de celulose (Figura 4B) e lignina (Tabela 2) nesses sistemas. Esse crescimento está diretamente relacionado ao maior desenvolvimento estrutural das plantas, promovido pela melhor absorção de nutrientes e maior sustentação dos tecidos inferiores.

Esse aumento da celulose e lignina podem ter aumentado a fração B2 em 164,0 g.kg⁻¹ CHOT (Figura 6), no segundo ano de avaliação. Esses componentes são menos solúveis e mais resistentes à degradação microbiana no rúmen (Gharechahi et al., 2023), o que possivelmente diminuiu a proporção de carboidratos rapidamente fermentáveis (fração A+B1), responsáveis pela liberação rápida de energia em 211,0 g.kg⁻¹ CHOT (Figura 6).

A redução da DIVMS nas plantas na maioria dos tratamentos (Tabela 3) pode estar diretamente associada à redução dos CHOT e maior fração C, já que menos carboidratos solúveis resultam em menor disponibilidade energética para a degradação. O aumento da lignificação e da deposição de fibras estruturais nos tecidos compromete a qualidade forrageira, tornando-os mais resistentes e menos digestíveis. Em contraste, a *O. cochenillifera* em monocultivo, não apresentou redução significativa nos carboidratos totais e DIVMS entre os anos (Tabela 3). O que proporciona mais subsídio para hipótese de que esse cultivar mantém um equilíbrio melhor entre o crescimento estrutural e a produção de carboidratos solúveis.

A ausência de diferenças nos valores de PGTO da *O. cochenillifera*, entre o monocultivo e os sistemas consorciados ao longo dos dois anos de avaliações (Tabela 4), pode estar relacionada à estabilidade na composição relativa das frações de carboidratos (A+B1, B2 e C), mesmo diante da redução nas concentrações de carboidratos totais observada nos consórcios. Essa constância nas frações fermentescíveis pode ter garantido substrato adequado para a manutenção da atividade microbiana ruminal. Esses achados evidenciam a robustez da *O. cochenillifera* como fonte energética para ruminantes, independentemente do sistema de cultivo adotado.

Por outro lado, a maior PGTO observada na forragem colhida no monocultivo de *O. stricta* no segundo ano, em comparação as plantas nos consórcios com *C. ternatea* e *D. pernambucanus* (Tabela 4), pode estar relacionada a maior fração C observadas nesses consórcios (Tabela 3). No entanto, a redução progressiva na PGTO em todos os sistemas contendo *O. stricta* no segundo ano, podem estar relacionados a menor concentração de CHOT (Tabela 3) nos arranjos da *O. stricta* nesse mesmo ano, bem como aumento da fração C nos consórcios da *O. stricta* (Tabela 3).

A ausência no Vf_1 entre as espécies de palma forrageira em monocultivo e seus consórcios ao longo dos dois anos (Tabela 5), indica uma estabilidade geral na capacidade fermentativa dos carboidratos rapidamente disponíveis nos diferentes sistemas de cultivo. No entanto, o aumento de 27,9 mL na média do Vf_1 no segundo ano para a *O. cochenillifera* em monocultivo, mesmo na ausência de diferenças nas concentrações de carboidratos totais (Tabela 3) ou na fração de carboidratos não fibrosos (A+B1), indica que outros fatores podem ter influenciado a dinâmica da fermentação.

Uma possível explicação para esse aumento de Vf_1 pode estar relacionada à estrutura dos carboidratos não fibrosos e à maior acessibilidade desses compostos para a fermentação microbiana no rúmen. Apesar da quantidade total de carboidratos não fibrosos (A+B1) permanecer constante, fatores como mudanças na composição química (por exemplo, proporção de açúcares simples em relação a amidos) pode ter facilitado o acesso dos microrganismos a essas moléculas no segundo ano.

A redução no Vf_1 observada na palma no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta* em 28,9 .kg⁻¹ MS do primeiro para o segundo ano, pode ser diretamente associada à diminuição nos carboidratos totais e ao aumento da fração C dos carboidratos. A fração C representa os carboidratos de digestão lenta, como a lignina e celulose e outros componentes estruturais menos fermentáveis, indicando uma mudança na composição de carboidratos da biomassa produzida no sistema consorciado, possivelmente devido a maior altura de planta (Capítulo 2, Tabela 2), tendo mais fibras para sustentação da planta.

A redução de 0,019%.h⁻¹ entre as médias na Kd1 da *O. cochenillifera* em monocultivo no segundo ano em relação ao primeiro (Tabela 5), mesmo com o aumento no Vf_1 indica que a taxa inicial de degradação foi mais lenta, o que pode ser explicado por outros fatores além da composição química. Uma possibilidade é que, apesar do maior volume produzido, sua acessibilidade pode ser influenciada pela organização estrutural da parede celular e pela presença de componentes como hemicelulose e lignina, que podem formar barreiras ou

complexos com os carboidratos, limitando sua degradação inicial, antes da completa colonização dos microrganismos as partículas dos alimentos e degradação.

A redução de 23,2 mL entre as médias no volume de gás produzido a partir da taxa de degradação dos carboidratos fibrosos (Vf2) no segundo ano (Figura 7B) pode estar diretamente associada ao aumento substancial da celulose (Figura 4B), pois esse componente possui um impacto significativo na digestibilidade das fibras (Tedeschi, Adams, Vieira, 2022). A celulose é composta por cadeias lineares de glicose ligadas por ligações β -1,4-glicosídicas (Kholousi Adab, Mehdi Yaghoobi, Gharechahi, 2024), que requerem a ação de microrganismos específicos e celulasas para serem degradadas (Bhatia et al., 2024).

À medida que a concentração de celulose aumenta, a estrutura física se torna mais densa, tornando mais difícil para as enzimas microbianas acessarem as cadeias de celulose. Isso leva a uma hidrólise mais lenta mediada por enzimas, reduzindo a eficiência da fermentação ruminal, conforme observado em estudos em que a acessibilidade à celulose diminuiu ao longo do tempo durante a hidrólise (Wu et al., 2023). Consequentemente, a produção de gás, que é um subproduto da degradação microbiana das fibras, é prejudicada.

O aumento do período de latência em 1 hora no segundo ano de avaliação (Figura 8) pode estar associado ao maior conteúdo fibroso da palma nesse mesmo ano, influenciando a degradação inicial do material no rúmen. O período de latência observado, de 2,9 e 3,9 horas no primeiro e segundo ano, respectivamente, está dentro da faixa relatada em estudos prévios sobre a cinética de produção de gás da palma forrageira.

Magalhães et al. (2021) verificaram período de latência para *O. stricta* (2,4h) e para *O. cochenillifera* (3,6h). Pessoa et al. (2024), ao avaliarem o valor nutritivo de diferentes espécies de palma, observaram período de latência ainda maior para *O. cochenillifera* (4,33h). Por outro lado, Pessoa et al. (2020), analisando o valor nutricional de espécies de *Opuntia*, encontraram período de latência de 3,83h para *O. stricta* (Haw.) Haw. Essas diferenças reforçam a influência da composição da parede celular e das características intrínsecas de cada espécie sobre a cinética da degradação ruminal.

Independentemente do período de latência entre as variedades, os valores são baixos devido as concentrações de carboidratos solúveis da palma. Segundo Magalhães et al (2021), o baixo tempo de latência da palma forrageira se deve às suas características físicas e químicas, visto que a fração solúvel é um substrato energético para microrganismos com fermentação rápida, o que facilita os processos de adesão e colonização do substrato. Assim, quando comparados aos valores relatados a estudos anteriores para alimentos volumosos, eles são

considerados baixos. Godoi et al. (2024) encontraram período de latência de 6,68 e 7,82h para silagem de palma + feno búffel e silagem de palma + Pôrnuça, respectivamente.

3.2.2 Valor nutritivo das leguminosas entre as épocas de avaliações

Ao comparar as épocas dentro de cada sistema, observa-se que a *D. pernambucanus* nos consórcios *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* e *D. pernambucanus* + *O. stricta* apresentaram redução na matéria mineral na época seca, o que pode estar relacionado à priorização de outras estratégias de sobrevivência, como o aumento da matéria orgânica, em detrimento da absorção mineral.

Em condições de estresse hídrico, como a época seca, as plantas podem priorizar a produção de biomassa orgânica, como carboidratos e outras moléculas estruturais (Yu et al., 2025), em detrimento da absorção de minerais (Chada et al., 2023). Isso ocorre porque durante a seca, a disponibilidade de água no solo diminui, o que pode limitar a absorção de minerais essenciais pelas raízes das plantas. Isso ocorre porque muitos minerais são absorvidos em solução, e a redução da disponibilidade de água pode dificultar esse processo.

A redução da concentração de proteína bruta nas leguminosas *C. ternatea* e *D. pernambucanus* nos diferentes arranjos durante a época seca (Tabela 6) pode ser atribuída ao estresse hídrico, que afeta diretamente a absorção de nutrientes, como o nitrogênio, essencial para a síntese de proteínas (Silva et al., 2024). A escassez de água reduz a atividade dos nódulos radiculares das leguminosas, prejudicando a fixação biológica de nitrogênio (Tasca et al., 2024) e, conseqüentemente, a produção de proteína bruta conforme observado por Camelo (2024), em que constatou maior fixação biológica de nitrogênio na época chuvosa (30 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) comparada a seca (5 kg.ha⁻¹.ano⁻¹) na *C.ternatea* em monocultivo, que impactou em maior estoque de nitrogênio na planta também na época chuvosa (1,48%), em comparação ao observado na época seca (1,41%). A autora citada também observou mais nitrogênio total no solo (camada 0-10 cm) sob cultivo de capim elefante B e Mott em consórcio com a *C. ternatea* na época chuvosa (0,98 g kg⁻¹) do que na época seca (0,82 g kg⁻¹).

A redução de proteína bruta na *C. ternatea* em monocultivo e consorciada com *O. stricta* (Tabela 6), sugere que o estresse hídrico afetou de maneira semelhante as duas formas de cultivo, independentemente da interação entre as espécies. Assim, as condições climáticas adversas levaram a diminuição generalizada na síntese proteica, refletindo o impacto do déficit hídrico nas leguminosas, tanto isoladas quanto em consórcio. Costa (2024), objetivando avaliar o valor nutritivo da *D. pernambucanus* sob diferentes densidades de plantio e frequência de

corte a cada 90 dias, na Zona da Mata de Pernambuco, também verificaram redução na proteína bruta na época seca ($177\text{g.kg}^{-1}\text{ MS}$) comparado à época chuvosa ($213\text{g.kg}^{-1}\text{ MS}$).

O aumento do extrato etéreo em *C. ternatea* em todos os arranjos na época seca (Tabela 6) pode estar relacionada às mudanças da atividade metabólica da planta sob condições de estresse hídrico. Durante épocas de seca, a planta pode reorientar seu metabolismo para a sobrevivência, fechando os estômatos, reduzindo a absorção de CO_2 e levando ao estresse oxidativo, que desloca os processos metabólicos em direção à síntese de metabólitos secundários e combustíveis energéticos, como lipídios (Selmar, Kleinwächter, 2013).

A redução da fração fibrosa em *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* durante a época seca em comparação a chuvosa (Tabela 7) pode ser explicada possivelmente devido a maior proporção de folha e menor proporção de caule nesse tratamento, favorecendo tecidos menos lignificados e mais ricos em compostos solúveis, o que resulta em menor concentração da fibra em detergente neutro.

Não foram observadas diferenças na fibra em detergente neutro na leguminosa nos arranjos com *D. pernambucanus*, com médias de $600,1\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$ na estação chuvosa e $618,9\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$ na seca (Tabela 7). Resultados semelhantes foram relatados por Costa (2024), que também não encontrou variação significativa entre as épocas chuvosa ($565\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$) e seca ($575\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$) na *D. pernambucanus*. Em contrapartida, Medeiros (2021) encontrou maior concentração de fibra em detergente neutro na época chuvosa ($627\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$) em comparação à seca ($568,4\text{ g.kg}^{-1}\text{ MS}$) na *D. pernambucanus* na mesma área de Costa (2024). Essa diferença de valor em relação a Medeiros, pode estar associada ao menor desenvolvimento das plantas nesse estudo, pois a autora observou alturas de 73,5 cm e 81,4 cm para as intensidades de colheitas a 20 cm e 40 cm, respectivamente, alturas superiores as registradas no presente experimento, de 61,8 cm na época chuvosa e 48,6 cm na seca (capítulo II, tabela 2). A frequência de colheita empregada por Medeiros (2021) foi de 84 dias, semelhante à utilizada neste estudo (90 dias).

A maior hemicelulose observada na *D. pernambucanus* nos sistemas consorciados na época seca (Tabela 8) pode estar diretamente relacionada às mudanças no crescimento estrutural das plantas, como na altura, largura e comprimento dos ramos primários (capítulo II, tabela 7). Em condições de estresse hídrico, as plantas exibem várias estratégias adaptativas, incluindo ajuste osmótico e síntese proteica protetora, que podem levar a padrões de crescimento alterados, como altura reduzida e galhos mais curtos, para minimizar a perda de água e melhorar o uso de recursos (Haghpanah et al. 2024). Costa (2024) verificaram menor altura de planta na *D. pernambucanus* na época seca sob frequência de corte de 150 dias na região da Zona da

Mata de Pernambuco. Essa redução no crescimento pode levar a menor deposição de hemicelulose.

Na época chuvosa não houve diferenças nos carboidratos totais entre as plantas em monocultivos aos seus consórcios com as palmas forrageiras (Tabela 8), indicando que a disponibilidade adequada de água durante essa fase não alterou significativamente a produção de carboidratos nas plantas, independentemente da interação entre as leguminosas e as palmas. Isso pode ser atribuído ao fato de que, sob condições de alta disponibilidade hídrica, as plantas são capazes de manter produção estável de carboidratos, sem que as interações competitivas ou de cooperação no consórcio tenham um impacto notável.

No entanto, na época seca, observou-se que a *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* apresentou menores valores de carboidratos totais quando comparado a *C. ternatea* em monocultivo, o que sugere uma competição mais intensa por recursos nesse consórcio, resultando em menor acúmulo de carboidratos pela *C. ternatea* sob estresse hídrico. Por outro lado, a *C. ternatea* em monocultivo na época seca teve aumento de 50,1 g.kg⁻¹ MS em carboidratos totais, o que pode ser uma resposta da planta às limitações hídricas.

De maneira semelhante, a *D. pernambucanus* nos consórcios com *O. cochenillifera* e *O. stricta* tiveram aumento nos carboidratos totais de 20,1 e 21,5 g.kg⁻¹ MS, respectivamente, na época seca em relação a chuvosa. Esse aumento pode estar relacionado à atividade fotossintética menos intensa nessa época, levando à alocação mais eficiente de carboidratos para o tecido, como os ramos (TAIZ et al., 2017). Costa (2024) também observou maior concentração de carboidratos totais na *D. pernambucanus* sob corte a cada 90 dias na época seca na Zona da Mata de Pernambuco. A maior concentração de carboidratos totais na *D. pernambucanus* nos consórcios também pode estar relacionado à interação benéfica das palmas, que possivelmente ajudam a melhorar a retenção de água no solo e a reduzir o estresse hídrico nas leguminosas, favorecendo o acúmulo de reservas energéticas.

Bariagabre et al. (2016), objetivando avaliar o efeito da palma forrageira nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos de duas bacias hidrográficas sob clima Semiárido na região de Tigray, no norte da Etiópia, observaram que em média, a concentração de umidade do solo aumentou 41% (6,74 vs 9,49%) para amostras de solo sob a copa da palma forrageira do que em áreas abertas. A maior concentração de umidade sob a cobertura do dossel da palma forrageira pode ser devido à redução do estresse térmico e da perda de água por evapotranspiração devido ao sombreamento do solo pela palma.

Durante a época seca, todos os arranjos da *C. ternatea* apresentaram aumento na fração A + B1 e redução na fração B2 em todos os arranjos avaliados (Tabela 8). Esse comportamento

pode estar relacionado à conversão de carboidratos estruturais em formas solúveis como uma estratégia de adaptação ao estresse hídrico, garantindo maior disponibilidade energética para manutenção metabólica. A acumulação de açúcares é consistentemente desencadeada pela seca, alterando a relação fonte-sumidouro nas culturas (Kaur et al., 2021). As plantas acumulam açúcares para o ajuste osmótico celular e servem como fonte de energia durante períodos de estresse (Ghosh et al., 2021). O aumento de açúcares no citosol e outros compartimentos subcelulares é regulada nos níveis transcricionais dos genes relacionados, como *SWEET* (*SWEET11* e *SWEET12*) (Aubry et al., 2024). A acumulação de osmólitos, como açúcares, poliaminas e outros solutos compatíveis, desempenha um papel na salvaguarda das estruturas celulares em condições de estresse por déficit hídrico (Ghosh et al., 2021; Wang et al., 2019).

A falta de diferença na concentração da fração A+B1 para *D. pernambucanus* pode indicar maior resistência ao estresse ambiental, neste caso hídrico. Medeiros et al. (2017), objetivando caracterizar a produção de biomassa da parte aérea e determinar a composição químico-bromatológica de plantas de *D. pernambucanus* submetidas a crescentes níveis salinos (0, 25, 50, 75 e 100 mM de NaCl) em casa de vegetação, sob frequência de corte, não encontraram diferenças nos carboidratos solúveis sob o estresse hídrico. Essa resiliência ao estresse hídrico, bem como possivelmente a maior resistência ao estresse ambiental encontrada no presente trabalho indica que a *D. pernambucanus* é uma planta mais resiliente as perturbações do meio.

A falta de diferença na produção de gás e volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos nas leguminosas em monocultivo e consorciadas nas épocas chuvosa e seca nos diferentes arranjos (Tabela 9) sugere que os consórcios com espécies de palma não modificam as estruturas nutritivas das leguminosas a nível de causar diminuição na degradação ruminal. A PGTO foi próxima a produção de gás ajustada pelo modelo bicompartimental, comprovando o ajuste do modelo.

O aumento na produção de gás e volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos (Tabela 9) nos arranjos da *C. ternatea* durante a época seca pode ser explicado pela elevação da fração A + B1 dos CHOT e pela redução da fração B2 nesses arranjos, nesta época (Tabela 8). A fração A + B1 compreende carboidratos solúveis e rapidamente fermentáveis, que são prontamente utilizados pelos microrganismos ruminais, resultando em maior produção de gases (Singh et al., 2012). Com a diminuição da fração B2, que representa carboidratos de degradação intermediária, há menor aporte de substratos de

fermentação lenta, favorecendo a rápida conversão dos carboidratos solúveis em produtos finais de fermentação.

A redução do volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos nos tratamentos da *D. pernambucanus* na época de seca (Tabela 9) pode indicar algum fator antinutricional esteja atuando sobre essa fermentação, tendo em vista que a fração A + B1 dos CHOT não diminuíram na época de seca (Tabela 8). Esse comportamento foi diferente do observado por Costa (2024) que observaram maiores volumes de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos na época de seca (31mL).

O aumento das taxas específicas de produção de gases pela degradação da fração A+B1 (Kd1) (Tabela 9) na época seca para os arranjos da *C. ternatea* podem estar associados ao aumento do volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos, porém o aumento da Kd1 para *D. pernambucanus* na época de seca nos diferentes arranjos, mesmo tendo redução do volume de gases produzido pela degradação dos carboidratos não fibrosos diz respeito à estrutura e composição das frações A e B1, que possivelmente é de mais fácil degradação, mesmo que em menor quantidade.

O menor período de latência da degradação da *C. ternatea* consorciada com *O. stricta* quando comparada a leguminosa consorciada com *O. cochenillifera* no período chuvoso (Tabela 10) pode estar relacionado a maior fração A+B1 (Tabela 8) presente na *C. ternatea* nesse consórcio. A leguminosa no consórcio *D. pernambucanus* + *O. stricta* também teve menor latência na época chuvosa quando comprado a *D. pernambucanus* em monocultivo e *D. pernambucanus* + *O. cochenillifera* possivelmente devido a menor hemicelulose (Tabela 8) nessa época. Além disso observou-se que a *C. ternatea* no arranjo *C. ternatea* + *O. cochenillifera* diminuiu a latência na época seca, provavelmente devido a redução da FDN (Tabela 7) e fração B2 (Tabela 8).

3.2.3. Valor nutritivo das leguminosas entre os anos de avaliações

A ausência de diferença nas concentrações de proteína bruta no primeiro ano para cada leguminosa em monocultivo em relação aos seus consórcios indica uma estabilidade inicial entre os sistemas avaliados (Tabela 11). No entanto, o aumento da proteína bruta na *C. ternatea* consorciada com *O. cochenillifera* no segundo ano, com aumento de 22,7 g.kg⁻¹ MS entre as médias em comparação ao seu monocultivo pode estar associado a uma maior fixação biológica de nitrogênio proporcionada pela interação entre a leguminosa e a palma forrageira. A presença

de *O. cochenillifera* pode ter promovido um microclima mais favorável, reduzindo estresses abióticos e melhorando a assimilação de nutrientes pela *C. ternatea*.

No segundo ano de cultivo, verificou-se redução nas concentrações de proteína bruta tanto na *C. ternatea* em monocultivo, quanto no consórcio *C. ternatea* + *O. stricta*, em relação ao primeiro ano (Tabela 11). Essa diminuição pode estar associada ao esgotamento de nutrientes do solo, especialmente o nitrogênio disponível. Além disso, o efeito do consórcio com *O. stricta* pode ter influenciado a disponibilidade de recursos, possivelmente intensificando a competição entre as espécies.

Por outro lado, a *D. pernambucanus* apresentou comportamento distinto, com aumento nas concentrações de proteína bruta tanto no monocultivo quanto no consórcio com *O. cochenillifera* no segundo ano em relação ao primeiro (Tabela 11). Esse resultado sugere uma adaptação superior dessa leguminosa ao ambiente ao longo do tempo, possivelmente devido a um estabelecimento mais eficiente dos nódulos fixadores de nitrogênio e à melhora na simbiose com bactérias fixadoras. Além disso, a interação com *O. cochenillifera* pode ter contribuído para um ambiente mais favorável ao desenvolvimento da leguminosa, reduzindo estresses ambientais e otimizando a absorção de nutrientes.

A estabilidade das CIDN nas leguminosas em monocultivo em relação aos seus consórcios no segundo ano (Tabela 11) indica que, com o tempo, fatores ambientais e interações entre as espécies podem ter homogeneizado a composição mineral da fração fibrosa das plantas. No entanto, no primeiro ano, a *C. ternatea* cultivada no arranjo consorciado com *O. stricta* apresentou uma concentração significativamente superior de CIDN em comparação ao seu monocultivo e ao consórcio com *O. cochenillifera*. Esse resultado pode indicar que a interação entre *C. ternatea* e *O. stricta* favoreceu a maior retenção de minerais na fração fibrosa nesse primeiro ano, possivelmente devido aos efeitos sinérgicos na ciclagem de nutrientes, que pode ter potencializado a absorção de minerais do solo. Por outro lado, a redução das concentrações de CIDN nesse mesmo arranjo no segundo ano sugere uma adaptação da *C. ternatea* ao ambiente consorciado, com possível redistribuição de nutrientes para outras frações da planta ou uma modificação na composição da fibra ao longo do tempo.

A ausência de diferenças nas concentrações de carboidratos totais, na fração C e na DIVMS entre cada leguminosa em monocultivo e seus consórcios nos dois anos de avaliações (Tabela 12) sugere que a composição química das leguminosas forrageiras avaliadas se manteve relativamente estável diante das condições experimentais. Esse resultado pode indicar que os fatores ambientais e a interação entre as espécies não exerceram influência significativa na síntese e no acúmulo de carboidratos estruturais e não estruturais. No entanto, a redução da

fração A+B1 na *C. ternatea* no arranjo *C. ternatea* + *O. cochenillifera* em comparação a *C. ternatea* em monocultivo no segundo ano sugere que, com o tempo, esse sistema consorciado pode ter afetado a alocação de reservas energéticas na planta, possivelmente em resposta a mudanças na competição por luz, água ou nutrientes.

Ao analisar o comportamento desses compostos nas leguminosas nos sistemas ao longo dos anos, notou-se diminuição da fração A+B1 e o aumento da fração C em todos os arranjos. Diante desses resultados, reforça a hipótese que, com o passar do tempo, houve um maior direcionamento dos carboidratos para frações de menor disponibilidade digestiva, possivelmente devido ao avanço da maturação das plantas ou às mudanças nas condições ambientais. Além disso, a redução da DIVMS em todos os tratamentos da *C. ternatea* no segundo ano em relação ao primeiro, indica alterações estruturais nos carboidratos, possivelmente maior acúmulo de compostos lignificados podem ter impactado a qualidade nutricional da forragem.

A falta de diferenças e na PGTO das leguminosas em monocultivo em relação aos seus consórcios nos dois anos (Tabela 13) sugere que a fermentação ruminal de *C. ternatea* e de *D. pernambucanus* não foi fortemente influenciada pelo tipo de cultivo, seja em monocultivo ou consórcio. No entanto, a redução na produção de gás observada no segundo ano em relação ao primeiro indica uma alteração na degradabilidade dos carboidratos presentes na forragem.

Essa diminuição pode estar diretamente relacionada à redução da fração A+B1 e ao aumento da fração C, distribuídas nos mesmos tratamentos. A fração A+B1 representa os principais responsáveis pela produção inicial de gás na fermentação ruminal. Com a diminuição dessa fração no segundo ano, houve menor disponibilidade de substrato rapidamente degradável para os microrganismos ruminais, o que pode ter impactado as qualidades da produção. Paralelamente, observou-se aumento da fração C, o que contribuiu para redução da produção de gás. Vale salientar que como a análise da produção de gás ocorre em nível ruminal, essa queda sugere que houve um impacto negativo na digestão microbiana da forragem, o que pode comprometer a eficiência de utilização dos nutrientes pelos animais.

3.2.4. Valor nutritivo das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

No primeiro ano, a maior concentração de matéria seca, matéria mineral e extrato etéreo na época seca (Tabela 14) pode estar relacionada ao maior acúmulo de solutos e substâncias de reserva em resposta ao estresse hídrico, fenômeno amplamente descrito em plantas forrageiras (Garay et al., 2017; Zuffo et al., 2022; Cunha et al., 2024). Essa estratégia fisiológica permite maior retenção de nutrientes e maior resistência às adversidades ambientais. A matéria seca

também foi maior na época seca do segundo ano, o que pode indicar o avanço precoce do estágio de maturidade das plantas. Costa (2024) também observou maior concentração de matéria seca na *D. pernambucanus* sob corte a cada 90 dias na época seca na Zona da Mata de Pernambuco.

No segundo ano, o aumento da concentração de matéria orgânica na época seca, em relação ao primeiro (Tabela 14) pode indicar maior acúmulo de compostos orgânicos estruturais, como fibras e carboidratos conforme também observado por Costa (2024), com maior acúmulo de matéria seca ($407,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MN}$), fibra em detergente neutro ($614,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) e carboidratos totais ($786,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) na *D. pernambucanus* na época de seca. A redução da matéria mineral e da proteína bruta nessa época sugere um menor aporte de nutrientes minerais e uma possível mobilização de proteínas para sustentar a sobrevivência da planta sob condições de estresse prolongado, bem como maior esgotamento de nutrientes no solo no segundo ano.

Ao comparar as concentrações das variáveis entre os anos, a maior concentração de matéria seca, matéria mineral e extrato etéreo na época chuvosa do segundo ano (Tabela 14) sugere um ambiente mais favorável ao crescimento vegetal. No entanto, a redução da matéria seca, matéria mineral e proteína bruta na época seca do mesmo ano, aliada ao aumento da matéria orgânica e do extrato etéreo, pode ser atribuída a uma alteração na alocação de recursos metabólicos da planta. O aumento do extrato etéreo, por exemplo, pode estar relacionado à maior deposição de compostos lipídicos como mecanismo de proteção celular contra a desidratação (Sah, Sofo, 2024). Segundo Naguib, Regmi (2023), os lipídios atuam como moléculas sinalizadoras que desencadeiam respostas hormonais, particularmente a sinalização do ácido abscísico (ABA), que é vital para a adaptação ao estresse. O acúmulo de lipídios específicos, como esteróis e fosfolipídios, contribui para a formação de microdomínios lipídicos que estabilizam as membranas celulares durante o estresse osmótico (Ozolina et al., 2021).

No primeiro ano de avaliação, as concentrações de CIDN, fibra em detergente ácido e lignina foram mais elevados na época chuvosa (Tabela 15). Esse comportamento pode estar associado ao maior acúmulo de minerais e compostos estruturais durante o crescimento das leguminosas nessa época. No segundo ano, durante a época chuvosa, observou-se aumento nas concentrações de fibra em detergente neutro, FDNcp, CIDN e PIDN (Tabela 15). Esse aumento pode estar relacionado ao maior crescimento das plantas, resultando em maior deposição de material fibroso, minerais e proteínas ligados a fibra.

Ao comparar as concentrações das variáveis entre as épocas e anos, verificou-se que as concentrações de fibra em detergente neutro, FDNcp, fibra em detergente ácido e hemicelulose

foram mais elevados em ambas as épocas, chuvosa e seca, no segundo ano em relação ao primeiro, demonstrando uma tendência de acúmulo de componentes estruturais ao longo do tempo (Tabela 15).

No primeiro ano, a maior concentração de carboidratos totais foi observada na época chuvosa, enquanto a fração B2 se destacou na época seca (Tabela 16). Esses resultados podem estar associados a um crescimento mais intenso das leguminosas na estação chuvosa, favorecendo a deposição de carboidratos solúveis, enquanto na época seca, a fração B2, composta por carboidratos de digestão intermediária, pode ter sido preservada devido à menor atividade metabólica.

No segundo ano, ocorreu uma inversão desse padrão, com maior concentração de carboidratos totais e da fração A+B1 na época seca e maior fração B2 na época chuvosa (Tabela 16). Esse comportamento pode estar relacionado a mudanças na composição estrutural das plantas ao longo do tempo, refletidas no aumento das concentrações de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, hemicelulose, celulose e lignina (Tabela 15). Na época seca do segundo ano, a elevação de carboidratos totais e da fração A+B1 sugere um maior acúmulo de açúcares solúveis, possivelmente como resposta ao estresse hídrico. Paralelamente, na época chuvosa, o aumento da fração B2 pode indicar um acúmulo de polissacarídeos de digestão mais lenta, favorecido por um crescimento vegetativo mais expressivo (Tabela 16).

Ao analisar as épocas dentro de cada ano, notou-se redução dos carboidratos totais na época chuvosa do segundo ano e um aumento na época seca (Tabela 16). Essa dinâmica pode estar associada ao aumento da lignificação das leguminosas, evidenciado pelas maiores concentrações de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido e lignina ao longo do tempo (Tabela 15). A redução das frações A+B1 no segundo ano independente da época sugere uma menor disponibilidade de carboidratos de rápida degradação ao longo dos anos, impactando a qualidade nutricional das leguminosas. Esses resultados demonstram que o metabolismo de carboidratos nas leguminosas está diretamente influenciado pela interação entre as épocas e os anos de avaliações, além de estar relacionado ao acúmulo de componentes estruturais.

No primeiro ano, a ausência de diferenças para as variações de fermentação ruminal das leguminosas entre as épocas chuvosas e secas (Tabela 17) sugere uma composição relativamente estável dos substratos fermentáveis. No segundo ano, a maior produção de gás total na época seca em comparação a chuvosa pode estar associada ao aumento da fração A+B1 e dos carboidratos totais nessa época (Tabela 16). Isso sugere que, diferentemente do primeiro ano, houve um maior consumo de carboidratos rapidamente fermentáveis na época seca,

favorecendo a atividade microbiana e intensificando a produção de gases. A maior taxa de manipulação da fração A+B1 e o maior volume de gases produzidos pela manipulação da fração B2 reforçam esse achado, evidenciando uma maior disponibilidade de substratos fermentáveis no segundo ano. Santos (2024) também encontraram maior produção de gás total na época seca (105,0 mL.g⁻¹ MS) comparada a chuvosa (66 mL.g⁻¹ MS) na *D. pernambucanus* com frequência de corte de 90 dias.

A composição química das leguminosas corrobora esses padrões fermentativos. No primeiro ano, a época chuvosa apresentou maiores concentrações de fibra em detergente ácido e lignina (Tabela 15), o que pode ter contribuído para a menor manipulação da fração fibrosa e menor produção de gases nessa época.

Esses resultados indicam que a composição química das leguminosas sofreu alterações ao longo do tempo, com aumento na fração fibrosa e redução da fração solúvel, especialmente no segundo ano. Essas mudanças estão relacionadas a fatores como variações climáticas, idade das plantas ou diferenças na composição do solo. Assim, o monitoramento contínuo da qualidade da forragem é essencial para entender as dinâmicas de seleção ruminal e melhoria do manejo alimentar em sistemas de produção sustentáveis.

4. CONCLUSÃO

O consórcio com *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus* não compromete o valor nutricional da *Opuntia cochenillifera* nos dois primeiros anos, confirmando a viabilidade da associação para manutenção da qualidade da forragem em sistemas de sequeiro.

O consórcio de *Clitoria ternatea* e *Desmanthus pernambucanus* provoca mudanças no valor nutricional da *Opuntia stricta*, com aumento na digestibilidade *in vitro* da matéria seca no segundo ano, em relação ao monocultivo, indicando maior complementaridade fisiológica e potencial zootécnico para uso em dietas de ruminantes no Semiárido.

As leguminosas apresentam variações na composição química ao longo das épocas chuvosas e secas, e entre os anos, com destaque para o aumento de proteína bruta da *C. ternatea* em consórcio com *Opuntia cochenillifera*, o que pode beneficiar o fornecimento de nitrogênio para os microrganismos ruminais.

Os resultados reforçam a viabilidade do uso de sistemas consorciados entre palmas forrageiras e leguminosas como estratégia para manter ou até melhorar o valor nutritivo das forragens em condições de sequeiro. A estabilidade nos parâmetros nutricionais da *Opuntia cochenillifera* e os ganhos em digestibilidade da *Opuntia stricta* demonstram que essas associações não comprometem a qualidade da dieta e podem contribuir para a sustentabilidade

alimentar de rebanhos. Assim, a adoção desses consórcios representa uma alternativa promissora para pequenos produtores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meconcentraçãoologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

APOLINÁRIO, V.X.O. et al. Leguminosas exóticas. In: Santos, M.V.F.; NEIVA, J.N.M. **Culturas forrageiras no Brasil: Uso e perspectivas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. 263-284.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official Methods of Analysis**. 21a Ed. USA: AOAC International, 2019. 3290p.

AUBRY, E. et al. Changes in SWEET-mediated sugar partitioning affect photosynthesis performance and plant response to drought. **Physiologia Plantarum**, v. 176, n. 6, p. e14623, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1111/ppl.14623>

BARBOSA, V.V. et al. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.353-367, 2016.

BARIAGABRE, S.A. et al. Cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L): a future asset for sustainability of drylands in northern Ethiopia. **International Journal of Science, Environment and Technology**, v. 5, n. 3, p. 846 – 860, 2016.

BARROS, D. et al. Cashew Gum (*Anacardium occidentale*) Hydrogel for Sustainable Irrigation of Cactus Pear: Effects on growth, chemical composition, and mineral content. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 501, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/su17020501>

BARROS, D. et al. Cashew Gum (*Anacardium occidentale*) hydrogel for sustainable irrigation of cactus pear: Effects on growth, chemical composition, and mineral content. **Sustainability**, v. 17, n. 2, p. 501, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/su17020501>

BATISTA, A.M.V. et al. Melhoramento da palma forrageira. In: SANTOS, M.V.F.; CARVALHO, F.F.R.; FERREIRA, M.A. (eds.). **Palma forrageira: potencial e perspectivas**. Suprema Gráfica: Recife-PE. 2a Edição. 2022.

BHATIA, T. et al. A review on cellulose degrading microbes and its applications. **Industrial Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 26-39, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1089/ind.2023.0025>

CAMELO, D. **Serviços ecossistêmicos promovidos por diferentes sistemas de cultivo de *Clitoria ternatea* L. e *Cenchrus purpureus* (Schumach.) morrone**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 127f. 2024.

CASTRO-MONTOYA, J.M.; DICKHOEFER, U. The nutritional value of tropical legume forages fed to ruminants as affected by their growth habit and fed form: A systematic

review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 269, p. 114641, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114641>

CAVALCANTI, F.J.A. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª edição revisada** (p. 212). Instituto Agrônômico de Pernambuco-IPA, 2008.

CHADA, S. et al. An overview of plant morpho-physiology, biochemicals, and metabolic pathways under water stress. **Horticult Int J**, v. 7, n. 4, p. 115-25, 2023. Doi: <https://doi.org/10.15406/hij.2023.07.00285>

COOK, B.G. et al. **Tropical Forages: An interactive selection tool**. 2nd and Revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya, 2020. Disponível em: <http://tropicalforages.info/text/entities/desmanthus pernambucanus.htm>. Acesso em: fev. 2025.

COSTA, M.N.F. **Desmanthus pernambucanus (L.) Thellung sob diferentes densidades de plantio e frequências de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 100f. 2024.

CUNHA, T.L.O. et al. Effect of water deficit on secondary metabolites and nutrient content on forage Sorghum. **Agronomy**, v. 14, n. 9, p. 2046, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14092046>

DEL PAPA, M.F et al. Maximizing nitrogen fixation in legumes as a tool for sustainable agriculture intensification, volume II. **Frontiers in Agronomy**, v. 6, p. 1387188, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1387188>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v.275, p. 114890, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114890>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Leguminosas nativas. In: Santos, M.V.F.; NEIVA, J.N.M. **Culturas forrageiras no Brasil: Uso e perspectivas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema Gráfica, 2022. 231-262.

GARAY, J.R. et al. Dry matter accumulation and crude protein concentration in *Brachiaria* spp. cultivars in the humid tropics of Ecuador. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 5, n. 2, p. 66-76, 2017. Doi: [https://doi.org/10.17138/tgft\(5\)66-76](https://doi.org/10.17138/tgft(5)66-76)

GHARECHAH, J. et al. Lignocellulose degradation by rumen bacterial communities: New insights from metagenome analyses. **Environmental Research**, v. 229, p. 115925, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115925>

GODOI, P.F.A. et al. Chemical properties, ruminal fermentation, gas production and digestibility of silages composed of spineless cactus and tropical forage plants for sheep feeding. **Animals**, v. 14, n. 4, p. 552, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani14040552>

GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. **Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. US Agricultural Research Service, 1970.

GRÜNWALDT, J. M. et al. *Opuntia ellisiana* Griffiths as livestock feed in areas similar to USDA cold hardiness zones 6-7. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 52, n. 1, pp. 372-390, 2020.

HAGHPANAH, M. et al. Drought tolerance in plants: physiological and molecular responses. **Plants**, v. 13, n. 21, p. 2962, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13212962>

HERNÁNDEZ-URBIOLA, M.I.; PÉREZ-TORRERO, E.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, n. 5, p. 1287-1295, 2011. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph8051287>

KAUR, H. et al. Imperative role of sugar signaling and transport during drought stress responses in plants. **Physiologia Plantarum**, v. 171, n. 4, p. 833-848, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/ppl.13364>

KHOLOUSI ADAB, F.; MEHDI YAGHOobi, M; GHARECHAH, J. Enhanced crystalline cellulose degradation by a novel metagenome-derived cellulase enzyme. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8560, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59256-4>

KLUGA, A. et al. Alpha-, gamma-and beta-proteobacteria detected in legume nodules in Latvia, using full-length 16S rRNA gene sequencing. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, v. 73, n. 1, p. 127-141, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1080/09064710.2023.2232681>

LOPES, E.B. et al. Rendimento e aspectos fenológicos de espécies de palma forrageira em relação ao cultivo com dois tipos de cladódios. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, p.59-61, 2013.

MAGALHÃES, A.L.R. et al. Chemical composition, fractionation of carbohydrates and nitrogen compounds, ruminal degradation kinetics, and in vitro gas production of cactus pear genotypes. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69338>

McDOUGALL, E.I. The composition and output of sheep's saliva. **Biochemical Journal**, v.43, p.99-109, 1948.

MEDEIROS, A.S. et al. Biomass production and chemical bromatological composition of jureminha submitted to increasing saline levels. **Archivos de Zootecnia**, v.69, p.54-64, 2020.

MEDEIROS, A.S. **Morfologia, produtividade e valor nutritivo de jureminha em resposta à densidade de plantio e altura de colheita**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 88f. 2021.

MEDEIROS, A.S. **Produção de biomassa e composição químico-bromatológica de *Desmanthus pernambucanus* (L.) Thellung submetida a crescentes níveis salinos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada. 64f. 2017.

MÉNDEZ, L.P. et al. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food Chemistry**, v. 188, p. 393-398, 2015. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.011>

MIRANDA, K.R. et al. Forage production and mineral composition of cactus intercropped with legumes and fertilized with different sources of manure. **Ciência Rural**, v. 49, n. 1, e20180324, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180324>

NAGUIB, D.M.; REGMI, K. Lipids: A key regulatory hub in plant stress adaptation. **Journal of Nepal Biotechnology Association**, v. 4, n. 1, p. 64-71, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3126/jnba.v4i1.53448>

NAOREM, A. et al. Does maturity change the chemical-bromatological makeup of cladodes in spineless forage cactus?. **Sustainability**, v. 14, n. 18, p. 11411, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/su141811411>

NASCIMENTO, D.B. et al. Productive, morphological and nutritional indicators of cactus pear in a Semiarid region. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2366, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102366>

OZOLINA, N.V. et al. Role of plasmalemma microdomains (rafts) in protection of the plant cell under osmotic stress. **The Journal of Membrane Biology**, v. 254, p. 429-439, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00232-021-00194-x>

PEIXOTO, M.J.A. et al. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de zootecnia**, v. 67, n. 257, pp. 35-39, 2018. Doi: <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

PESSOA, D.V. et al. Forage nutritional differences within the genus *Opuntia*. **Journal of Arid Environments**, v. 181, p. 104243, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104243>

PESSOA, D.V. et al. Nutritional value and kinetics of in vitro fermentation of spineless cactus of the genus *Nopalea* in different phenological phases. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 3, p. e20221001, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420221001>

RAZA, M.A. et al. Land productivity and water use efficiency of maize–soybean strip intercropping systems in semi-arid areas: A case study in Punjab Province, Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, pp. 127282, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127282>

ROCHA FILHO, R.R. et al. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas? **Journal of arid environments**, v. 186, p. 104426, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104426>

ROLIM, G.D.S.; SENTELHAS, P. S.; BARBIERI, V. Planilhas do ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agromeconcentraçãoologia**, v.6, p.133-137, 1998.

SAH, S.K; SOFO, A. The role of lipids in abiotic stress responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1378485, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1378485>

SAKAR, E. et al. Sensory, morphological, biochemical, and antioxidant characteristics of the fruits of different Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.) genotypes. **Genetic Resources and Crop Evolution**, p. 1-11, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01673-x>

SANTOS NETO, C.F. et al. Morphological characteristics and yield of *Opuntia stricta* and *Nopalea cochenillifera* in integrated crop systems with caatinga trees. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 1, p. 59-68, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00787-y>

SANTOS, M.V.F. et al. Effect of post-harvest storage on chemical composition and deterioration of cactus cladodes [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill and *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck]. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 19, n. 1, p. e3569-e3569, 2024. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v19i1a3569>

SARAIVA, F.M. et al. Manure Source and Cropping System Affect Nutrient Uptake by Cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck). **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1512, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy1108151>

SARAIVA, F.M. et al. Performance of Forage Cactus Intercropped with Arboreal Legumes and Fertilized with Different Manure Sources. **Agronomy**, v. 12, n. 8, pp. 1887, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy12081887>

SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 11, p. 2980-2991, 1994. Doi: <https://doi.org/10.2527/1994.72112980x>

SELMAR, D.; KLEINWÄCHTER, M. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. **Plant and Cell Physiology**, v. 54, n. 6, p. 817-826, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1093/pcp/pct054>

SILVA, H.A.P. et al. Unraveling the drought-responsive transcriptomes in nodules of two common bean genotypes during biological nitrogen fixation. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, p. 1345379, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1345379>

SILVA, N.G.M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n.11, p.2389-2397, 2010. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010001100011>

SINGH, S. et al. *In vitro* ruminal fermentation, protein and carbohydrate fractionation, methane production and prediction of twelve commonly used Indian green forages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 178, p. 2-11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.08.019>

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 888p.

TASCA, H.C. et al. Impact of Nodulation Efficiency and Concentrations of Soluble Sugars and Ureides on Soybean Water Deficit During Vegetative Growth. **Nitrogen**, v. 5, n. 4, p. 992-1000, 2024.

TEDESCHI, L.O.; ADAMS, J.M.; VIEIRA, R.A.M. Forages and Pastures Symposium: revisiting mechanisms, methods, and models for altering forage cell wall utilization for ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 101, p.1-21, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skad009>

THEODOROU, M.K. et al. simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994. Doi: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. The Water Balance. New Jersey: Drexel Institute Of 508 Technology. **Publications in Climatology**, p.104, 1955.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. **Journal of the British Grassland Society**, v.18, p.104–111, 1963. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991. Doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

WANG, X. et al. ABRE-BINDING FACTORS play a role in the feedback regulation of ABA signaling by mediating rapid ABA induction of ABA co-receptor genes. **New Phytologist**, v. 221, n. 1, p. 341-355, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.15345>

WU, J. et al. Reduced cellulose accessibility slows down enzyme-mediated hydrolysis of cellulose. **Bioresource Technology**, v. 371, p. 128647, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.128647>

YU, J. et al. Sugar Metabolism and Transport in Response to Drought–Rehydration in *Poa pratensis*. **Agronomy**, v. 15, n. 2, p. 320, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy15020320>

ZUFFO, A.M. et al. Selected indices to identify water-stress-tolerant tropical forage grasses. **Plants**, v. 11, n. 18, p. 2444, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants11182444>

CAPÍTULO IV

COMPOSIÇÃO MINERAL DE ESPÉCIES DE PALMA FORRAGEIRA E LEGUMINOSAS (*Clitoria ternatea* E *Desmanthus pernambucanus*) EM MONOCULTIVO E EM CONSÓRCIO

Resumo: A composição mineral da forragem é importante no atendimento das necessidades dos animais e pode ser afetada pelas condições de cultivo das plantas. Dessa maneira, objetivou-se avaliar a composição mineral de variedades de palma forrageira e de leguminosas sob monocultivo e em consórcio no Agreste de Pernambuco. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da UFRPE, Garanhuns-PE, Brasil. Os tratamentos foram constituídos pelos sistemas de cultivo: Cunhã, Cunhã + Miúda; Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana; Jureminha; Jureminha + Miúda; Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana. Os tratamentos foram dispostos em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A palma foi colhida anualmente, enquanto as leguminosas foram colhidas em frequência de noventa dias a 20 cm do solo. Para análise mineral utilizou-se amostras de palma com artigos de diferentes ordens, a partir do material colhido ao final de cada ciclo anual de crescimento e para as leguminosas, os ramos e as folhas em duas épocas distintas de cada ano, chuva e seca. Não foram observadas diferenças na composição mineral entre as duas espécies de palma em monocultivo e seus respectivos consórcios. Contudo, entre os anos de avaliações, verificou-se aumento nos níveis médios de boro ($41,0 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$), além de reduções nas concentrações médias de ferro, manganês e sódio ($60,0$; $90,0$ e $38,0 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente), independentemente do sistema de cultivo. Em relação às leguminosas, na época chuvosa, a Cunhã em monocultivo apresentou concentrações médias de fósforo de $2,1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, concentração superior aos consórcios com as palmas ($1,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). Nessa mesma época, o zinco foi mais alto na Jureminha no consórcio com Orelha de Elefante Mexicana ($29,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$), em comparação a planta em monocultivo ($18,8 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$). Na época seca, a leguminosa no consórcio Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana teve concentrações médias de enxofre ($1,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) superiores ao monocultivo ($1,2 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). Entre os anos, o consórcio com palma forrageira promoveu pequenas alterações na composição mineral das leguminosas, com concentração média de enxofre no primeiro ano maior na Jureminha consorciada com Orelha de Elefante Mexicana ($2,3 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$), em comparação a planta em monocultivo ($1,6 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). No segundo ano, o fósforo também apresentou concentração superior na Cunhã em monocultivo, com média de $2,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, enquanto os consórcios com ambas as palmas alcançaram concentrações de $2,1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$. Em relação ao boro, a Cunhã cultivada em monocultivo no segundo ano apresentou o maior concentração ($38,4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de MS}$), enquanto no consórcio com palma Miúda esse valor foi menor, com cerca de $26,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ de MS}$. Conclui-se que o consórcio de leguminosas Cunhã e Jureminha não altera a composição mineral da palma forrageira, mas provoca pequenas alterações na composição mineral nas leguminosas entre as épocas e anos de avaliações.

Palavras-chave: Arranjos de plantios, cactos, Fabáceas, macrominerais e microminerais.

Abstract: The mineral composition of forage is crucial for meeting animal nutritional requirements and can be influenced by the cultivation conditions of the plants. Therefore, the objective was to evaluate the mineral composition of forage cactus varieties and legumes grown in monoculture and intercropping systems in the Agreste region of Pernambuco. The experiment was conducted at the UFRPE Experimental Farm in Garanhuns, Pernambuco, Brazil. The treatments consisted of the following cropping systems: *Cunhã*; *Cunhã* + *Miúda*; *Cunhã* + *Orelha de Elefante Mexicana*; *Jureminha*; *Jureminha* + *Miúda*; *Jureminha* + *Orelha de Elefante Mexicana*; *Miúda*; and *Orelha de Elefante Mexicana*. The treatments were arranged in a randomized block design with four replicates. The forage cactus was harvested annually, while the legumes were harvested every ninety days at 20 cm above the soil surface. For mineral analysis, samples of cactus cladodes of different orders were collected at the end of each annual growth cycle. For the legumes, branches and leaves were collected during two distinct periods each year — the rainy and dry seasons. No significant differences were observed in the mineral composition between the two forage cactus species grown in monoculture or intercropping systems. However, across the evaluation years, an increase in average boron levels ($41.0 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$) was observed, along with reductions in the average concentrations of iron, manganese, and sodium (60.0 , 90.0 , and $38.0 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$, respectively), regardless of the cropping system. Regarding the legumes, during the rainy season, monocropped *Cunhã* exhibited an average phosphorus content of $2.1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$, which was higher than the values observed in intercropping systems with cactus ($1.7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$). In the same season, zinc content was higher in *Jureminha* intercropped with *Orelha de Elefante Mexicana* ($29.5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$) compared to its monoculture ($18.8 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$). During the dry season, *Jureminha* intercropped with *Orelha de Elefante Mexicana* showed higher sulfur content ($1.8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$) than when grown in monoculture ($1.2 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$). Across the years, intercropping with forage cactus induced minor changes in the mineral composition of the legumes. In the first year, sulfur content was higher in *Jureminha* intercropped with *Orelha de Elefante Mexicana* ($2.3 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$) compared to the monoculture ($1.6 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$). In the second year, phosphorus concentration was also higher in monocropped *Cunhã*, averaging $2.7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$, while intercropped systems with both cactus species showed lower values ($2.1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ DM}$). Regarding boron, monocropped *Cunhã* in the second year presented the highest concentration ($38.4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$), while intercropping with *Miúda* resulted in a lower value (approximately $26.5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ DM}$). It is concluded that intercropping *Cunhã* and *Jureminha* with forage cactus does not alter the mineral composition of the cactus, but causes minor changes in the mineral composition of the legumes across different seasons and years.

Keywords: Cactus, Fabaceae, macrominerals, microminerals and planting arrangements.

1. INTRODUÇÃO

Em 2022, a população mundial atingiu 7,9 bilhões, e há projeção de crescimento de 9,4 a 10 bilhões até 2050 (O'Sullivan, 2023; Wanaassi, Torres, 2023). Com isso, intensificar-se-á a demanda por alimentos, especialmente de carne e leite, o que tornará indispensável a maximização da produtividade por unidade de área de forma sustentável. Nesse contexto, o consórcio de culturas, incluindo palma forrageira e leguminosas, pode ser uma estratégia mais sustentável de produção de alimentos (Camelo et al., 2021; Camelo et al., 2022), uma vez que otimizam o uso da terra (Arif et al., 2024; Lalrinsangi et al., 2024; Moreira et al., 2024) e oferecem benefícios, como maior suprimento de forragem (Mosqueda et al., 2023; Toker et al., 2024; Ugwu et al., 2024) e dietas mais equilibradas em termos de energia e proteína.

A palma é uma cultura rica em energia, mas apresenta baixas concentrações de fibra e proteínas (Pessoa et al., 2024). No entanto, as leguminosas apresentam altas concentrações de proteínas (Grdeń, Jakubczyk, 2023) e adequados teores de fibra para o bom funcionamento da microbiota ruminal, como demonstra Sales-Silva et al. (2023b) que encontraram fibra em detergente neutro entre 446,0 a 745,0 g.kg⁻¹ MS entre as folhas e caules da Cunhã, Jureminha e estilosantes cv. campo grande manejadas com frequência de corte de 60 a 90 dias na Zona da Mata de Pernambuco.

Além das concentrações de energia e proteína, o consórcio de palma-leguminosa pode equilibrar também as concentrações de minerais nas dietas dos ruminantes, tendo em vista que a palma, quando comparada a outras plantas forrageiras, apresenta elevadas concentrações de cálcio (Ca), potássio (K) e magnésio (Mg) na matéria seca. Entretanto, possui baixas concentrações de fósforo (P) e de sódio (Na) (Batista et al., 2022). Em contrapartida Pastor et al. (2024) destacam que as leguminosas apresentam altos níveis de P. Além disso, o fornecimento de leguminosas na dieta de ruminantes pode reduzir a emissão de metano entérico devido à sua maior concentração de taninos condensados e saponinas, compostos que inibem a atividade de microrganismos metanogênicos no rúmen (Suybeng et al., 2020) e devido seu alto concentração de proteína melhora a eficiência da fermentação ruminal, reduzindo a produção de hidrogênio disponível para a metanogênese (Suybeng et al., 2021).

Além do valor nutricional, os sistemas de consórcio de palma forrageira e leguminosas podem contribuir significativamente para a sustentabilidade dos sistemas de produção animal em regiões com escassez hídrica, em vista dos múltiplos serviços ecossistêmicos que as leguminosas podem promover, seja pela melhoria da fertilidade do solo, quando bem manejado, seja pelo aumento do aporte de nitrogênio (N) ao sistema, via fixação biológica de N

(Figueiredo et al., 2023; Carvalho et al., 2024), pela decomposição de serapilheira, raízes e nódulos dessas leguminosas (Rawal et al., 2023; Pessoa et al., 2024).

Por outro lado, a efetividade do uso de sistemas consorciados depende da interação e da complementaridade entre as culturas utilizadas. Reduzido espaçamento entre as plantas em sistemas integrados provoca maior competição por nutrientes e luz, o que torna ambientes críticos para o desenvolvimento adequado das plantas cultivadas, podendo acarretar heterogeneidade das características estruturais, da produção de biomassa e do valor nutricional das culturas, a exemplo da composição mineral (Figueiredo et al., 2023). Nesse sentido, Grünwaldt et al. (2018) observaram que Algaroba em consórcio com a *Opuntia ellisiana* diminui as concentrações de Ca e Na, após um ano de plantio da palma sob condição de sequeiro em ambiente Semiárido.

A compreensão da sinergia entre os componentes do consórcio sobre a composição mineral da forragem pode fornecer dados que permitam subsidiar novas tomadas de decisões no manejo agrônomo e nutricional para sistemas de produção animal. As hipóteses do presente trabalho são: (i) o consórcio de palma forrageira com leguminosas arbustivas e herbáceas, não impactam negativamente a composição mineral da palma forrageira. (ii) o consórcio de palma com leguminosas arbustivas e herbáceas não impactam negativamente a composição mineral das leguminosas. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a composição de minerais das plantas nos diferentes sistemas com palma Miúda e Orelha de Elefante Mexicana em monocultivo e em consórcio com as leguminosas Cunhã e Jureminha em condições de sequeiro, no Agreste Meridional de Pernambuco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O local do experimento, os tratamentos e o delineamento experimental foram os mesmos apresentados anteriormente no capítulo II.

2.1 Sistema de plantio

Os sistemas de plantios estão mencionados no capítulo II. No entanto, a cada ano foi realizada a análise do solo. Em que em cada parcela foram coletadas amostras de solos entre a fileira dupla central da palma e entre as duas fileiras triplas das leguminosas, com posterior análise em separado, conforme mencionado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise do solo nos anos de 2022 e 2023 na área experimental na camada (0-40 cm), Garanhuns-PE.

Solo coletado na palma forrageira	1º ano				2º ano			
	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	mg.dm ⁻³	-----	cmol _c .dm ⁻¹	-----	mg.dm ⁻³	-----	cmol _c .dm ⁻¹	-----
Miúda	2,22	0,11	0,79	0,83	3,16	0,09	0,67	0,80
Cunhã + Miúda	2,11	0,11	0,82	0,78	3,41	0,08	0,85	0,52
Jureminha + Miúda	2,33	0,10	1,26	1,0	5,28	0,11	0,99	0,65
Orelha de Elefante Mexicana	2,55	0,15	0,95	1,0	2,93	0,10	0,87	0,52
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	3,11	0,17	1,08	0,91	4,99	0,10	0,55	0,35
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	2,44	0,16	0,98	0,98	3,45	0,10	0,62	0,63
Solo coletado na leguminosa								
Cunhã	3,0	0,22	1,32	1,10	1,29	0,18	0,79	0,86
Cunhã + Miúda	2,22	0,16	0,91	0,88	2,59	0,13	1,07	0,77
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	2,55	0,17	0,99	0,98	1,28	0,13	0,39	0,48
Jureminha	2,44	0,13	0,68	0,83	2,05	0,13	0,58	0,61
Jureminha + Miúda	4,33	0,30	1,47	0,97	2,70	0,16	1,07	1,08
Jureminha Orelha de Elefante Mexicana	2,55	0,22	1,45	1,17	3,45	0,13	0,72	0,54

2.2 Preparo das amostras

A cada ano, coletaram-se quatro plantas centrais da palma forrageira no monocultivo, bem como 4 plantas centrais das fileiras duplas no consórcio de palma e leguminosa. Para as leguminosas, coletaram-se quatro plantas centrais, a cada três meses, no monocultivo, e, no consórcio, foram selecionadas duas plantas centrais de cada fileira central de leguminosas. Para a realização da composição mineral das leguminosas considerou-se uma das épocas chuvosa e seca de cada ano.

Após o corte, todos os cladódios de todas as ordens foram seccionados em tamanho menor, com o intuito de aumentar a superfície de contato e acelerar o processo de secagem. Para as leguminosas, após o corte, separou-se a fração foliar do caule e em seguida realizou-se a pré-secagem das amostras em estufa de ventilação forçada de ar à temperatura de 55°C até atingir peso constante. Em seguida, esses materiais foram moídos em moinho de facas, com peneira de 1 mm.

2.3 Composição mineral

Todas as análises de minerais foram realizadas no Laboratório Agroambiental - Embrapa Semiárido, no município de Petrolina, com exceção do nitrogênio (N) que foi feito no laboratório de nutrição animal da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, no município de Garanhuns, pelo método do Detman et al. (2023).

As concentrações de potássio (K) e sódio (Na) foram determinadas por fotometria de chama, com leitura de comprimento de onda em 766,7 nm, para o K, e por curva de calibração, para o Na (Malavolta, 1989). A concentração de boro (B) foi determinado por colorimetria de azometina H, com formação de um complexo colorido, por intermédio da reação entre ácido bórico e o reagente azometina H, com absorção de luz em 420 nm (Malavolta, 1989; Silva, 2009).

As concentrações de fósforo (P) e enxofre (S) foram estimadas, respectivamente, por colorimetria de metavanadato, com formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico, e por turbidimetria de sulfato de bário, com a formação de precipitado de sulfato de bário, em razão do cloreto de bário, com absorção de luz de 420 nm, para ambos os precipitados. Além disso, as concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, com lâmpada de cátodo oco do elemento, diretamente do extrato nítrico-perclórico.

As leituras correspondentes às concentrações desses elementos foram realizadas por meio de curva de calibração (Malavolta, 1989; Silva, 2009).

2.4 Análise estatística

Os resíduos dos dados de minerais da palma forrageira e das leguminosas foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e homocedasticidade (Bartlett). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), através do PROC MIXED do SAS On Demand. Para as palmas forrageiras foram considerados efeitos fixos os sistemas de cultivo, anos de avaliações e suas interações. Para as leguminosas foram considerados efeitos fixos os sistemas de cultivo, épocas do ano, anos de avaliações e suas interações. Os blocos foram considerados como efeitos aleatórios. Quando o teste F foi significativo, as médias foram estimadas por meio do LSMEANS e comparadas pela probabilidade de diferença (“PDIFF”), ajustada para o Teste de Tukey. O nível de significância adotado foi de 5% de probabilidade.

O modelo estatístico utilizado para as palmas foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + B_j + (\alpha B)_{ij} + C_k + e_{ijk}$$

Em que: Y_{ijk} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; B_j é o efeito fixo de ano de avaliação; $(\alpha B)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; C_k é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijk} é o erro residual.

O modelo estatístico utilizado para as leguminosas foi:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + I_k (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha I)_{ik} + (\beta I)_{jk} + y_l + e_{ijkl}$$

Em que: Y_{ijkl} é a variável dependente; μ é a média geral; α_i é o efeito fixo dos tratamentos; β_j é o efeito fixo das épocas do ano; $(\alpha\beta)_{ij}$ é o efeito da interação entre tratamentos e épocas do ano; $(\alpha I)_{ik}$ é o efeito da interação entre tratamentos e ano de avaliação; $(\beta I)_{jk}$ é o efeito entre épocas do ano e ano de avaliação; y_l é o efeito aleatório do bloco; e e_{ijkl} é o erro residual.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados

3.1.1 Concentrações de minerais na palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas

Não houve diferenças para as concentrações de potássio, cálcio e cobre na palma Miúda e Orelha de Elefante Mexicana em monocultivo em comparação aos seus consórcios no primeiro e segundo ano de cultivo (Tabela 2). A forragem oriunda de Miúda, no primeiro ano de avaliação, apresentou maiores concentrações de potássio que a palma Orelha de Elefante

Mexicana consorciada com Jureminha. No entanto, no segundo ano de avaliação, não houve diferenças entre a forragem dos diferentes sistemas de cultivo (Tabela 2).

Ao comparar os valores médios de potássio das plantas nos diferentes sistemas entre os anos, observou-se que a palma Miúda consorciada com Cunhã apresentou diferença de 10,5 g.kg⁻¹ MS entre as médias anuais nesse tratamento. Já a Orelha de Elefante Mexicana no consórcio com Jureminha apresentou aumento de 10,7 g.kg⁻¹ MS no segundo ano em relação ao primeiro (Tabela 2). Em relação aos teores de cálcio, as concentrações médias na palma Miúda, considerando a média dos sistemas de cultivo (monocultivo e consórcios), foram de 25,4 g.kg⁻¹ MS no primeiro ano e 18,9 g.kg⁻¹ MS no segundo e de 20,4 e 20,7 g.kg⁻¹ MS, para os tratamentos com Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente (Tabela 2). Ao comparar os valores médios de cálcio entre os anos, observou-se efeito apenas nas leguminosas nos consórcios Cunhã + Miúda e Jureminha + Miúda, que apresentaram diferenças de 9 e 6,3 g.kg⁻¹ MS entre as médias anuais, respectivamente

Em relação aos teores de cobre, observou-se que a palma Miúda, considerando a média dos tratamentos (monocultivo e consórcios), observaram-se concentrações médias de 11,9 g.kg⁻¹ MS no primeiro ano e 6,4 g.kg⁻¹ MS no segundo e de 6,3 e 7,9 g.kg⁻¹ MS, para os tratamentos com Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente (Tabela 2). Na comparação dos teores de cobre das plantas dentro de cada sistemas entre os anos, observa-se que a palma Miúda reduziu as concentrações em todos os sistemas no segundo ano de avaliação, enquanto a Orelha de Elefante Mexicana apresentou comportamento oposto, com aumento nas médias em todos os sistemas.

Tabela 2. Interação entre sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de potássio, cálcio e cobre da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Potássio (g.kg ⁻¹)		
Miúda	24,3 Aab	25,0 Aa	0,8732
Cunhã + Miúda	31,0 Aa	20,5 Ba	0,0246
Jureminha + Miúda	24,8 Aab	16,3 Aa	0,0597
Orelha de Elefante Mexicana	12,2 Abc	18,2 Aa	0,1679
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	11,7 Abc	17,5 Aa	0,1791
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	8,8 Bc	19,5 Aa	0,0228
P	<,0006	0,3978	
EPM	4,10		
Sistemas de cultivo	Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)		P
	2022	2023	
	Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)		
Miúda	22,4 Aa	18,1 Aa	0,0761
Cunhã + Miúda	26,9 Aa	17,9 Ba	0,0014
Jureminha + Miúda	27,0 Aa	20,7 Ba	0,0139
Orelha de Elefante Mexicana	21,7 Aa	18,3 Aa	0,1491
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	20,3 Aa	22,5 Aa	0,3352
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	19,3 Aa	21,3 Aa	0,3794
P	0,0526	0,4101	
EPM	2,20		
Sistemas de cultivo	Cobre (mg.kg ⁻¹ MS)		P
	2022	2023	
	Cobre (mg.kg ⁻¹ MS)		
Miúda	11,9 Aa	6,2 Ba	<0,0001
Cunhã + Miúda	11,5 Aab	6,7 Ba	<0,0001
Jureminha + Miúda	12,3 Aa	6,2 Ba	<0,0001
Orelha de Elefante Mexicana	5,2 Bb	6,8 Aa	0,0356
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	7,9 Bab	9,5 Aa	0,0379
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	5,8 Bab	7,3 Aa	0,0482
P	0,0080	0,5625	
EPM	0,70		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não houve diferenças para as concentrações de fósforo, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês e sódio das palmas em monocultivo e em consórcio com as leguminosas, com média de 1,3 g.kg⁻¹ MS; 9,6 g.kg⁻¹ MS; 1,5; 33,2; 213,2; 112,3; 58,3 mg.kg⁻¹ MS, respectivamente dos tratamentos com Miúda, independente do sistema de cultivo. Enquanto, a Orelha de Elefante Mexicana apresentou média de 1,4; 10,1; 0,9; 30,7; 139,6; 93,1; 55,5 g.kg⁻¹ MS para as concentrações de fósforo, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês e sódio Na, respectivamente, independente do sistema de cultivo (Tabela 3).

Quanto às concentrações de zinco observou-se que a Miúda, nos diferentes sistemas, apresentou maiores concentrações em relação à palma Orelha de Elefante Mexicana em monocultivo (Tabela 3).

Tabela 3. Efeito dos sistemas de cultivo sobre a concentração de minerais da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	P	Mg	S	B	Fe	Mn	Zn	Na
	----- g.kg ⁻¹ MS -----			----- mg.kg ⁻¹ MS -----				
Miúda	1,3	9,6	1,2	31,3	154,8	100,2	35,8 A	58,3
Cunhã + Miúda	1,4	9,8	1,7	34,0	226,4	102,1	31,1 A	60,0
Jureminha + Miúda	1,3	9,5	1,6	34,3	258,4	134,5	36,0 A	56,7
Orelha de Elefante Mexicana	1,4	9,6	1,0	25,0	177,0	82,0	19,5 B	56,7
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	1,5	10,2	0,7	27,7	91,7	105,6	28,3 AB	51,7
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	1,4	10,5	0,9	39,3	150,0	91,7	25,4 AB	58,3
EPM	0,12	0,57	0,36	4,26	78,80	10,50	3,10	3,55
<i>P</i>	0,92	0,65	0,34	0,29	0,54	0,07	0,01	0,66

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). P: fósforo, Mg: magnésio, S: enxofre, B: boro, Fe: ferro, Mn: manganês, Zn: zinco e Na: sódio. EPM: Erro padrão da média.

As concentrações de nitrogênio permaneceram semelhantes ao se comparar as plantas em monocultivo com os respectivos consórcios de cada espécie de palma, tanto para a Miúda quanto para a Orelha de Elefante Mexicana, não sendo observadas diferenças entre os sistemas de cultivo avaliados. No entanto a palma Miúda em monocultivo ($12,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) e no consórcio Cunhã + Miúda ($11,9 \text{ g.kg}^{-1}$) apresentaram maiores concentrações de nitrogênio em comparação a palma Orelha de elefante mexicana em monocultivo ($7,4 \text{ g.kg}^{-1}$) (Figura 1).

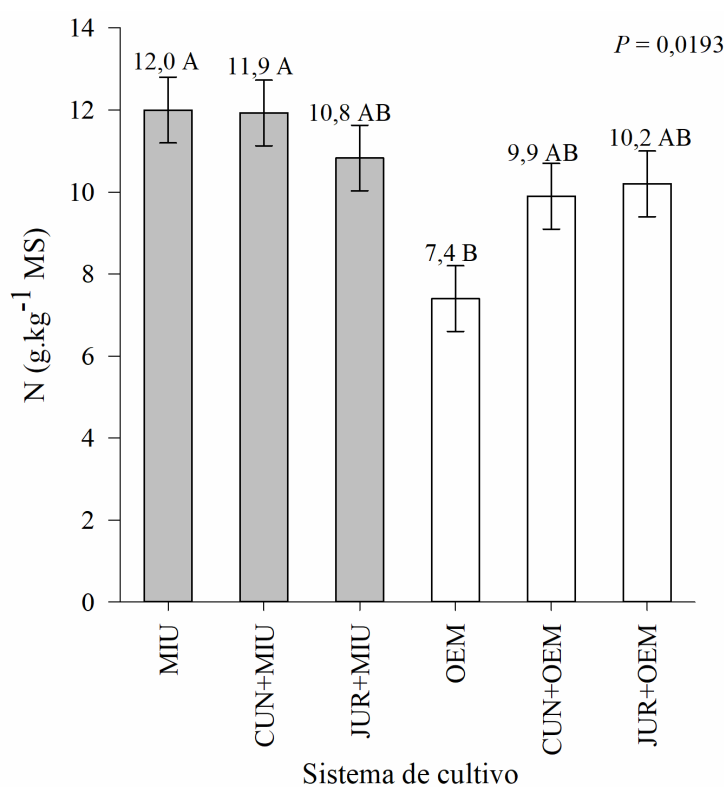


Figura 1. Efeito do sistema de cultivo na concentração de nitrogênio da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

MIU: Miúda; CUN+MIU: Cunhã + Miúda; JUR+MIU: Jureminha + Miúda; OEM: Orelha de Elefante Mexicana; CUN+OEM: Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana e JUR+OEM: Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana. Médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o Erro Padrão da Média (EPM). EPM = 0,8.

Houve efeito na concentração de boro entre os anos, com maior concentração no segundo ano (2023), com média de $41,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ (Figura 2A). Por outro lado, houve menor concentração de ferro (Figura 2B), manganês (Figura 3A) e sódio (Figura 3B) no segundo ano, com concentrações de 60,0; 90,0 e $38,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente.

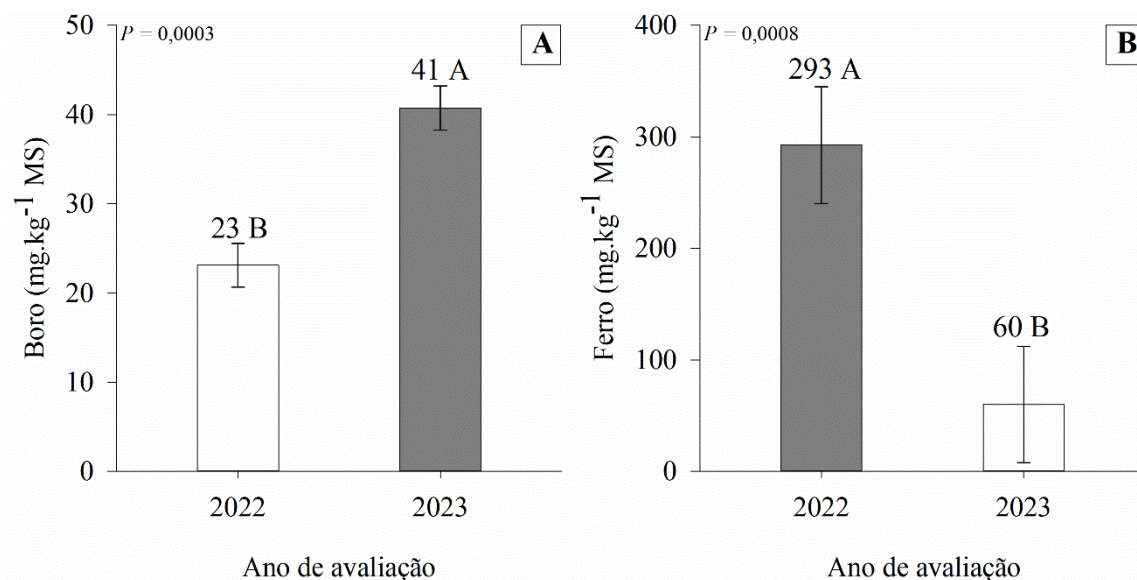


Figura 2. Efeito dos anos de avaliações nas concentrações de boro (A) e ferro (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o erro padrão da média (EPM). EPM = 2,4; 52,2.

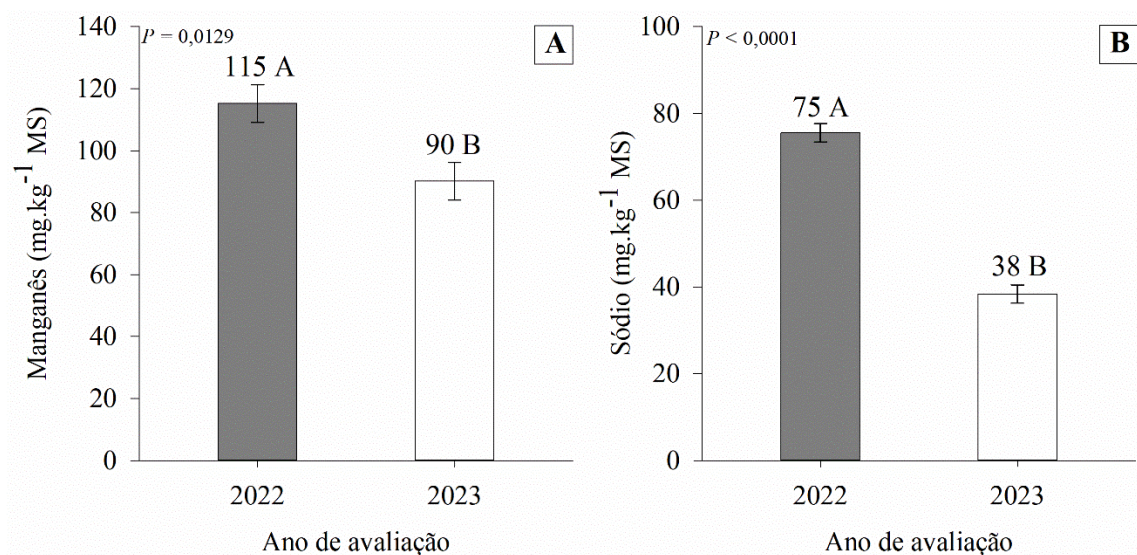


Figura 3. Efeito dos anos de avaliações nas concentrações de manganês (A) e sódio (B) da palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas no Agreste de Pernambuco.

Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste F ($P < 0,05$). Barras verticais nas colunas indicam o Erro Padrão da Média (EPM). EPM = 6,1; 2,1.

3.1.2 Composição mineral das leguminosas entre as épocas do ano

Verificou-se interação entre os sistemas de cultivo e as épocas de avaliação para as concentrações de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre (Tabela 4). Durante o período chuvoso, as leguminosas apresentaram teores semelhantes de nitrogênio, independentemente de estarem em monocultivo ou consorciadas com palma, o mesmo ocorrendo com a Jureminha na estação seca. No entanto, a Cunhã destacou-se nesse período, apresentando maior concentração de nitrogênio quando cultivada em consórcio com palma Miúda ($27,5 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$), em comparação à condição de monocultivo ($22,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). Além disso, ao comparar os teores de nitrogênio entre as épocas, observou-se redução nas médias na Cunhã em monocultivo, com queda de $7,4 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ na estação seca, e também na Cunhã consorciada com a palma Orelha de Elefante Mexicana, que apresentou diminuição de $3,0 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ no mesmo período.

Em relação ao fósforo, durante o período chuvoso a Cunhã em monocultivo apresentou concentração superior ($2,1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) em relação aos consórcios com a palma Miúda e Orelha de Elefante Mexicana ($1,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) (Tabela 4). Porém a Cunhã, em monocultivo, apresentou menores concentrações de fósforo na seca ($1,9 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) em comparação a chuvosa ($2,1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). Comportamento semelhante na Jureminha no consórcio com palma Miúda, alcançando $1,7$ e $1,3 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ nas épocas chuvosa e seca, respectivamente.

No que se refere ao cálcio, a variação foi observada apenas entre as épocas, na Jureminha nos sistemas consorciados (Tabela 4) em que na estação seca, houve redução nos teores de cálcio nos consórcios Jureminha + Miúda e Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana. Durante o período chuvoso, o consórcio com a Miúda apresentou $6,2 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, diminuindo para $4,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ na seca. De forma semelhante, o consórcio com a Orelha de Elefante Mexicana passou de $6,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ na chuva para $5,2 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ na seca.

De maneira semelhante ao observado para o cálcio, as concentrações de enxofre na época chuvosa não apresentaram diferenças entre as espécies de palma em monocultivo e seus respectivos consórcios, o mesmo ocorrendo nos tratamentos com Cunhã durante a estação seca (Tabela 4). Em contraste, nesse mesmo período, a Jureminha em monocultivo apresentou menor concentração de enxofre ($1,2 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) em comparação ao consórcio com a palma Orelha de Elefante Mexicana, que alcançou média de $1,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$. No entanto, ao comparar os teores médios entre as épocas,

observou-se redução na estação seca em todos os tratamentos com Cunhã, além da Jureminha, tanto em monocultivo quanto consorciada com a palma Miúda.

Tabela 4. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas do ano		P
	Chuvosa	Seca	
	Nitrogênio (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	30,2 Aa	22,8 Bbc	<0,0001
Cunhã + Miúda	28,1 Aa	27,5 Aa	0,6702
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	28,1 Aa	25,1 Bab	0,0356
Jureminha	20,3 Ab	18,4 Ad	0,1672
Jureminha + Miúda	21,5 Ab	19,0 Acd	0,0747
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	22,3 Ab	20,1 Acd	0,1033
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,37		
Sistemas de cultivo	Fósforo (g.kg ⁻¹ MS)		P
	Chuvosa	Seca	
	Fósforo (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	2,1 Aa	1,9 Ba	0,2048
Cunhã + Miúda	1,7 Ab	1,7 Aabc	0,5838
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	1,7 Ab	1,8 Aab	0,1906
Jureminha	1,7 Ab	1,5 Abc	0,1270
Jureminha + Miúda	1,7 Ab	1,3 Bc	0,0017
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	1,5 Ab	1,6 Aabc	0,2147
P	0,0012	0,0003	
EPM	0,11		
Sistemas de cultivo	Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)		P
	Chuvosa	Seca	
	Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	4,8 Abc	4,8 Aab	0,9909
Cunhã + Miúda	4,1 Ac	5,1 Aab	0,0996
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	4,3 Ac	4,2 Ab	0,9321
Jureminha	6,5 Aa	6,1 Aa	0,4156
Jureminha + Miúda	6,2 Aab	4,8 Bab	0,0232
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	6,8 Aa	5,2 Bab	0,0088
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,58		
Sistemas de cultivo	Enxofre (g.kg ⁻¹ MS)		P
	Chuvosa	Seca	
	Enxofre (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	2,8 Aa	1,9 Ba	<0,0001
Cunhã + Miúda	2,8 Aa	1,7 Bab	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	2,6 Aab	1,6 Bab	<0,0001
Jureminha	2,1 Abc	1,2 Bb	<0,0001
Jureminha + Miúda	2,1 Abc	1,4 Bab	0,0015
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	1,9 Ac	1,8 Aa	0,7829
P	<0,0001	0,0119	
EPM	0,20		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não foram observadas diferenças nas concentrações de sódio, boro e ferro entre a Cunhã e Jureminha quando avaliadas em monocultivo e nos respectivos consórcios nas duas épocas de avaliações (Tabela 5). Contudo, ao comparar cada nutriente entre as épocas, observou-se maiores concentrações de sódio na forragem durante a estação chuvosa nos tratamentos com Cunhã, com médias de 205,4; 246,4 e 210,6 mg.kg⁻¹ MS nos sistemas em monocultivo, consorciado com Miúda e com Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente. Já nos tratamentos com Jureminha, os maiores teores foram observados na estação seca, com valores médios de 190,0; 171,8 e 188,3 g.kg⁻¹ MS para os respectivos sistemas de cultivo (Tabela 5).

Em contrapartida, as concentrações de boro apresentaram redução na estação seca em todos os sistemas avaliados, com quedas médias de 16,3; 22,4 e 22,3 mg.kg⁻¹ MS nos tratamentos Cunhã, Cunhã + Miúda e Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente (Tabela 5). De modo semelhante, a leguminosa Jureminha também registrou diminuição nos níveis médios de boro ao comparar as épocas chuvosa e seca, com variações de 13,2 mg.kg⁻¹ MS no monocultivo e 13,9 e 11,5 mg.kg⁻¹ MS nos consórcios com Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente. Em sentido oposto, observou-se aumento na concentração média de ferro na época seca na leguminosa no consórcio Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana, com diferença entre as médias de 111,9 mg.kg⁻¹ MS em relação à época chuvosa.

Tabela 5. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de sódio, boro e ferro das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

com panna forrageira no Agreste de Pernambuco.			
Sistema de cultivo	Épocas do ano		P
	Chuvosa	Seca	
	Sódio (mg.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	205,4 Aabc	144,5 Ba	
Cunhã + Miúda	246,4 Aa	161,3 Ba	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	210,6 Aab	175,2 Ba	0,0252
Jureminha	149,7 Bc	190,0 Aa	0,0118
Jureminha + Miúda	158,3 Bbcd	171,8 Aa	0,3797
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	152,9 Bcd	188,3 Aa	0,0253
P	<0,0001	0,1388	
EPM	15,24		
Boro (mg.kg ⁻¹ MS)			
Cunhã	44,0 Aa	27,7 Bab	<0,0001
Cunhã + Miúda	41,9 Aa	19,5 Bb	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	44,1 Aa	21,8 Bab	<0,0001
Jureminha	39,1 Aa	25,9 Bab	<0,0001
Jureminha + Miúda	41,6 Aa	27,7 Bab	<0,0001

Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	41,4 Aa	29,9 Ba	0,0005
<i>P</i>	0,5780	0,0105	
EPM	3,01		
	Ferro (mg.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	219,4 Aa	174,1 Aa	0,1618
Cunhã + Miúda	166,4 Aab	217,2 Aa	0,1182
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	185,6 Aab	171,2 Aa	0,6546
Jureminha	120,6 Ab	161,1 Aa	0,2110
Jureminha + Miúda	161,6 Aab	164,7 Aa	0,9220
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	126,7 Bab	238,6 Aa	0,0011
<i>P</i>	0,0343	0,0939	
EPM	31,80		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Não foram observadas diferenças nas concentrações de cobre entre a Cunhã e Jureminha quando avaliadas em monocultivo e nos respectivos consórcios, em ambas as épocas de avaliações. O mesmo padrão foi verificado para os teores de zinco em Cunhã nas duas estações e na Jureminha durante a época seca. No entanto, na época chuvosa, a Jureminha consorciada com a palma Orelha de Elefante Mexicana apresentou concentração média de zinco de 10,7 mg.kg⁻¹ MS superior à observada no monocultivo da mesma espécie.

Adicionalmente, verificou-se que, durante o período chuvoso, a leguminosa Cunhã apresentou maiores concentrações de cobre e zinco na forragem em relação à Jureminha, independentemente do sistema de cultivo adotado (Tabela 6). Na comparação entre as épocas, os tratamentos com Cunhã apresentaram declínio nos teores desses micronutrientes durante a estação seca. Para o cobre, as reduções médias foram de 3,0; 2,1 e 2,1 mg.kg⁻¹ MS nas leguminosas nos sistemas Cunhã, Cunhã + Miúda e Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana, respectivamente. Já para o zinco, as quedas foram de 12,8; 8,7 e 14,2 mg.kg⁻¹ MS nos mesmos arranjos. Em contraste, os tratamentos com Jureminha mantiveram níveis estáveis de cobre e zinco entre as duas épocas avaliadas.

Tabela 6. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x épocas do ano sobre a concentração de cobre e zinco das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Épocas do ano		P
	Chuvosa	Seca	
	Cobre (mg.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	13,9 Aa	10,9 Ba	0,0005
Cunhã + Miúda	13,7 Aa	11,6 Ba	0,0100
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	13,5 Aa	11,4 Ba	0,0082
Jureminha	10,0 Ab	10,4 Aa	0,6157
Jureminha + Miúda	9,7 Ab	10,0 Aa	0,7738
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	10,1 Ab	10,4 Aa	0,7286
P	<0,0001	0,2813	
EPM	0,77		
	Zinco (mg.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	48,8 Aa	36,0 Ba	0,0005
Cunhã + Miúda	42,5 Aa	33,8 Ba	0,0132
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	48,5 Aa	34,3 Ba	0,0001
Jureminha	18,8 Ac	22,4 Ab	0,2917
Jureminha + Miúda	26,4 Abc	26,3 Aab	0,9727
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	29,5 Ab	27,0 Aab	0,4518
P	<0,0001	0,0009	
EPM	3,38		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.1.3 Composição mineral das leguminosas entre os anos de avaliações

Não foram encontradas diferenças nas concentrações de nitrogênio e cálcio entre as leguminosas em monocultivo e seus respectivos consórcios durante os dois anos de avaliações (Tabela 7). Da mesma forma, as concentrações de enxofre não variaram entre os arranjos com Cunhã nos dois anos, nem entre os tratamentos com Jureminha no segundo ano. No entanto, no primeiro ano, a Jureminha consorciada com a palma Orelha de Elefante Mexicana apresentou maior concentração de enxofre (2,3 g.kg⁻¹ MS), com diferença de 0,77 g.kg⁻¹ MS em relação à Jureminha em monocultivo (1,6 g.kg⁻¹ MS) (Tabela 7).

Ao avaliar cada sistema entre os anos, observou-se que a Cunhã em monocultivo apresentou menores concentrações de nitrogênio no período seco, com média de 24,1 g.kg⁻¹ MS, resultando em uma diferença de 4,8 g em relação à média obtida no período chuvoso (28,9 g.kg⁻¹ MS). Da mesma forma, a Cunhã consorciada com a palma Orelha de Elefante Mexicana apresentou diferença de 3,2 g entre os períodos, com médias de 28,2 g.kg⁻¹ MS na época chuvosa e 25,0 g.kg⁻¹ MS na época seca (Tabela 7).

A Cunhã em monocultivo também apresentou menor concentração de cálcio na época seca, padrão semelhante ao observado para a Jureminha em monocultivo e em consórcio com a palma Orelha de Elefante Mexicana. No caso do enxofre, todos os tratamentos apresentaram médias inferiores na época seca, com exceção da Jureminha em monocultivo, que manteve as concentrações entre as épocas (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de nitrogênio, cálcio e enxofre das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
	Nitrogênio (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	28,9 Aa	24,1 Babc	0,0010
Cunhã + Miúda	27,5 Aa	28,1 Aa	0,6527
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	28,2 Aa	25,0 Bab	0,0259
Jureminha	18,0 Ab	20,7 Ac	0,0601
Jureminha + Miúda	18,7 Bb	21,8 Abc	0,0278
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	20,3 Ab	22,0 Abc	0,2226
P	<0,0001	<0,0001	
EPM	1,37		
	Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	5,6Abcd	3,9 Ba	0,0041
Cunhã + Miúda	4,3 Acd	4,8 Aa	0,3781
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	4,0 Ac	4,5 Aa	0,3401
Jureminha	7,7 Aa	4,9 Ba	<0,0001
Jureminha + Miúda	6,0 Aabc	5,0 Aa	0,0952
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	7,1 Aab	5,0 Ba	0,0008
P	<0,0001	0,3563	
EPM	0,58		
	Enxofre (g.kg ⁻¹ MS)		
Cunhã	2,8 Aa	1,9 Ba	<0,0001
Cunhã + Miúda	2,9 Aa	1,6 Ba	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	2,6 Aa	1,6 Ba	<0,0001
Jureminha	1,6 Ac	1,7 Aa	0,4334
Jureminha + Miúda	1,9 Abc	1,5 Ba	0,0298
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	2,3 Aab	1,4 Ba	<0,0001
P	<0,0001	0,1848	
EPM	0,20		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

No primeiro ano de avaliação, não foram identificadas diferenças nas concentrações de fósforo e magnésio das leguminosas em monocultivo com seus consórcios. Essa ausência de variação também se manteve para as concentrações de magnésio no segundo ano. No entanto, nesse mesmo ano, a leguminosa Cunhã cultivada

em monocultivo apresentou maior concentração média de fósforo ($2,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) em comparação aos consórcios com as diferentes espécies de palma forrageira ($2,1 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$). De forma geral, observou-se elevação nas concentrações de fósforo e magnésio ao longo do segundo ano, independentemente do arranjo de cultivo adotado em comparação ao primeiro (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de fósforo e magnésio das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistemas de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Cunhã	1,3 Ba	2,7 Aa	<0,0001
Cunhã + Miúda	1,2 Ba	2,1 Ab	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	1,3 Ba	2,1 Ab	<0,0001
Jureminha	1,1 Ba	2,0 Ab	<0,0001
Jureminha + Miúda	1,1 Ba	1,9 Ab	<0,0001
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	1,1 Ba	1,9 Ab	<0,0001
P	0,3125	<0,0001	
EPM	15,24		
	Magnésio ($\text{g.kg}^{-1} \text{ MS}$)		
Cunhã	4,2 Ba	5,5 Aa	0,0002
Cunhã + Miúda	4,0 Bab	5,8 Aa	<0,0001
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	4,0 Bab	6,0 Aa	<0,0001
Jureminha	3,2 Bbc	4,2 Ab	0,0031
Jureminha + Miúda	2,7 Bc	4,0 Ab	0,0003
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	3,3 Babc	4,0 Ab	0,0244
P	0,0001	<0,0001	
EPM	0,32		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). EPM: Erro padrão da média.

Comportamento semelhante foi observado para o boro no primeiro ano de avaliação, quando não se verificaram diferenças entre os tratamentos. No entanto, no segundo ano, a Cunhã consorciada com a palma Miúda apresentou a menor concentração média de boro ($26,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$), representando uma redução de $11,9 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$ em relação a planta em monocultivo ($38,4 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$). Ainda nesse ano, as plantas nos consórcios Cunhã + Miúda e Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana apresentaram as menores concentrações de boro, com valores médios de $26,5$ e $29,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$, respectivamente, em relação ao primeiro ano (Tabela 9).

De forma semelhante, as concentrações médias de manganês também foram inferiores no segundo ano em todos os arranjos com Cunhã. Em contraste, os tratamentos de Jureminha não apresentaram variações nas concentrações médias de boro e manganês

ao comparar cada sistema entre os anos. Porém, a Jureminha em consórcio com a Orelha de Elefante Mexicana teve maior concentração média de cobre no segundo ano (11,1 mg.kg⁻¹ MS, em comparação com o primeiro (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da interação dos sistemas de cultivo x anos de avaliações sobre a concentração de boro, cobre e manganês das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Sistema de cultivo	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Boro (mg.kg ⁻¹ MS)			
Cunhã	33,2 Aa	38,4 Aa	0,0904
Cunhã + Miúda	34,9 Aa	26,5 Bb	0,0080
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	36,4 Aa	29,5 Bab	0,0272
Jureminha	31,9 Aa	33,0 Aab	0,7197
Jureminha + Miúda	33,9 Aa	35,4 Aab	0,6059
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	36,6 Aa	34,7 Aab	0,5184
P	0,5908	0,0043	
EPM	3,01		
Cobre (mg.kg ⁻¹ MS)			
Cunhã	14,3 Aa	10,6 Ba	<0,0001
Cunhã + Miúda	14,0 Aa	11,3 Ba	0,0011
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	13,2 Aa	11,7 Aa	0,0788
Jureminha	10,5 Ab	10,0 Aa	0,5461
Jureminha + Miúda	9,6 Ab	10,1 Aa	0,5994
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	9,4 Bb	11,1 Aa	0,0394
P	<0,0001	0,1726	
EPM	0,77		
Manganês (mg.kg ⁻¹ MS)			
Cunhã	78,5 Aab	55,8 Ba	0,0104
Cunhã + Miúda	88,8 Aab	57,6 Ba	0,0007
Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana	96,9 Aa	67,0 Ba	0,0010
Jureminha	59,0 Aab	63,2 Aa	0,6171
Jureminha + Miúda	54,3 Ab	53,0 Aa	0,8774
Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana	56,8 Aab	47,40Aa	0,2716
P	0,0109	0,7630	
EPM	8,45		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

Observou-se efeito isolado para os sistemas de produção, com maiores concentrações de potássio para a Cunhã em monocultivo (9,54 g.kg⁻¹ MS), em relação à Jureminha, em monocultivo e consórcio. No entanto, não se observou efeito da Cunhã em

monocultivo, em relação aos seus sistemas de consórcio, bem como a jureminha em relação aos seus consórcios (Figura 4).

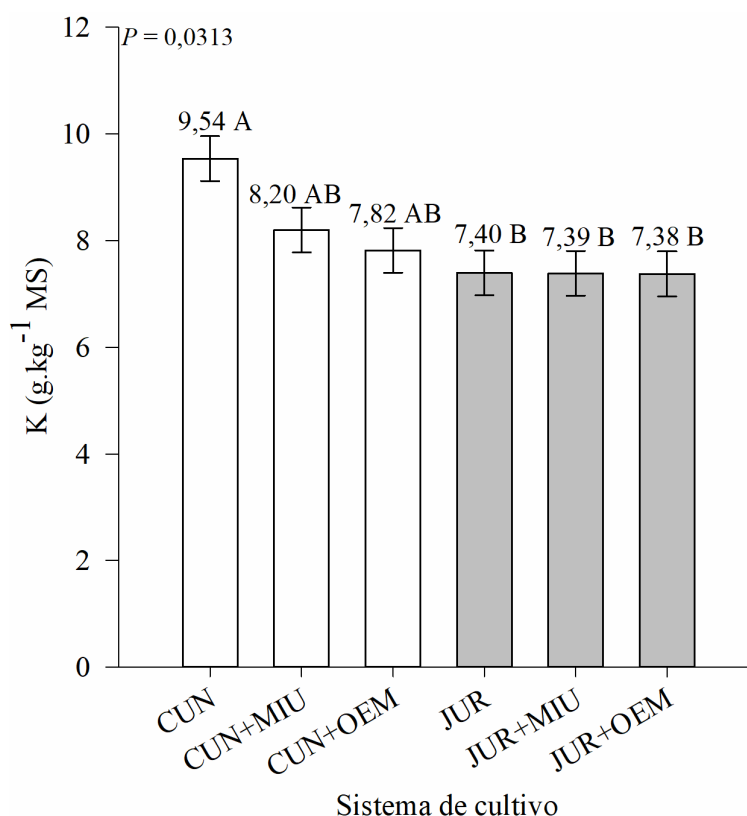


Figura 4. Efeito dos sistemas de cultivo sobre a concentração de potássio das leguminosas sob sistemas de monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

CUN: Cunhã; CUN+MIU: Cunhã + Miúda; CUN+OEM: Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana; JUR: Jureminha; JUR+MIU: Jureminha + Miúda e JUR+OEM: Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana. Médias seguidas por letras distintas nas barras diferem entre si pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). Barras verticais nas colunas representam o Erro Padrão da Média (EPM). EPM = 0,42.

3.1.4 Composição mineral das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

Houve interação entre as épocas e os anos de avaliações para todos os macrominerais analisados (Tabela 10). No primeiro ano de avaliação, as concentrações de fósforo e magnésio foram superiores na época seca em relação a chuvosa. Contudo, no segundo ano, observou-se comportamento inverso, com maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre durante o período chuvoso.

Na comparação entre os anos, especificamente na época chuvosa, observaram-se aumentos nas concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio no segundo ano em comparação ao primeiro. Por outro lado, ao comparar os dados da época seca entre os

anos, houve redução nas concentrações médias de nitrogênio, potássio, cálcio e enxofre (Tabela 10).

Tabela 10. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre os macrominerais das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Épocas do ano	Ano de avaliação		P
	2022	2023	
Nitrogênio (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	23,4 Ba	26,7 Aa	0,0010
Seca	23,8 Aa	20,5 Bb	0,0011
P-Valor	0,9810	<0,0001	
EPM	0,79		
Fósforo (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	1,0 Bb	2,4 Aa	<0,0001
Seca	1,5 Ba	1,8 Ab	<0,0001
P-valor	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,06		
Potássio (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	7,6 Ba	8,7 Aa	0,0209
Seca	8,4 Aa	7,1 Bb	0,0051
P-valor	0,2620	0,0060	
EPM	0,46		
Magnésio (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	2,6 Bb	5,5 Aa	<0,0001
Seca	4,5 Aa	4,3 Aa	0,2134
P-valor	<0,0001	<0,0001	
EPM	0,18		
Cálcio (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	5,6 Aa	5,3 Aa	0,3802
Seca	6,0 Aa	4,1 Bb	<0,0001
P-valor	0,6996	0,0046	
EPM	0,33		
Enxofre (g.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	2,4 Aa	2,4 Aa	0,7540
Seca	2,4 Aa	0,8 Bb	<0,0001
P-valor	0,9999	<0,0001	
EPM	0,08		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

De forma semelhante também houve interação entre a época e os anos de avaliações para os microminerais analisados (Tabela 11). No primeiro ano, as concentrações de ferro, manganês e zinco foram superiores durante a época seca. No entanto, esse padrão se inverteu no segundo ano, quando esses mesmos minerais

apresentaram maiores concentrações na época chuvosa. Ao comparar as concentrações médias entre os anos para cada micromineral, observou-se aumento nas concentrações de manganês e zinco no período chuvoso do segundo ano, enquanto o sódio apresentou maior concentração na época seca do mesmo ano. Por outro lado, as concentrações de ferro foram inferiores no segundo ano, independentemente da época de coleta.

Tabela 11. Efeito da interação de épocas x anos de avaliações sobre os microminerais das leguminosas em monocultivo e em consórcio com palma forrageira no Agreste de Pernambuco.

Fenilalanina			
Épocas do ano	Anos de avaliações		P
	2022	2023	
Sódio (mg.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	237,1 Aa	137, 3 Bb	<0,0001
Seca	118,3 Bb	225, 3 Aa	0,0011
P-Valor	<0,0001	<0,0001	
P	8,79		
Ferro (mg.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	107,1 Ab	219,7 Ba	<0,0001
Seca	222,2 Aa	153,5 Bb	0,0006
P-valor	<0,0001	0,0045	
P	0,06		
Manganês (mg.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	65,5 Bb	77,7 Aa	0,0168
Seca	79,3 Aa	37,0 Bb	<0,0001
P-valor	0,0353	<0,0001	
P	4,48		
Zinco (mg.kg ⁻¹ MS)			
Chuvosa	30,1 Bb	41,5 Aa	<0,0001
Seca	38,5 Aa	21,4 Bb	<0,0001
P-valor	0,0005	<0,0001	
P	1,95		

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05). EPM: Erro padrão da média.

3.2 Discussão

3.2.1 Concentrações de minerais na palma forrageira em monocultivo e em consórcio com leguminosas

As maiores concentrações de potássio da palma Miúda no primeiro ano de avaliação nos diferentes arranjos, quando comparado a palma no consórcio de Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana (Tabela 2), pode estar associado a maior eficiência na absorção de potássio do solo e na distribuição desse nutriente dentro dos tecidos pela palma Miúda, tendo em vista que os solos dos arranjos com essa palma possuíam menos

potássio, com média de $0,11 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-1}$ em comparação ao solo do consórcio de Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana ($0,16 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-1}$) no primeiro ano de cultivo (Tabela 1). Esse achado é consistente com os resultados observados por Ferraz et al. (2020), que encontraram maior concentração de potássio ($21,48 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) na palma Miúda em comparação a Orelha de Elefante Mexicana ($11,70 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) sob condição de monocultivo e irrigada com cinco níveis de reposição da evapotranspiração de referência (25, 50, 75, 100 e 125% da ETo) no sertão paraibano, após um ano de cultivo.

No entanto, no segundo ano de avaliação, não houve diferenças nas concentrações de potássio entre as palmas nos sistemas de cultivo (Tabela 2). Os níveis médios de potássio observados para Miúda foram de $20,6 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ e para Orelha de Elefante Mexicana de $18,4 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, nesse ano. Esse resultado corrobora com a afirmação de Batista et al. (2022), que a palma, quando em comparação a outras plantas forrageiras, apresenta elevados concentrações de potássio, cálcio e magnésio na matéria seca.

A palma Miúda no consórcio, Cunhã + Miúda, apesar das concentrações elevadas de potássio, diminui ao longo dos anos em $10,5 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$, esse comportamento possivelmente ocorreu devido à menor taxa de sobrevivência (59%) da Cunhã nesse sistema no segundo ano avaliação (Capítulo II, Tabela 19), e consequentemente menor deposição de serapilheira pela leguminosa e assimilação desse nutriente pela palma. Por outro lado, a cultivar Orelha de Elefante Mexicana, em consórcio com a Jureminha, aumentou as concentrações de potássio em $10,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ no segundo ano, em relação ao primeiro (Tabela 2), possivelmente, se deve à maior extração de potássio do solo, disponibilizado pela adubação de manutenção.

Dentre as concentrações de potássio nas espécies de palma ao longo dos anos, apenas a palma cultivada no consórcio Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana no primeiro ano ($8,8 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) está próximo ao limite mínimo necessário para atender às exigências nutricionais de um ovino deslanado de 15 kg de peso vivo, com ganho de 0,150 kg/dia ($8,7 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$) (BR Caprinos & Ovinos, 2024).

A redução nas concentrações cálcio da palma no consórcio Jureminha + Miúda em $6,3 \text{ g.kg}^{-1} \text{ MS}$ no segundo ano de avaliação (Tabela 2), provavelmente, deve-se a redução das concentrações de cálcio no solo nesse sistema em $0,27 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-1}$ (Tabela 1). Essa redução de cálcio no solo entre os anos, possivelmente resultou também na diminuição nos tecidos da palma, devido a maior necessidade de cálcio pela Jureminha, no sistema consorciado. Esse nutriente é vital para as leguminosas durante a FBN, influenciando o reconhecimento do sinal, formação de nódulos, número de nódulos e na

prevenção da senescência precoce desses nódulos, aumentando assim a eficiência dos processos simbióticos de fixação de nitrogênio (Ma et al., 2024). A palma no consórcio, Cunha + Miúda também reduziu as concentrações de cálcio em $9,0 \text{ g.kg}^{-1}$ MS, no segundo ano de avaliação (Tabela 2), porém as concentrações de cálcio no solo entre os anos nesse sistema foram constantes, com $0,82$ e $0,85 \text{ cmol.c.dm}^{-1}$, no primeiro e segundo ano, respectivamente (Tabela 1).

Apesar das reduções de cálcio na palma Miúda nos sistemas consorciados, as concentrações ainda são muito acima das exigências nutricionais do ovino ($3,8 \text{ g.kg}^{-1}$ MS) (BR Caprinos & Ovinos, 2024). As altas concentrações de cálcio e baixos de fósforo, com média de $1,4 \text{ g.kg}^{-1}$ MS entre as espécies nos diferentes sistemas (Tabela 2) podem causar problemas em ruminantes, como redução do consumo de matéria seca e aparecimento de cálculos renais, principalmente em caprinos (Santos et al., 2009). Santos (1992) reportam que essa relação pode chegar a 40:1 em espécies de palma forrageira. Apesar dessas características, problemas relacionados ao excesso de cálcio não têm sido relatados no Nordeste do Brasil, mesmo com a utilização rotineira de palma na dieta de vacas leiteiras, o que leva a entender que a disponibilidade deste mineral seja baixa, sobretudo em função da presença de oxalatos nesta forragem (Batista et al., 2022).

A redução na concentração de cobre para palma Miúda, independentemente do sistema, e aumento para os arranjos da Orelha de Elefante Mexicana no segundo ano de avaliação (Tabela 2), demonstra que cada espécie de palma apresenta mecanismos de absorção específicos, bem como que a palma Orelha de Elefante Mexicana apresenta potencial de acumulação de cobre em relação à palma Miúda, o que corrobora Ferraz et al. (2020), que observaram média de $13,4$ e $9,7 \text{ g.kg}^{-1}$ MS para Orelha de Elefante Mexicana e Miúda, respectivamente. As maiores concentrações de cobre encontrado por Ferraz et al. (2020), em comparação aos encontrados no segundo ano com média $7,9 \text{ g.kg}^{-1}$ MS na Orelha de Elefante Mexicana, e de $6,4 \text{ g.kg}^{-1}$ MS na Miúda da presente pesquisa pode estar associado ao tipo de água de poço utilizada pelos autores, que geralmente apresenta maiores níveis de sais (Nascimento et al., 2024).

Não foram observadas diferenças nas concentrações de fósforo, magnésio, enxofre, boro, ferro, manganês e sódio para a palma Miúda e Orelha de Elefante Mexicana em monocultivo e consorciada com as diferentes leguminosas (Tabela 3). Com exceção do fósforo e do zinco, as concentrações dos demais minerais suprem as exigências do ovino deslanado de 15 kg de peso vivo, com ganho de $0,150 \text{ kg/dia}$ (BR Caprinos & Ovinos, 2024).

O fósforo e o zinco também não apresentaram diferenças entre cada cultivar de palma em monocultivo e em seus consórcios (Tabela 3). Porém, a quantidade de fósforo em todos os sistemas e de zinco para Orelha de Elefante Mexicana nos diferentes arranjos não suprem as necessidades nutricionais do ovino citado.

Dessa maneira é necessário realizar o uso de suplementos para atender as necessidades dos animais, uma vez que, o fósforo é essencial para a síntese de ATP, molécula central no armazenamento e transferência de energia celular, além de participar da estrutura de ácidos nucleicos e membranas celulares (Bossa et al., 2024). Cordeiros com deficiência de fósforo apresentaram menor ingestão alimentar e ganho de peso vivo (Ternouth, Servilla, 1984). Segundo Zhou et al. (2021), bovinos tem capacidade de mobilizar fósforo dos ossos (e dos tecidos moles) quando a dieta é inadequada. Com isso, durante as semanas que antecedem o parto e o início da lactação, ocorre uma grande demanda da quantidade de minerais, principalmente de cálcio, fósforo e magnésio, devido aos processos de calcificação fetal e preparação para a lactação. Dessa forma, principalmente nas últimas semanas de gestação, se não houver a suplementação mineral, possivelmente ocorrerá uma mobilização óssea intensa, o que resultará em desordem metabólica e comprometimento da matriz e do feto (Rezende et al., 2019).

O zinco, por sua vez, cuja deficiência foi observada na cultivar Orelha de Elefante Mexicana em todos os arranjos, atua como cofator de diversas enzimas, estando envolvido na síntese de proteínas (Maret et al., 2017) e hormônios (Adamo et al., 2010), na proteção das membranas celulares contra o estresse oxidativo (Krall et al., 2018), funcionamento do sistema imunológico e no crescimento e desenvolvimento dos animais (Fukada et al., 2011). Dessa forma, a inadequação desses minerais pode comprometer processos bioquímicos fundamentais e impactar negativamente o desempenho produtivo dos ovinos.

Miranda (2018) ao avaliar a concentração de fósforo na cultivar IPA Sertânia também não encontrou diferenças nas concentrações de fósforo entre a palma em monocultivo ($3,45 \text{ g.kg}^{-1}$) e em consórcio com Leucena ($2,79 \text{ g.kg}^{-1}$) e Gliricídia ($3,80 \text{ g.kg}^{-1}$). No entanto, os autores reportam que a maior concentração na palma consorciada com Gliricídia que a leucena se deve a maior deposição de serapilheira por essa leguminosa. Nesse sentido, as maiores concentrações de fósforo encontrados por Miranda que nessa pesquisa, possivelmente deve-se ao maior tempo de estabelecimento do consórcio, cinco anos, proporcionado maior deposição de serapilheira pelas leguminosas.

A palma nos arranjos da Miúda apresentou maior concentração de zinco, com média de 34,3 mg.kg⁻¹ MS, concentração superior a encontrada na Orelha de Elefante em monocultivo (19,5 mg.kg⁻¹ MS). No entanto as concentrações de zinco na Orelha de Elefante em monocultivo não foi diferente das encontrados nessa palma em relação aos seus consórcios. Porém essas concentrações estão muito abaixo que os reportados por Araújo (2024) que encontrou concentrações de zinco na palma Orelha de Elefante Mexicana cultivada sob irrigação com água salina no Sertão pernambucano, registrando valores de 52,69; 57,63 e 41,67 mg.kg⁻¹ MS para as palmas colhidas aos 120, 240 e 360 dias de plantio, respectivamente. Essas maiores concentrações também podem estar associadas as maiores concentrações de sais nas águas salinas de poços subterrâneos utilizadas pelo referido autor.

O aumento da concentração de boro nos cladódios de palma, no segundo ano de plantio (Figura 2A), em comparação ao primeiro, independente da palma utilizada, pode estar associado ao crescimento das plantas e às necessidades fisiológicas ao longo da época de cultivo. No primeiro ano, as plantas, provavelmente, devem ter direcionado as concentrações de boro absorvidos ao desenvolvimento e ao crescimento, uma vez que este elemento garante a integridade estrutural e funcional das paredes e das membranas celulares (Pereira et al., 2021).

Ao passo que, no segundo ano, com o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular, provavelmente houve acesso a camadas mais profundas do solo, com reservas de boro anteriormente não exploradas. Além disso, o maior acúmulo de boro pode estar associado ao aumento de biomassa da palma e à intensificação dos processos metabólicos, como a fotossíntese e o transporte de carboidratos, que requerem este elemento (Mogoşanu et al., 2023).

Esse efeito demonstra que as espécies de palma forrageira tendem acumular boro, como observado por Mayer e Cushman (2019), os quais constataram que o boro foi o micronutriente mais abundantes nos cladódios da *Opuntia ficus-indica*, cultivada em campo em condições de sequeiro. Por outro lado, a redução das concentrações de ferro (Figura 2B), manganês (Figura 3A) e sódio (Figura 3B), no segundo ano, podem estar relacionados ao esgotamento das formas mais prontamente disponíveis desses minerais na solução do solo, ou podem decorrer da redução das exigências desses nutrientes em relação à fase vegetativa e ao desenvolvimento apresentados pelas plantas, pois Araújo et al. (2023), através de uma análise de componentes principais, indicaram que o ferro e

manganês, junto, com o cálcio, fósforo, potássio e zinco são os principais minerais limitantes da produção de palma forrageira em condição de adensamento e irrigação.

Diante da redução de ferro no segundo ano nas espécies de palma para $60,0 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$, não atende as exigências do ovino deslanado de 15 kg de peso vivo, com ganho de $0,150 \text{ kg/dia}$ (BR Caprinos & Ovinos, 2024) ($72,9 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$), sendo necessário o uso de suplemento. Essa suplementação pode ser realizada com as próprias leguminosas colhidas a cada 90 dias, pois ambas, independente da forma de cultivo atende essas exigências de ferro (Tabela 5) do ovino citado. Após o corte, o produtor pode fazer feno dessas leguminosas e fornecer aos animais em épocas estratégicas.

Destaca-se que o ferro exerce funções metabólicas de alta relevância nos ruminantes, sendo um componente essencial da hemoglobina e da mioglobina, responsáveis pelo transporte e armazenamento de oxigênio no sangue e nos músculos, respectivamente (Marques, 2024). Além disso, o ferro é um componente crucial do heme, o grupo protético do citocromo c, que é essencial na cadeia mitocondrial respiratória de transporte de elétrons, sendo indispensável para a transferência de elétrons e a produção eficiente de ATP, a principal molécula de energia do organismo (Kim et al., 2022). Peter (2023) observou que a deficiência de ferro em bezerras e cordeiros leva à redução do ganho diário de peso, comprometimento do crescimento e aumento de problemas de saúde, como pneumonia e diarreia, pois o ferro é crucial para a função imune, pois os linfócitos precisam de ferro adequado para suas funções.

Em contrapartida, embora tenha havido redução nas concentrações de manganês nos tecidos da palma no segundo ano, os valores ainda permaneceram acima da exigência mínima do ovino deslanado de 15 kg de peso vivo, com ganho de $0,150 \text{ kg/dia}$ (BR Caprinos & Ovinos, 2024) ($39,8 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$). Este resultado demonstra que, mesmo com a diminuição observada, a palma continua sendo uma fonte viável desse micronutriente no sistema de produção.

Do ponto de vista metabólico, o manganês é essencial para a ativação de enzimas envolvidas no metabolismo de carboidratos, aminoácidos e lipídios, incluindo a piruvato carboxilase e a arginase, que são metaloenzimas de manganês envolvidas na gliconeogênese e no ciclo da ureia, respectivamente (Spears, 2019). Além disso, atua na síntese de proteínas glicosiladas, incluindo o colágeno, que é crítico para a formação da matriz óssea (Taskozhina et al., 2024), sendo também componente da enzima superóxido dismutase mitocondrial, que protege as células contra danos oxidativos (Miriylala et al., 2012). Sua participação na regulação do estresse oxidativo é particularmente relevante

em condições de confinamento, onde os animais estão sujeitos a maior desafio metabólico (Tüfekci, Sejian, 2023).

3.2.2 Composição mineral das leguminosas entre as épocas do ano

A maior concentração de nitrogênio da Cunhã em monocultivo e no consórcio, Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana durante a estação chuvosa (Tabela 4) em comparação a seca pode estar relacionada à disponibilidade de água, que favorece a atividade microbiana no solo e a eficiência da FBN, conforme observado por Camelo (2024) na Cunhã em monocultivo na Zona da Mata de Pernambuco, que encontrou maior FBN na época chuvosa (30 kg.ha^{-1}) em comparação a época seca (5 kg.ha^{-1}).

Em contrapartida, a maior concentração de nitrogênio na Cunhã cultivada em consórcio com a palma Miúda, em comparação ao monocultivo durante a época seca (Tabela 4), pode estar associado aos benefícios proporcionados pela palma no sistema consorciado. O sombreamento gerado pela palma pode reduzir o estresse térmico e a perda de água por evapotranspiração, favorecendo melhores condições edáficas. Por outro lado, a Cunhã em monocultivo, o solo pode secar mais rapidamente, o que pode comprometer a sobrevivência dos rizóbios (Yeremko et al., 2025) e o estabelecimento da simbiose, resultando na redução do número, massa e metabolismo dos nódulos (Abd-Alla et al., 2024), bem como na menor atividade da nitrogenase (Tasca et al., 2024). Consequentemente, isso pode levar à diminuição da concentração de nitrogênio na Cunhã em monocultivo.

As maiores concentrações de nitrogênio da Cunhã, em relação à Jureminha nas épocas chuvosa e seca (Tabela 4), podem estar relacionadas à estrutura das plantas. Como a Cunhã apresenta maior área foliar, comprimento e largura da folha (Capítulo II, Figura 7 A e B), ocorre maior superfície para troca gasosa e absorção de nutrientes (Manzoni et al., 2022; Donato et al., 2023), o que, possivelmente, explica a maior concentração desse nutriente nas folhas da Cunhã. Além disso, plantas com mais caule, como a Jureminha, aloca maior parte dos nutrientes para o desenvolvimento de estrutura de sustentação (Pate, Jeschke, 1995; Müller et al., 2000; Weiner, 2004) e, por conseguinte, reduz a quantidade de nutrientes disponíveis para as folhas e outros órgãos fotossintéticos.

A maior concentração de fósforo para Cunhã em monocultivo em relação à sua concentração nos seus consórcios na época chuvosa (Tabela 4), deve-se, provavelmente, à competição entre estas forrageiras por esse nutriente nessa época. Porém, independente

da época avaliado e do sistema, as concentrações de fósforos foram baixas, em que a leguminosa no consórcio Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana na época chuvosa ($1,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$) e a Jureminha em monocultivo ($1,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$) e no consórcio Jureminha + Miúda ($1,3 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$) na época seca não atende as necessidades do ovino deslanado ($1,6 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$) (BR Caprinos e & Ovinos, 2024). Como as concentrações de fósforo na palma (Tabela 3) também não atenderam as exigências em fósforo para essa categoria de ovino citada, é necessário fazer a suplementação com sal mineral.

Essa baixa concentração de fósforo nas leguminosas e palma encontradas pode estar associado possivelmente as baixas concentrações de fósforo nas formas lábeis e pouco lábeis no solo, formas comuns encontradas em solos do Semiárido (Santos et al., 2002). Severo (2023), ao avaliar dezesseis leguminosas, incluindo espécies exóticas e nativas cultivadas em diferentes estratos no Sertão Pernambucano, também encontrou baixas concentrações de fósforo, variando de $0,78$ a $3,28 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$. A autora atribuiu esses baixos conteúdos nas plantas à baixa concentração de fósforo no solo onde as leguminosas foram cultivadas. Dentre as espécies avaliadas, a Cunhã apresentou concentração de $1,59 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ MS}$, resultado inferior ao encontrado na presente pesquisa, independentemente da forma de cultivo e época de avaliação. A menor concentração de fósforo observada por Severo pode estar relacionada à idade da planta, fator que não foi informado pela autora.

A redução de cálcio na Jureminha na época seca, em relação a chuvosa, nos consórcios de Jureminha + Miúda e Jureminha + Orelha de Elefante Mexicana (Tabela 4), pode estar relacionada à dinâmica de absorção de nutrientes em condições de baixa disponibilidade de água e à competição entre as plantas, visto que, na época seca, há redução da mobilidade de cálcio no solo, em razão da baixa umidade do solo (Mu et al., 2023). No entanto, apesar dessa redução, as leguminosas em os todos os sistemas atendem as necessidades de cálcio do ovino citado ($3,8 \text{ g. kg}^{-1} \text{ MS}$) (BR Caprinos & Ovinos, 2024).

Houve redução das concentrações de enxofre da época chuvosa para a seca para Cunhã, Cunhã + Miúda, Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana, Jureminha e Jureminha + Miúda (Tabela 4), provavelmente decorrem da diminuição de umidade do solo, que por ser arenoso seca muito rápido, e como enxofre é assimilado na forma de sulfato (SO_4^{2-}), que é solúvel em água e, geralmente, se encontra em quantidades mínimas no solo (Li et al., 2020; Usmani et al., 2020; Narayan et al., 2023). Além disso, o estresse hídrico afeta diretamente os processos metabólicos das plantas, incluindo o transporte e a assimilação

de enxofre (Takahashi et al., 2011; Usmani et al., 2020), o que pode também ter contribuído para o decréscimo das concentrações de enxofre observadas.

Diante da redução das concentrações de sódio na forragem colhida na época chuvosa, em relação a colhida na seca na Cunhã, e aumento das concentrações desse elemento, na época chuvosa para seca na Jureminha nos diferentes arranjos (Tabela 5) sugere que a Cunhã seja mais eficiente na exclusão ou na regulação de íons sódio. Ou seja, essa forrageira apresenta estratégias de autoproteção, como o sequestro íons Na em vacúolos, por meio de proteínas trocadores Na/H⁺ (NHXs) (Keisham et al., 2018; Wu et al., 2018; Amin et al., 2021). Ao passo que a Jureminha não possui ou não expressa esses mecanismos com a mesma eficiência, o que permite maior acúmulo de sódio nos tecidos, durante a época seca, bem como demonstra ser mais tolerante ao estresse salino (Nufus et al., 2022).

No entanto, a Cunhã e Jureminha não supre as exigências de sódio em caprinos e ovinos em crescimento, conforme o NRC (2007), (1,6 g/kg de ganho de PC e 1,1 g Na/kg de ganho de PC, respectivamente) bem como também não atendem às exigências líquidas de 0,54 a 0,99 g/kg de ganho de g.kg⁻¹, para caprinos Saanen, com 5 a 20 kg de PC (Gomes et al, 2011); e de 0,59 a 0,65 g.kg⁻¹ de ganho de PC, em caprinos ¾ Boer x ¼ Saanen, com 20 a 35 kg de g.kg⁻¹ PV (Fernandes et al., 2012). Como a palma forrageira também apresenta baixas concentrações de sódio, mais uma vez surge a necessidade de suplementação dos animais para atender suas exigências.

A redução na concentração de boro da época chuvosa para a seca observado em todos os tratamentos com Cunhã e Jureminha (Tabela 5) pode ser explicada pela mobilidade desse elemento no solo. Segundo Bolam et al. (2023), o boro é um elemento móvel que depende da disponibilidade de água no solo para sua entrega (Khurana et al., 2022). Assim, a diminuição da umidade do solo durante a época seca provavelmente dificultou a absorção desse nutriente pelas plantas.

As reduções na época seca para concentrações de cobre e zinco (Tabela 6) nos arranjos com Cunhã também podem estar associados ao déficit hídrico, durante a época de estiagem, que reduz a disponibilidade e a mobilidade desses minerais no solo (Moreno-Jiménez et al., 2019). Por outro lado, a falta de diferenças das concentrações de cobre e zinco nos tratamentos com Jureminha, independentemente da época avaliada (Tabela 6), sugere que a Jureminha mantém seu metabolismo mais estável na seca, comparada à Cunhã. Essa estabilidade pode estar relacionada à sua capacidade de explorar solos mais profundas com seu sistema radicular bem desenvolvido.

Apesar da redução de cobre e zinco na época seca, a Cunhã, independente do arranjo consegue suprir as necessidades desses microminerais no ovino deslanado citado (BR Caprinos & Ovinos, 2024), em que para ganhar 0,150kg diariamente precisa consumir 4,6 e 28,8 mg.kg⁻¹ MS. No entanto, a Jureminha, independente da época de avaliação, chuvosa e seca, não atende as necessidades de zinco, sendo necessário a suplementação.

3.2.3 Composição mineral das leguminosas entre os anos de avaliações

O comportamento semelhante na redução nas concentrações de nitrogênio na Cunhã em monocultivo e no consórcio, Cunhã + Orelha de Elefante Mexicana em 4,8 e 3,2 g.kg⁻¹ MS, respectivamente, no segundo ano de avaliação, em relação ao primeiro (Tabela 7) indica que o padrão observado está mais relacionado à dinâmica de nutrientes no ambiente do que a possíveis competições entre as espécies pelo nitrogênio. As concentrações cálcio e enxofre também apresentaram esse mesmo comportamento, com diminuição nas concentrações de cálcio na Jureminha em monocultivo e no consórcio, Jureminha + orelha de Elefante Mexicana e redução de enxofre na Cunhã em monocultivo e consorciada com as duas espécies de palma.

Em contrapartida, o aumento das concentrações de fósforo e magnésio, independentemente do sistema de cultivo, no segundo ano de avaliação (Tabela 8), pode estar diretamente relacionado à intensificação da FBN. Esta, além de fornecer N, também melhora as condições químicas e biológicas do solo, o que promove a disponibilidade de outros nutrientes (Chellem et al., 2024; Lima et al., 2024).

Como no segundo ano as leguminosas provavelmente apresentavam sistemas radiculares mais desenvolvidos, possivelmente houve a liberação de ácidos fenólicos e aldônicos como exsudatos radiculares, que estimulam e aumentam a atividade das bactérias *Rhizobiaceae*, as quais auxiliam na solubilização do fósforo de formas menos disponíveis (Dakora, Phillips, 2002; Spohn et al., 2013; Pantigoso et al., 2023) e participam da ciclagem de magnésio, ao promover a disponibilidade da matéria orgânica e a liberação gradual de nutrientes essenciais (Gama-Rodrigues, 2011). Vale acrescentar ainda que a FBN contribui para o equilíbrio químico do solo, ao reduzir a acidificação do meio próximo às raízes e ao melhorar a absorção de nutrientes, como fosforo e magnésio (Roy et al., 2024).

Dessa maneira, apesar de haver diminuição de alguns nutrientes ao longo dos anos, como nitrogênio, cálcio e enxofre em alguns sistemas, as leguminosas são eficientes na melhoria da disponibilidade de outros nutrientes, o que promove maior eficiência no aproveitamento do fósforo.

A maior concentração de fósforo para Cunhã em monocultivo comparado aos seus consórcios com as diferentes espécies de palma forrageira, no segundo ano (Tabela 8), possivelmente ocorreu devido à ausência de competição direta por fósforo no solo. Em sistemas de consórcio, as plantas compartilham o mesmo espaço de cultivo, o que resulta em uma competição intensificada por recursos essenciais. Além disso, a palma forrageira, por ser uma espécie altamente adaptada a ambientes com restrição hídrica, possui mecanismos eficientes de absorção de nutrientes, o que provavelmente reduziu ainda mais a disponibilidade de fósforo para a Cunhã.

No monocultivo, por outro lado, a Cunhã tem acesso exclusivo ao fósforo no solo, o que favorece a absorção e o metabolismo, refletindo diretamente em uma maior concentração desse nutriente nos tecidos vegetais ao longo do tempo. Essa diferença evidencia a importância de considerar as interações entre as plantas em sistemas consorciados e a necessidade de manejos específicos para mitigar a competição por nutrientes.

A redução nas concentrações de boro, cobre e manganês na Cunhã, tanto em monocultivo, quanto em consórcio com a palma forrageira no segundo ano em comparação ao primeiro (Tabela 9), pode ser atribuída à elevada demanda conjunta desses micronutrientes em rotas metabólicas interdependentes, fundamentais para o crescimento e o desempenho fisiológico da planta. Esses elementos estão diretamente envolvidos na formação e na estabilidade estrutural das células, na ativação enzimática e na condução de processos bioquímicos essenciais, como transporte de açúcares, fotossíntese e metabolismo do nitrogênio (Xu et al., 2024).

3.2.4 Composição mineral das leguminosas: Épocas x anos de avaliações

A maior concentração de fósforo, magnésio (Tabela 10), ferro, manganês e zinco (Tabela 11) observado na época seca do primeiro ano em comparação a época chuvosa, provavelmente ocorreu devido uma limitação do crescimento vegetal durante a estação seca (Capítulo II, Tabela 11). Essa redução no crescimento tende a resultar em maior

acúmulo de nutrientes nos tecidos das plantas, já que a demanda de crescimento estrutural é menor.

No segundo ano de avaliação, observou-se comportamento oposto, com maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e enxofre (Tabela 10), bem como aumento de ferro, manganês e zinco (Tabela 11) durante a época chuvosa, pode ser explicado pelo maior desenvolvimento do sistema radicular, associado ao avanço do estabelecimento da planta na época chuvosa do segundo ano de avaliação. Com sistema radicular mais profundo e ramificado, não apenas há o aumento da absorção, mas também otimiza a integração funcional desses nutrientes, o que potencializa o metabolismo e a produtividade na época de maior atividade fisiológica, promovida pelas chuvas (Ceritoglu et al., 2020).

Porém, a redução de nitrogênio, fósforo potássio, cálcio e enxofre (Tabela 10), ferro, manganês e zinco (Tabela 11) na época seca em relação a chuvosa do segundo ano de avaliação, pode está diretamente associada a menor precipitação no segundo ano com 830,4 mm em comparação as chuvas do primeiro ano em 939,2 mm (Capítulo III, figura 1), uma vez que, quanto menor intensidade de chuva, ocorre menor solubilidade de nitrogênio, enxofre, ferro, manganês e zinco, no solo, e, conseqüente, limita assimilação desses nutrientes pelas plantas (Schönbeck et al., 2021; Weisani et al., 2021). Além disso, o fluxo transpiratório, essencial para o transporte de nutrientes como potássio, cálcio, manganês e zinco, no xilema, é significativamente reduzido em condições de estresse hídrico, o que dificulta a distribuição e a acumulação nos tecidos vegetais (Wagner et al., 2020; Zhang et al., 2020).

5.0 CONCLUSÕES

O consórcio de Cunhã e Jureminha com palma forrageira não altera a composição mineral da palma forrageira nos primeiros dois anos de cultivo.

O consórcio de palma forrageira apresenta pequenas modificações na composição mineral das leguminosas Cunhã e Jureminha nas épocas chuvosas e secas.

O consórcio de palma forrageira proporciona pequenas modificações na composição mineral das leguminosas Cunhã e Jureminha nos primeiros dois anos de avaliações, com redução de fósforo na Cunhã consorciada com as duas espécies de palma e a concentração de boro na Cunhã quando consorciada com Miúda.

A manutenção da composição mineral da palma forrageira nos sistemas consorciados com Cunhã e Jureminha ao longo dos dois primeiros anos confirma a compatibilidade dessa espécie em cultivo conjunto, sem prejuízo à qualidade mineral da forragem. Embora pequenas variações tenham sido observadas nas leguminosas, como o aumento de nitrogênio e enxofre e a redução de fósforo e boro em determinados arranjos, os efeitos não comprometem seu potencial nutricional. Esses achados sustentam a adoção de consórcios como alternativa viável para diversificação forrageira e melhoria nutricional em sistemas de produção animal de base familiar no semiárido.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABD-ALLA, M. H. et al. Enhancing rhizobium–legume symbiosis and reducing nitrogen fertilizer use are potential options for mitigating climate change. **Agriculture**, v. 13, n. 11, p. 2092, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112092>

ADAMO, A.M. et al. The role of zinc in the modulation of neuronal proliferation and apoptosis. **Neurotoxicity research**, v. 17, p. 1-14, 2010. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12640-009-9067-4>

ALVARES, C.A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meconcentraçãoologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

AMIN, I. et al. Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach. **Physiologia Plantarum**, v. 171, n. 4, p. 578-594, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1111/ppl.13185>

ARAÚJO JÚNIOR, G.N. et al. Use of intercropping and mulch to improve the water and natural resources use efficiencies of forage cactus and millet production in a semiarid region. **Field Crops Research**, v. 304, p. 109171, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109171>

ARAÚJO, C.A. **Cultivo da palma forrageira em sistemas bioassalinos: características edáficas, morfoprodutivas, nutricionais e fluxos de gases de efeito estufa**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Ciência Animal, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina – PE. 389f. 2024.

ARAÚJO, C.A. et al. Influence of cactus pear cultivation density on the physicochemical characteristics of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 232, p. 105771, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105771>

ARIF, M.; KUMAR, A.; POUROUCHOTTAMANE, R. Intercropping of maize and cowpea for enhancing productivity, profitability and land use efficiency. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 53, n. 2, p. 235-242, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3329/bjb.v53i2.74035>

- BARBOSA, V.V. et al. Análise da variabilidade climática do município de Garanhuns, Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, p.353-367, 2016.
- BATISTA, A.M.V. et al. Melhoria da palma forrageira. In: SANTOS, M.V.F.; CARVALHO, F.F.R.; FERREIRA, M.A. (eds.). **Palma forrageira: potencial e perspectivas**. Suprema Gráfica: Recife-PE. 2ª Edição. 2022.
- BOLAN, S. et al. Boron contamination and its risk management in terrestrial and aquatic environmental settings. **Science of The Total Environment**, v. 894, p. 164744, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164744>
- BOSSA, Rosanna et al. Phosphorous utilization in microalgae: physiological aspects and applied implications. **Plants**, v. 13, n. 15, p. 2127, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants13152127>
- CAMELO, D. et al. Soil carbon and nitrogen stocks in semi-arid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. In: **X International Congress on Cactus Pear and Cochineal: Cactus-the New Green Revolution in Drylands 1343**. 2022. pp. 103-108. Doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2022.1343.14>
- CAMELO, D. et al. Soil microbial activity and biomass in Semiarid agroforestry systems integrating forage cactus and tree legumes. **Agronomy**, v.11, n.8, pp. 1558, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081558>
- CAVALCANTI, F.J.A. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª edição revisada** (p. 212). Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, 2008.
- CERITOGLU, M. et al. Root system variation of pulse crops at early vegetative stage. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 48, n. 4, p. 2182-2197, 2020. Doi: <https://doi.org/10.15835/nbha48412054>
- CHELLEM, S.R. et al. Symbiotic Relationships between Nitrogen-fixing Bacteria and Leguminous Plants Ecological and Evolutionary Perspectives: A Review. **Uttar Pradesh Journal of Zoology**, v. 45, n. 13, p. 145-160, 2024. Doi: <https://doi.org/10.56557/upjz/2024/v45i134143>
- COOK, B.G. et al. **Tropical Forages: An interactive selection tool**. 2nd and Revised Edn. International Center for Tropical Agriculture (CIAT), Cali, Colombia and International Livestock Research Institute (ILRI), Nairobi, Kenya, 2020. Disponível em: <http://tropicalforages.info/text/entities/desmanthus pernambucanus.htm>. Acesso em: fev. 2025.
- DAKORA, F.D.; PHILLIPS, D.A. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. **Food security in nutrient-stressed environments: exploiting plants' genetic capabilities**, p. 201-213, 2002. Doi: https://doi.org/10.1007/978-94-017-1570-6_23
- DETMANN, E. et al. **Métodos para Análise de Alimentos**. 3. ed. Viçosa, MG: Suprema, 2023. 350 p.

DONATO, S.L.R. al. Gas exchange and leaf area requirement for yield in Cavendish and Gros Michel Bananas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, p. e-079, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1590/0100-29452023079>

FERNANDES, M.H.M.R. et al. Macromineral requirements for the maintenance and growth of Boer crossbred kids. **Journal Animal Science**. v.90, p.1-9, 2012. Doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4954>

FERRAZ, R.L.S. et al. Variations in soil water replacement levels promote changes in forage cactus mineral composition and biomass productivity. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, n. 5, p. e2537, 2020. Doi: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2537>

FIGUEIREDO, C.C. et al. Nitrogen use efficiency in an agrisilviculture system with gliricidia sepium in the Cerrado Region. **Plants**, v. 12, n. 8, p. 1647, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/plants12081647>

FUKADA, T. et al. Zinc homeostasis and signaling in health and diseases: Zinc signaling. **JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 16, p. 1123-1134, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00775-011-0797-4>

GAMA-RODRIGUES, A.C. Soil organic matter, nutrient cycling and biological dinitrogen-fixation in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 81, p. 191-193, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9372-9>

GRÜN WALDT, J.M. et al. Effect of *Prosopis* spp. as a nurse plant on nutrient content and productivity of *Opuntia ellisiana* Griffiths. GOMES, R.A. et al. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids. **Small Ruminant Research**, v. 99, p.160-165, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.04.012>

GU, D.; ANDREEV, K.; DUPRE, M.E. Major trends in population growth around the world. **China CDC weekly**, v. 3, n. 28, p. 604, 2021. Doi: <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.160>

KEISHAM, M. et al. Mechanisms of sodium transport in plants—progresses and challenges. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 3, p. 647, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms19030647>

KHURANA, M.P.S. et al. Boron in soil plant system and its significance in Indian agriculture. **Ecology, Environment and Conservation**, v. 28, n. 2, p. 946-956, 2022. Doi: <http://doi.org/10.53550/EEC.2022.v28i02.057>

KIM, S.L.; SHIN, S.; YANG, S.J. Iron homeostasis and energy metabolism in obesity. **Clinical nutrition research**, v. 11, n. 4, p. 316, 2022. Doi: <https://doi.org/10.7762/cnr.2022.11.4.316>

KRALL, R.F. et al. The function and regulation of zinc in the brain. **Neuroscience**, v. 457, p. 235-258, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2021.01.010>

LALRINSANGI, J.K. et al. Effect Intercropping with Cowpea and Maize with Organic Manure Application on the Physiological Parameters. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 36, n. 6, p. 601-615, 2024. Doi: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i64663>

LI, Q. et al. Sulfur homeostasis in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 23, p. 8926, 2020. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21238926>

LIMA, J.D. et al. Expanding agricultural potential through biological nitrogen fixation: Recent advances and diversity of diazotrophic bacteria. **Australian Journal of Crop Science**, v. 18, n. 6, p. 324-333, 2024. Doi: <https://doi.org/10.21475/ajcs.24.18.06.p4104>

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo: Piracicaba, Brasil. 201p. 1989.

MANZONI, S. et al. Consistent responses of vegetation gas exchange to elevated atmospheric CO₂ emerge from heuristic and optimization models. **Biogeosciences**, v. 19, n. 17, p. 4387-4414, 2022. Doi: <https://doi.org/10.5194/bg-19-4387-2022>

MARET, W. Zinc in cellular regulation: the nature and significance of “zinc signals”. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 11, p. 2285, 2017. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms18112285>

MARQUES, Rodrigo. 23 Physiological and health implications of trace mineral nutrition. **Journal of Animal Science**, v. 102, n. Supplement_3, p. 76-77, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skae234.085>

MAYER, J.A.; CUSHMAN, J.C. Nutritional and mineral content of prickly pear cactus: A highly water-use efficient forage, fodder and food species. **Journal of Agronomy and Crop science**, v. 205, n. 6, p. 625-634, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1111/jac.12353>

MIRANDA, K.R. **Contribuição de leguminosas arbóreas em consórcio com palma forrageira fertilizada com diferentes esterco**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 80f. 2018.

MIRIYALA, S. et al. Manganese superoxide dismutase, MnSOD and its mimics. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease**, v. 1822, n. 5, p. 794-814, 2012. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2011.12.002>

MOGOȘANU, G. D. et al. Chromatographic and phytobiological assessment of some natural boron-containing compounds. **Annals of the University of Craiova-Agriculture Montanology Cadastre Series**, v. 53, n. 2, p. 104-109, 2023. Doi: <https://doi.org/10.52846/aamc.v53i2.1511>

MOREIRA, B. et al. Intercropping systems: an opportunity for environment conservation within nut production. **Agriculture**, v. 14, n. 7, p. 1149, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture14071149>

MORENO-JIMÉNEZ, E. et al. Aridity and reduced soil micronutrient availability in global drylands. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 5, p. 371-377, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0262-x>

MOSQUEDA, H.M. et al. Intercropping forage sorghum with sunnhemp at different seeding rates to improve forage production. **Agronomy**, v. 13, n. 12, p. 3048, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy13123048>

MU, Z. et al. Chronic drought alters extractable concentrations of mineral elements in Mediterranean forest soils. **Science of The Total Environment**, v. 905, p. 167062, 2023.

MÜLLER, I.; SCHMID, B.; WEINER, J. The effect of nutrient availability on biomass allocation patterns in 27 species of herbaceous plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 3, n. 2, p. 115-127, 2000. Doi: <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00007>

NARAYAN, O.P. et al. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. **Plant Signaling & Behavior**, v. 18, n. 1, p. 2030082, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1080/15592324.2022.2030082>

NASCIMENTO, D.B. et al. Productive, Morphological and Nutritional Indicators of Cactus Pear in a Semiarid Region. **Agronomy**, v. 14, n. 10, p. 2366, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy14102366>

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. 2007, 362p.

NUFUS, C.H. et al. Tingkat Toleransi tanaman *Desmanthus virgatus* terhadap cekaman salinitas melalui teknik kultur jaringan. **Jurnal Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan**, v. 20, n.1, p.7-13, 2022. Doi: <http://dx.doi.org/10.29244/jintp.20.1.7-13>

O'SULLIVAN, J.N. Demographic delusions: World population growth is exceeding most projections and jeopardising scenarios for sustainable futures. **World**, v. 4, n. 3, p. 545-568, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/world4030034>

PANTIGOSO, H.A. et al. Root exudate-derived compounds stimulate the phosphorus solubilizing ability of bacteria. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, p. 4050, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30915-2>

PASTOR, K. et al. A screening study of elemental composition in legume (Fabaceae sp.) cultivar from Serbia: Nutrient accumulation and risk assessment. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 130, p. 106127, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106127>

PATE, J.S.; JESCHKE, W.D. Role of stems in transport, storage, and circulation of ions and metabolites by the whole plant. In: **Plant Stems**. Academic Press, 1995. p. 177-I. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-012276460-8/50010-2>

PEREIRA, G.L. et al. Boron: More than an essential element for land plants?. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 610307, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.610307>

PESSOA, D.V. et al. Nutritional value and kinetics of in vitro fermentation of spineless cactus of the genus *Nopalea* in different phenological phases. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 3, p. e20221001, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420221001>

PLATE, Peter. Iron-deficiency anaemia in calves and lambs. **Livestock**, v. 28, n. 1, p. 19-22, 2023. Doi: <https://doi.org/10.12968/live.2023.28.1.19>

RAWAL, N. et al. Fertilizer management and incorporation of legumes on performance of maize (*Zea mays* L.) in western hills of Nepal. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 14, p. 100690, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100690>

REZENDE, F.V. et al. Minerais: Fatores que interferem na biodisponibilidade de macro e microminerais para fêmeas ruminantes durante o período de gestação. **Nucleus Animalium**, v. 11, n. 2, 2019. Doi: <https://doi.org/10.3738/21751463.3660>

ROLIM, G.D.S.; SENTELHAS, P. S.; BARBIERI, V. Planilhas do ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agromeconcentraçãoologia**, v.6, p.133-137, 1998.

ROY, K. et al. Biological nitrogen fixation: Reducing the N footprints of the environment. **International Journal of Advanced Biochemistry Research**, v.8, n.4, p. 133-137, 2024. Doi: <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i4Sb.936>

SALES-SILVA, T. B. et al. The growth habits of tropical legumes affect the nutritive herbage value more than harvesting frequency. **Crop and Pasture Science**, v.1, n.1, 2023b. Doi: <https://doi.org/10.1071/CP23109>

SANTOS, D.C. **Estimativas de parâmetros genéticos em caracteres de clones de palma forrageira *Opuntia ficus-indica* Mill e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 119f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), 1992.

SANTOS, I.P.A.; PINTO J.C.; SIQUEIRA, J.O.; MORAIS A.R.; SANTOS, C.L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.605-616, 2002. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982002000300010>

SANTOS, K.L.L. et al. Balanço de macrominerais em caprinos alimentados com palma forrageira e casca de soja. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.10, p.546-559, 2009.

SCHÖNBECK, L. et al. Soil nutrient availability alters tree carbon allocation dynamics during drought. **Tree Physiology**, v. 41, n. 5, p. 697-707, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa139>

SEVERO, M.F.S. **Inter-relações do sistema solo-planta e composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) – Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Pastagens, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Garanhuns – PE. 72f. 2023.

SILVA, F.C. et al. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009.

SPEARS, J.W. Boron, chromium, manganese, and nickel in agricultural animal production. **Biological trace element research**, v. 188, n. 1, p. 35-44, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1529-1>

SPOHN, M.; ERMAK, A.; KUZYAKOV, Y. Microbial gross organic phosphorus mineralization can be stimulated by root exudates—a ^{33}P isotopic dilution study. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 65, p. 254-263, 2013. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.05.028>

SUYBENG, B. et al. Response to climate change: evaluation of methane emissions in northern Australian beef cattle on a high quality diet supplemented with *Desmanthus* using open-circuit respiration chambers and greenfeed emission monitoring systems. **Biology**, v.10, p.943, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/biology10090943>

SUYBENG, B. et al. Supplementing northern Australian beef cattle with *Desmanthus* tropical legume reduces in-vivo methane emissions. **Animal**, 10, 2097, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10112097>

TAKAHASHI, H. et al. Sulfur assimilation in photosynthetic organisms: molecular functions and regulations of transporters and assimilatory enzymes. **Annual review of plant biology**, v. 62, n. 1, p. 157-184, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103921>

TASCA, H.C. et al. Impact of nodulation efficiency and concentrations of soluble sugars and ureides on soybean water deficit during vegetative growth. **Nitrogen**, v. 5, n. 4, p. 992-1000, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/nitrogen5040063>

TASCA, H.C. et al. Impact of nodulation efficiency and concentrations of soluble sugars and ureides on soybean water deficit during vegetative growth. **Nitrogen**, v. 5, n. 4, p. 992-1000, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/nitrogen5040063>

TASKOZHINA, G. et al. The manganese–bone connection: investigating the role of manganese in bone health. **Journal of Clinical Medicine**, v. 13, n. 16, p. 4679, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/jcm13164679>

TERNOUTH, J. H.; SEVILLA, C. C. Effects of phosphorus deficiency on food intake, growth and absorption of calcium and phosphorus by lambs. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 64, n. 5, p. 221-222, 1984. Doi: <https://doi.org/10.4141/cjas84-233>

THORNTHWAITE, C.; MATHER, J. The Water Balance. New Jersey: Drexel Institute Of 508 Technology. **Publications in Climatology**, p.104, 1955.

TOKER, Pelin et al. The advantages of intercropping to improve productivity in food and forage production—a review. **Plant production science**, v. 27, n. 3, p. 155-169, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2024.2372878>

TÜFEKCI, H.; SEJIAN, V. Stress factors and their effects on productivity in sheep. **Animals**, v. 13, n. 17, p. 2769, 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani1317276>

UGWU, C. et al. PSXII-4 Intercropping perennial cereal grain crops in alternate or same row seeding method for improved forage yield and quality. **Journal of Animal Science**, v. 102, n. Supplement_3, p. 608-609, 2024. Doi: <https://doi.org/10.1093/jas/skae234.683>

WAGNER, Y. et al. The effect of soil potassium and carbohydrates on xylem conductivity and embolism in an evergreen angiosperm tree and a gymnosperm tree

before and after drought. **bioRxiv**, p. 2020.11. 11.379156, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1101/2020.11.11.379156>

WANASSI, O.K.; TORRES, D.F.M. An integral boundary fractional model to the world population growth. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 168, p. 113151, 2023. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113151>

WEINER, J. Allocation, plasticity and allometry in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 6, n. 4, p. 207-215, 2004. Doi: <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>

WEISANY, W. et al. Changes in growth and nutrient status of maize (*Zea mays* L.) in response to two zinc sources under drought stress. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 21, p. 3367-3377, 2021. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00612-y>

WU, H. Plant salt tolerance and Na⁺ sensing and transport. **The Crop Journal**, v. 6, n. 3, p. 215-225, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.01.003>

XU, E. et al. Molecular mechanisms of plant responses to copper: from deficiency to excess. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 13, p. 6993, 2024. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijms25136993>

YEREMKO, L. et al. Role of environmental factors in Legume-Rhizobium Symbiosis: A Review. **Biomolecules**, v. 15, n. 1, p. 118, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/biom15010118>

YEREMKO, L. et al. Role of environmental factors in Legume-Rhizobium Symbiosis: A Review. **Biomolecules**, v. 15, n. 1, p. 118, 2025. Doi: <https://doi.org/10.3390/biom15010118>

ZHANG, H. et al. Divergences in hydraulic conductance and anatomical traits of stems and leaves in three temperate tree species coping with drought, N addition and their interactions. **Tree Physiology**, v. 40, n. 2, p. 230-244, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpz135>

ZHOU, Jia et al. Effects of pre-mating calcium and phosphorus supplementation on reproduction efficiency of grazing Yak heifers. **Animals**, v. 11, n. 2, p. 554, 2021. Doi: <https://doi.org/10.3390/ani11020554>

ANEXO

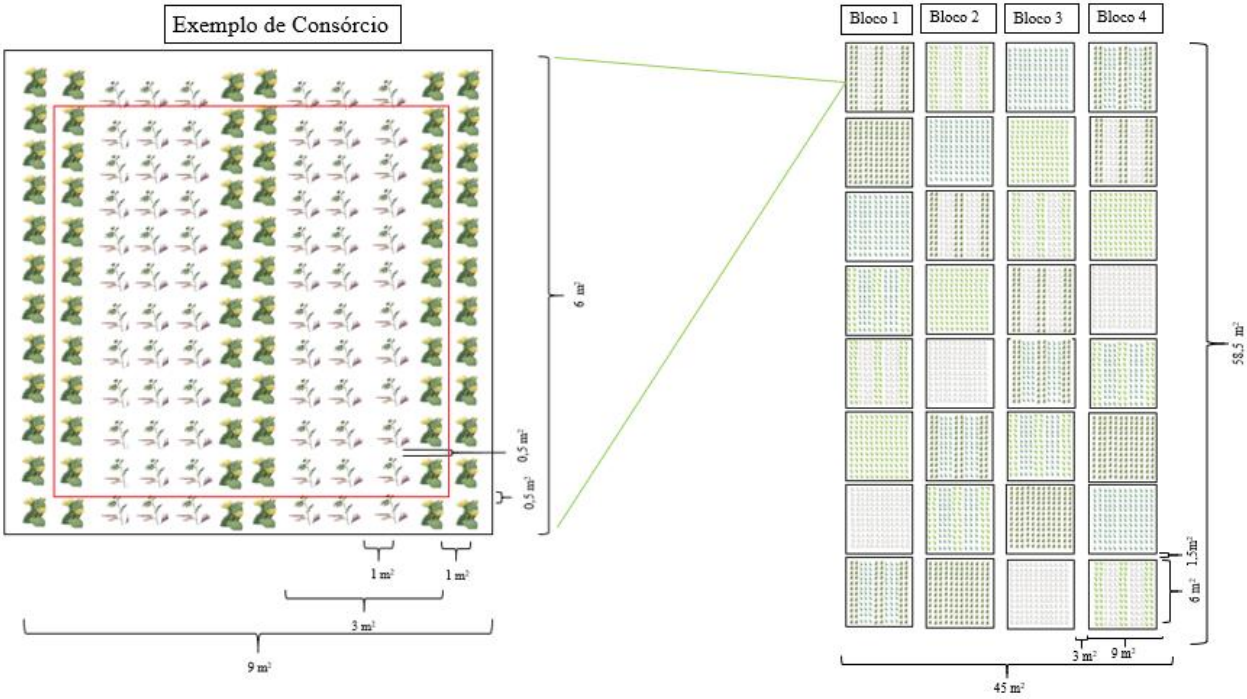


Figura 1. Representação esquemática dos tratamentos experimentais.

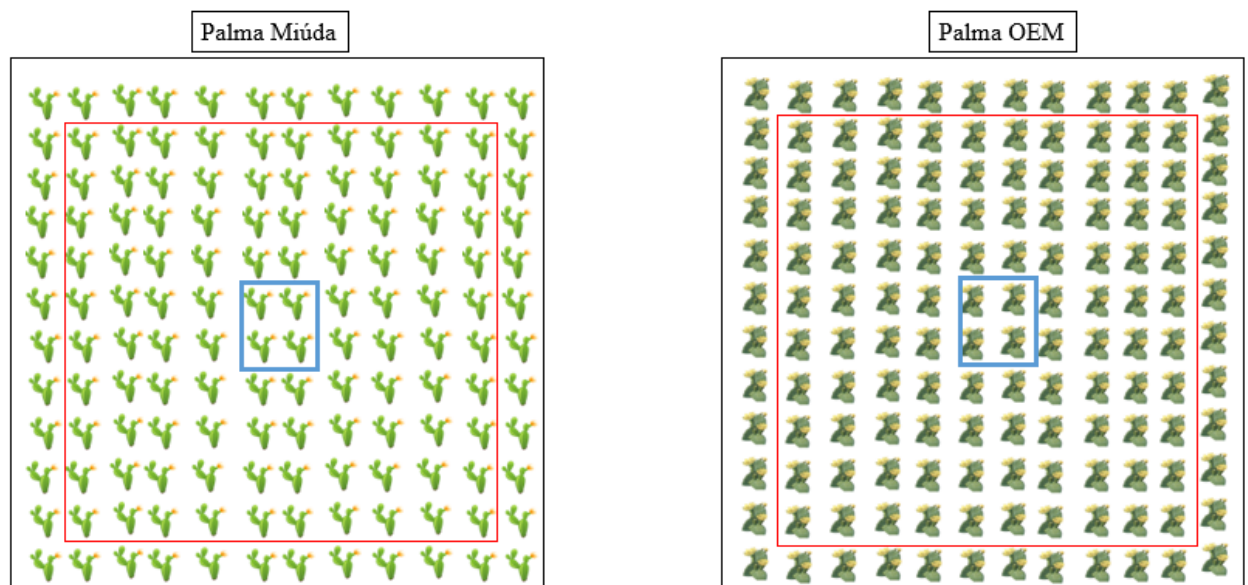


Figura 2. Representação esquemática das palmas selecionadas em sistema de monocultivo para avaliação morfológica em azul e em vermelho para produção de matéria seca.

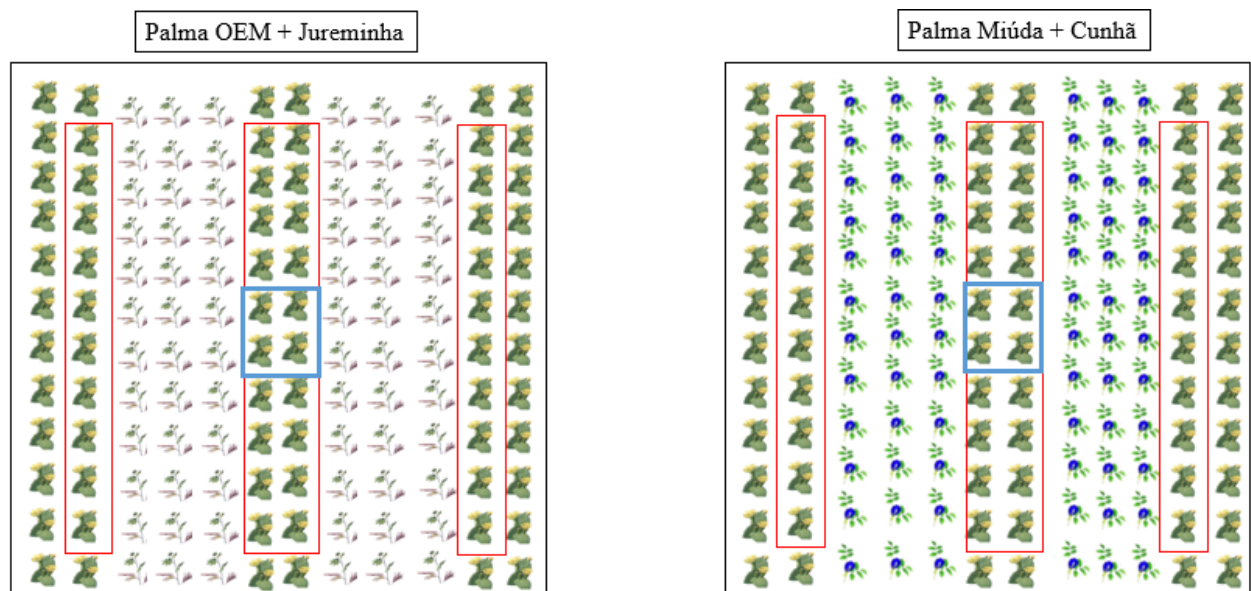


Figura 3: Representação esquemática das palmas selecionadas em sistemas consorciados para avaliação morfológica em azul e vermelho para produção de matéria seca.

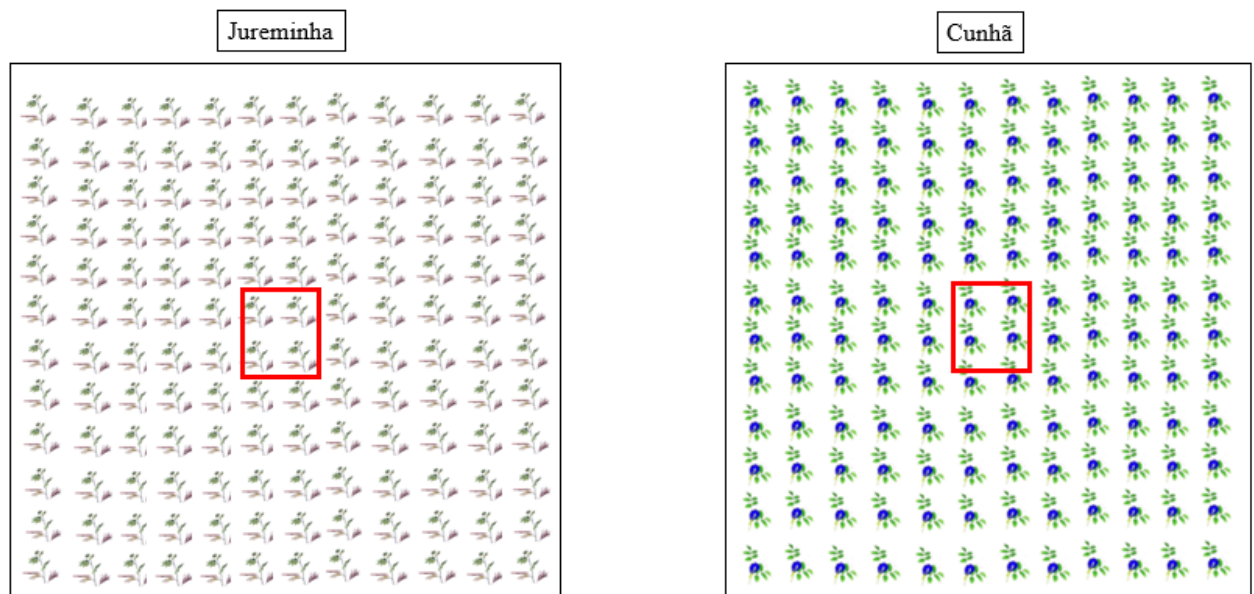


Figura 4: Representação esquemática das leguminosas selecionadas em sistema de monocultivo para avaliação morfológica e para produção de matéria seca.

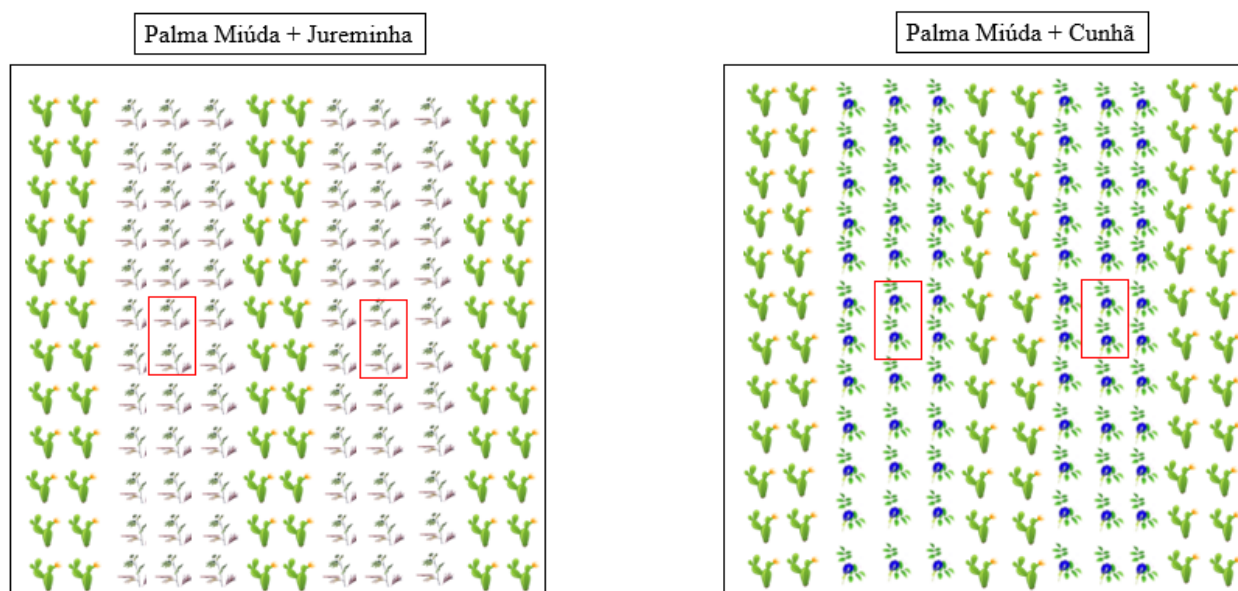


Figura 5: Representação esquemática das leguminosas selecionadas em sistemas consorciados