

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR
NA CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA**

MAÍSE NASCIMENTO MATOS

**CRUZ DAS ALMAS- BA
JULHO – 2024**

ADUBAÇÃO FOSFATADA E FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR NA CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA

Maíse Nascimento Matos
Licenciada em Educação do Campo- Ciências Agrárias
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2022

Dissertação apresentada ao Colegiado do
Programa de Pós-Graduação em Ciências
Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo
da Bahia, como requisito parcial para a obtenção
do Título de Mestre em Ciências Agrárias (Área
de Concentração: Agricultura Tropical).

Orientadora: Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega
Coorientador: Prof. Júlio César Azevedo Nóbrega
Coorientadora: Dra. Caliane da Silva Braulio

**CRUZ DAS ALMAS- BA
JULHO – 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

M433a	Matos, Maíse Nascimento. Adubação fosfatada e fungo micorrízico arbuscular na cultura da palma forrageira / Maíse Nascimento Matos. – Cruz das Almas, BA, 2024. 48f.; il. (Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias. Orientadora: Profª. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nóbrega. Coorientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega. Coorientadora: Dra. Caliane da Silva Bráulio. 1.Adubação – Fertilizantes fosfatados. 2.Plantas forrageiras – Mudas – Fungos. 3.Regões Áridas – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título. CDD: 531.8
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela Elaboração Antonio Marcos Samento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**ADUBAÇÃO FOSFATADA E FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR
NA CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Maíse Nascimento Matos
Aprovada em 17 de julho de 2024

Profa. Dra. Rafaela Simão Abrahão Nobrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Orientadora)

Profa. Dra. Jaqueline Dalla Rosa
Universidade Federal do Sul da Bahia- UFSB
(Examinadora Externa)

Prof. Dr. Fabrício Luiz Tulini
Universidade Federal do Oeste da Bahia- UFOB
(Examinador Externo)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que sempre confiaram em mim e me apoiaram para a realização de mais um sonho. Aos meus irmãos por todo afeto e apoio. A todos os meus companheiros e companheiras de Luta e Resistência. DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por sempre ter me direcionado, segurando minha mão, me dado maturidade e discernimento para enfrentar todas as dificuldades durante essa trajetória. A ele toda honra e toda glória, por não ter permitido que eu fracassasse até aqui e desistisse dos meus objetivos.

Aos meus pais Maria de Lourdes (Lurdinha) e Lourival (Louro), irmãos, Luciana, Lucas e Isabela que sempre me incentivaram nos momentos de aflição e me deram todo apoio para a realização do meu sonho, vocês são a minha base e exemplo de força e resistência, sem vocês não conseguiria chegar onde cheguei, sem dúvidas vocês são minha maior inspiração e orgulho. Gratidão pelos cuidados e orações de proteção. Estendo também meus agradecimentos a minha avó e as minhas amigas, Jaque, Perpétua, Cleide, Cibebe, Keliane e Kely, que sempre estiveram presentes em minha vida, contribuindo para esta realização. Amo vocês!

Sou muito grata a Karine, por mim acolher, compartilhar momentos e me apoiar durante esse processo, conte comigo para celebrarmos muitas outras conquistas que ainda estão por vir, para compensar os momentos de luta. Também agradeço as amigas que construir nessa caminhada, Fernanda, Maicon, Michele, Joilson, Luiz, Sandra, Ariane e demais. Obrigada por tornar meus dias mais leves e cheios de histórias pra contar, sempre lembrarei de vocês.

De modo especial, agradeço a Bantu, parceiro que a vida me apresentou, sou grata pelo companheirismo, empatia e incentivo durante essa trajetória. Sou grata por compartilhar contigo momentos ímpares, seu apoio e sua calma foi fundamental nesse processo, não apenas na formação acadêmica, ou na militância, mas na vida de modo geral.

Agradeço imensamente aos movimentos e organizações sociais que se dedicaram nessa luta para que filhas e filhos de agricultores Sem Terra tivessem a oportunidade de ocupar os espaços em universidades públicas. A toda companheirada do Assentamento Dom Mathias, estendo ainda meus agradecimentos, pois, sem eles nada disso seria possível, sou muito grata e orgulhosa por fazer parte desse coletivo que foi e sempre será tão importante na minha formação, enquanto jovem camponesa.

Agradeço a professora Dra. Rafaela S. A. Nóbrega por aceitar me orientar nessa jornada, por todos os ensinamentos e todo suporte dado. Agradeço ao professor Dr.

Júlio César A. Nóbrega por todo apoio e compreensão todas as vezes que precisei. Também agradeço muito a Dra. Caliane Braulio por toda força, afeto, todo incentivo e ajuda durante sua orientação. Aproveito para agradecer a Andreza e toda a Equipe Semiárido pela parceria e coletividade.

Não poderia deixar de agradecer a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias pelo ensino gratuito e de qualidade. Sou grata aos grupos de pesquisas aos quais sou vinculada, o Pedossistemas Biomas do Nordeste e ao Grupo de Estudos e Pesquisas, Docência, Currículo e Formação- DOCFORM, gratidão por todos os ensinamentos.

Agradeço também a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela concessão da bolsa e por ter possibilitado a minha permanência no curso.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento do projeto “Aplicação de inoculante micorrízico na produção agrícola de milho e espécies florestais” e a CAPES/FABESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia), pelo financiamento do projeto Nutrição, cultivo e potenciais biotecnológicos de Mandacaru e Palma Forrageira (Edital 04/2021 Capes/Fapesb (Acordo de Cooperação 1076/2021) dos quais este trabalho fez parte.

ADUBAÇÃO FOSFATADA E FUNGO MICORRÍZICO ARBUSCULAR NA CULTURA DA PALMA FORRAGEIRA

RESUMO

As cactáceas desempenham um papel de relevância sociocultural e econômica específico para populações de regiões semiáridas. Dentre essas, destaca-se a palma forrageira, também conhecida como palma miúda (*Opuntia cochenillifera*), que se configura como uma importante fonte de alimentação tanto para animais quanto para seres humanos. Além disso, esta planta representa uma fonte significativa de renda para os produtores. Diante disso, faz-se necessário fomentar investigações a respeito de estratégias sustentáveis de adubações para essa espécie, com a utilização de microrganismos promotores de crescimento vegetal que possibilitem o uso mais eficiente do fósforo e que promovam um manejo economicamente viável. Partiu-se da hipótese que a simbiose do fungo micorrízico em solos com baixas concentrações de fósforo (P) promovem um melhor desenvolvimento inicial das mudas da palma forrageira. Deste modo, esta pesquisa objetivou avaliar os efeitos do inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra) em diferentes doses de fósforo (P) no desenvolvimento inicial das mudas de palma doce. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, disposto em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial duplo 5x2, sendo o primeiro fator, doses de fósforo (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³) e o segundo, com e sem inoculação, contendo 8 tratamentos, com 6 repetições, totalizando 48 parcelas, sendo 1 planta por parcela. Os tratamentos foram delineados da seguinte forma: T1-SFMA (0) sem inóculo; T2-SFMA (12,5); T3-SFMA (25) e T4-SFMAI (50), a partir do tratamento T5-CFMA (0) aplicou-se o inóculo, T6-CFMA (12,5); T7-CFMA (25) e T8-CFMA (50). A inoculação com *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra) promove um impacto significativo no desenvolvimento inicial da palma forrageira, com o uso de doses de fósforo nas proporções de 35,68, 3,07 e 2,85 g dm⁻³ resultando em efeitos positivos sobre a espessura dos cladódios. Este parâmetro, essencial para a avaliação da qualidade da planta, está diretamente relacionado à sua capacidade de armazenamento hídrico. Além disso, a inoculação favorece tanto o crescimento radicular quanto o aumento da massa seca das raízes de *Opuntia cochenillifera*. Conclui-se que os resultados, além de promoverem o incremento da produtividade da cultura, também impulsionam a condução de novas pesquisas voltadas ao aprimoramento do uso da palma forrageira, com destaque na utilização de práticas fundamentadas em princípios sustentáveis. Essas investigações buscam maximizar o potencial de produtividade da espécie, ao mesmo tempo em que promovem o manejo responsável.

Palavras-chave: inoculação, *Opuntia cochenillifera*, *Rhizophagus intraradices*, semiárido

PHOSPHATE FERTILIZATION AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN FORAGE PALM CULTURE

ABSTRACT

Cacti play a specific sociocultural and economic role for populations in semiarid regions. Among these, the forage cactus, also known as the small cactus (*Opuntia cochenillifera*), stands out as an important source of food for both animals and humans. In addition, this plant represents a significant source of income for producers. Therefore, it is necessary to promote research on sustainable fertilization strategies for this species, with the use of microorganisms that promote plant growth that allow for more efficient use of phosphorus and promote economically viable management. The hypothesis was that the symbiosis of the mycorrhizal fungus in soils with low concentrations of phosphorus (P) promotes better initial development of forage cactus seedlings. Thus, this research aimed to evaluate the effects of the mycorrhizal inoculant based on *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra) at different doses of phosphorus (P) on the initial development of sweet palm seedlings. The experiment was developed in a greenhouse, arranged in a completely randomized design, with a 5x2 double factorial arrangement, the first factor being phosphorus doses (0; 12.5; 25 and 50 g dm⁻³) and the second, with and without inoculation, containing 8 treatments, with 6 replicates, totaling 48 plots, with 1 plant per plot. The treatments were designed as follows: T1-SFMA (0) without inoculum; T2-SFMA (12.5); T3-SFMA (25) and T4-SFMAI (50), from the treatment T5-CFMA (0) the inoculum was applied, T6-CFMA (12.5); T7-CFMA (25) and T8-CFMA (50). Inoculation with *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra) significantly impacts the initial development of forage cactus, with the use of phosphorus doses in the proportions of 35.68, 3.07, and 2.85 g dm⁻³ resulting in positive effects on cladode thickness. This parameter, essential for evaluating plant quality, is directly related to its water storage capacity. In addition, inoculation favors both root growth and increased dry mass of *Opuntia cochenillifera* roots. It is concluded that the results, in addition to promoting increased crop productivity, also encourage new research aimed at improving the use of forage cactus, with an emphasis on the use of practices based on sustainable principles. These investigations seek to maximize the productivity potential of the species, while promoting responsible management.

Key-words: inoculation, *Opuntia cochenillifera*, *Rhizophagus intraradices*, semiarid

LISTA DE ABREVIATURAS

ALT- Altura das plantas.....	27
ALTLC- Altura por largura.....	27
ASA- Articulação Semiárido Brasileiro.....	14
CC- Comprimento de cladódios.....	27
CR- Comprimento de raiz.....	27
CTC- Capacidade de troca catiônica.....	25
DM- Determinação de colonização micorrízica.....	27
EC- Espessura de cladódios.....	27
FAO- Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.....	20
FMA- Fungo Micorrízico Arbuscular.....	13
ICM- Intensidade de colonização micorrízica.....	27
LC- Largura média de cladódios.....	27
LCCC- Largura por comprimento.....	27
LCEC- Largura de cladódio por espessura de cladódio.....	27
MMA- Ministério do Meio Ambiente.....	14
MOS- Matéria Orgânica do solo.....	21
MSPA- Massa seca da parte aérea.....	27
MSR- Massa seca de raiz.....	27
MST- Massa seca total	27
NC- Número de cladódios.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância para os valores de altura plantas (ALT), espessura de cladódio, (EC), largura de cladódios (LC), número de cladódios (NC), comprimento de cladódios (CC), largura por espessura, comprimento de raiz (CR), (LC/EC), largura por comprimento (LC/CC), relação altura por largura (ALT/LC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST), em mudas de palma doce (*Opuntia cochenillifera*) cultivada durante 220 dias em casa de vegetação, adubadas com diferentes doses de fósforo, na ausência e presença de inoculação por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).....31

Tabela 2 – Efeito do fungo micorrízico na relação largura de cladódio por comprimento de cladódio (LCCC) e na determinação de colonização micorrízica (DCM).....32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espécie de mandacaru (A) e de palma forrageira (B).....	17
Figura 2 – Frutos da palma forrageira.....	19
Figura 3 – Temperatura e umidade da casa de vegetação.....	28
Figura 4 – Espessura de cladódio (EC) de mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação, aos 220 dias, em função de doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm ⁻³)	34
Figura 5 – Efeito individual da variável número de cladódios (NC), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação, aos 220 dias em função das doses de P (0; 12,5; 25 e; 50 g dm ⁻³)	35
Figura 6 – Efeito individual de massa seca de raiz (MSR), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação em função e ausência (SM) das doses de fósforo (0; 12,5; 25 e 50 g dm ⁻³)	36
Figura 7 – Efeito individual da variável largura de cladódio por espessura de cladódio (LCEC), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação, em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 mg dm ⁻³)	37
Figura 8 – Desdobramento da interação do comprimento de raiz (CR), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação em função da presença (CM) e ausência (SM) de FMA e doses de fósforo (0; 12,5; 25 e 50 g dm ⁻³)	38
Figura 9 – Desdobramento da interação da altura de planta por largura de cladódio (ALTLC) com (CM) e sem fungo (SM), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm ⁻³)	39
Figura 10 – Desdobramento da interação da intensidade de colonização micorrízica (ICM) na presença (CM) e ausência do fungo (SM), em mudas de <i>Opuntia cochenillifera</i> cultivada em casa de vegetação, em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm ⁻³)	40

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	14
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Características e desafios do Semiárido brasileiro.....	16
2.2	Importância tecnológica e científica das cactáceas.....	18
2.3	Influência da adubação fosfatada no ciclo de vida das plantas.....	22
2.4	Fungos micorrízicos: mecanismos de simbiose e trocas nutricionais.....	24
3.0	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1	Local do experimento e caracterização do solo.....	27
3.2	Delineamento experimental.....	27
3.3	Condução do experimento e variáveis analisadas.....	28
3.4	Variáveis avaliadas.....	29
3.5	Análises estatísticas.....	30
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1	Efeito da inoculação com FMA.....	32
4.2	Efeito das doses de fósforo aplicadas.....	33
4.3	Interação de doses de fósforo e FMA.....	37
5.0	CONCLUSÕES.....	41
6.0	REFERÊNCIAS.....	42
	ANEXOS.....	46

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior biodiversidade global e é o terceiro maior país em variedade de cactáceas, especialmente em regiões semiáridas. Entre elas, destaca-se a *Opuntia cochenillifera*, conhecida como palma forrageira, que desempenha um papel significativo tanto sociocultural quanto econômico para agricultores, especialmente durante períodos prolongados de seca. Esta planta é reconhecida como uma importante alternativa para garantir a segurança alimentar e nutricional de humanos e animais (ARAÚJO et al., 2023).

As cactáceas também possuem propriedades medicinais, nas quais são utilizadas com base nos saberes tradicionais e populares, mas, também atreladas aos conhecimentos científicos, podendo ser utilizadas no tratamento ou na cura de doenças respiratórias, inflamatórias e até cardíacas. Também desempenham um papel considerável na introdução alimentar humana, sendo incorporadas em diversas receitas, como o caruru, cortados, doces e geleias, entre outros pratos. A palma apresenta um potencial significativo para se tornar economicamente viável (MOTAA et al., 2019; EL-AALAOUI e SBAGHI, 2023).

Diante disso, é essencial promover pesquisas científicas e tecnológicas para impulsionar a produção agrícola, buscando alcançar uma segurança alimentar e nutricional mais eficaz. Deve-se levar em consideração o compromisso de respeito aos limites e à otimização da vegetação nativa local (ALBUQUERQUE et al., 2019).

A implementação de métodos de manejo aprimorados e o uso de tecnologias acessíveis podem contribuir para melhorar tanto a produção quanto a qualidade das palmas, tornando-as fontes mais eficientes de alimento. Essa abordagem pode beneficiar os produtores, promovendo o desenvolvimento sustentável e a resiliência das comunidades que dependem desses recursos (TOIT et al., 2018).

É essencial estabelecer um planejamento estratégico para expandir os esforços de manejo e cultivo da palma. Nesse sentido, a aplicação de tecnologias, como a fertilização fosfatada, pode ser crucial para aumentar a biomassa da espécie e melhorar a rentabilidade do sistema de produção. A utilização de fertilizantes fosfatados pode promover um aumento significativo na produtividade e na qualidade das plantas, possibilitando um maior retorno econômico. Além do mais, é importante

considerar práticas de manejo sustentáveis que minimizem os impactos ambientais e promovam a conservação dos recursos naturais a longo prazo.

O desenvolvimento da cultura da palma pode ser associado à fertilização fosfatada e a utilização de bioestimulantes, destacando-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Esses fungos desempenham papel primordial no crescimento vegetal, pois estabelecem simbiose mutualística com as raízes das plantas, melhorando a absorção de nutrientes, especialmente o fósforo, através da extensão do sistema radicular das plantas. Além disso, os FMAs auxiliam na redução da dependência de insumos químicos, promovendo práticas agrícolas mais sustentáveis. Assim, a utilização desses fungos como bioestimulantes pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade e da qualidade das plantas em situações que se priorize menor utilização dos insumos fosfatados (TUN-SUÁREZ et al., 2023).

Informações relacionadas ao uso e benefícios da cultura da palma ainda são limitadas, por isso, destaca-se a necessidade de incentivar pesquisas de valor científico nesse campo. Para otimizar o uso dessas plantas, os investimentos em pesquisa são essenciais para ampliar o conhecimento sobre o cultivo da palma e explorar todo o seu potencial. Essas pesquisas podem contribuir significativamente para identificar novas técnicas de manejo, entender melhor as interações entre a planta e o ambiente, desenvolver variedades mais resistentes e adaptadas, além de explorar novas aplicações para a palma. Sendo assim, o avanço do conhecimento científico pode agregar valor à produção, possibilitando um melhor aproveitamento da cultura e promovendo o desenvolvimento sustentável das comunidades agrícolas do Semiárido.

Diante disso, apresenta-se como hipótese que a simbiose de fungo micorrízico promove melhor desenvolvimento inicial das mudas de palma forrageira, em solos com baixa concentração de fósforo. Por isso, este estudo objetivou avaliar os efeitos do inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR) em diferentes doses de fósforo (P) no desenvolvimento inicial das mudas de *Opuntia cochenillifera* (palma doce).

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características e desafios do Semiárido brasileiro

A região do semiárido é caracterizada por uma significativa concentração de recursos territoriais e hídricos em relação a uma proporção reduzida da população residente. Historicamente, esses territórios têm sido estigmatizados como áreas de atraso e privação econômica. Tal estigma tem sido associado de forma predominante às peculiaridades ambientais do bioma, negligenciando-se os problemas sociais e econômicos decorrentes das políticas e modelos de desenvolvimento rural prevalentes tanto no contexto nacional brasileiro quanto no âmbito regional nordestino (Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, s/d; GONÇALVES, 2018).

A conexão com o semiárido brasileiro requer pensar novas técnicas de produzir alimentos, assim como traçar estratégias de manejo que se adequem às condições do meio e as características dos biomas de origem, neste caso especificamente, a Caatinga. De acordo com Silva et al. (2018) isso passa por considerar as potencialidades naturais na utilização dos recursos naturais existentes nos agroecossistemas e no local, bem como, a criação de métodos de manejo propícios ao ambiente, desenvolvidos pelas próprias comunidades locais.

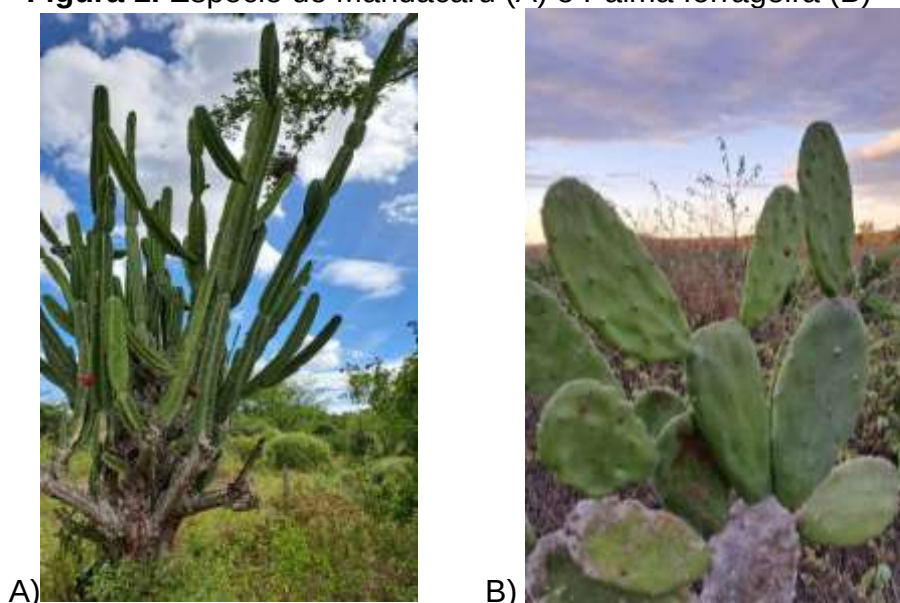
Este bioma compreende em uma extensa região do Nordeste brasileiro, na qual ocupa uma área de cerca de 862.818 km², correspondente a 10,1% do território nacional. A mesma possui uma grande biodiversidade, principalmente em relação às espécies nativas da fauna e da flora que por sua vez tem grande utilidade na vida dos povos camponeses, sobretudo dos sertanejos (MMA, 2022).

A Caatinga apresenta uma diversidade ambiental e biológica singular, não observada em nenhum outro bioma, visto que é exclusivamente brasileira, sua vegetação exibe características particulares, adaptadas às condições específicas desse bioma. Este, por sua vez, se caracteriza, em sua maioria, por um clima quente e semiárido, marcado por períodos prolongados de estiagem ao longo do ano e uma média anual de precipitação entre 500 e 800 mm (BAHIA, 2017).

De acordo com Kill (2021), a vegetação presente na Caatinga é descrita como uma forma de floresta de altura reduzida, composta por árvores com ramificações. Muitas das espécies vegetais dessa região exibem características adaptativas específicas, tais como presença de espinhos, folhas de pequenas dimensões e finas,

cutículas impermeáveis, queda das folhas durante a estação seca, habilidade de armazenamento de água nas raízes e caules, bem como adaptações fisiológicas para enfrentar as condições climáticas adversas, exemplificadas pelo fechamento dos estômatos nos períodos de maior calor diurno. Outra característica relevante é a presença de suculência em certas espécies vegetais, particularmente em plantas como os cactos e as bromélias, que se destacam como formas de vida bem-sucedidas nesse ambiente desafiador (Figura 1).

Figura 1. Espécie de Mandacaru (A) e Palma forrageira (B)



Fonte: Arquivo pessoal, 2023

Dentre essas espécies destaca-se as cactáceas que são bastante utilizadas nas regiões semiáridas, a exemplo do mandacaru (*Cereus jamacaru*) e da palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), que é consumida na alimentação de animais ruminantes e herbívoros principalmente nos períodos de estiagem, o mesmo também é aproveitado para paisagismo e apresenta elementos importantes no âmbito cultural, ambiental e econômico nessas regiões (DANTAS e OLIVEIRA, 2019).

2.2 Importância tecnológica e científica das cactáceas

As cactáceas evidenciam uma relevância sociocultural e econômica notável na região Semiárida, pois, além de serem símbolos de resistência que inspiram canções, poesias e outras expressões artísticas, essas plantas representam uma alternativa

substantial para a geração de renda das famílias camponesas (NÓBREGA et al., 2021).

De acordo com Neto (2018), o Brasil é o terceiro maior centro de diversidade de cactáceas no âmbito global, possuindo cerca de 200 espécies, com aproximadamente 37 gêneros, sendo estas, espécies rasteiras e arbóreas, tanto perenes quanto suculentas.

Nos últimos tempos, tem-se buscado estratégias de viabilização da Segurança Alimentar e Nutricional no mundo inteiro, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas, como uma maneira de minimizar os impactos da fome, a exemplo do beneficiamento das cactáceas. Sendo que, as mesmas podem ser utilizadas na produção de geleias, doces, “*in natura*”, biscoitos, cerveja, entre outros, além disso, são importantes aliadas na alimentação animal e humana, e ainda possui propriedades medicinais (DA-SILVA et al., 2022; SOARES et al., 2021).

O aproveitamento de espécies vegetais subutilizadas, tais como o mandacaru e a palma, se torna essencial, para assegurar o fornecimento de alimentos tanto em quantidade, quanto em qualidade adequada, tendo em vista que os alimentos de origem vegetal são vastamente reconhecidos como fontes de nutrientes e compostos bioativos indispensáveis para o cuidado com a saúde (ARAÚJO et al., 2021).

Uma espécie importante para o semiárido é a *Opuntia cochenillifera* (palma doce ou palma miúda), por ser uma espécie que consegue se adaptar na escassez de recursos hídricos nos períodos de seca, como também consegue absorver os nutrientes necessários disponíveis no solo, devido à sua capacidade de armazenamento de água e absorção de CO₂ atmosférico durante a noite (LAHBOUKI et al., 2022).

A palma forrageira (Figura 2) é caracterizada por sua composição suculenta, que oferece uma significativa fonte de energia, composta por carboidratos não fibrosos, a qual é empregada tanto na alimentação animal quanto na humana. No México, onde é tradicionalmente cultivada há muitos anos, a palma doce é amplamente consumida na culinária, principalmente em pratos que incorporam seus frutos e no Brasil, medidas têm sido implementadas para promover sua inclusão na alimentação humana, com o objetivo de aprimorar a segurança alimentar e nutricional da população (ARAÚJO et al., 2023).

Figura 2. Frutos de Palma forrageira



Fonte: Arquivo pessoal, 2023

De acordo com Pessoa et al. (2022) essa forrageira é rica em vitamina, possui uma razoável fonte de ferro e considerável valor nutritivo. Com isso, a mesma é utilizada em uma vasta diversidade de receitas culinárias, tais como: pizzas, omelete, croquete, bolinhos, polenta, tortas, refogados, farofa, panqueca, empadas, caruru, suflê, moquecas, dentre tantas outras. Deste modo, a exploração comercial dessas plantas pode ser promovida, contribuindo para o aumento da renda.

Outra característica marcante dessa planta é a sua importância na alimentação animal, pois, trata-se da complementação alimentar, além da vegetação nativa, principalmente nos períodos mais secos do ano. Com isso, essa alternativa, busca alimentar o rebanho o ano inteiro, tendo em vista que o volume de chuva é concentrado em curtos períodos de tempo e a palma exige pouco recurso hídrico para sua sobrevivência (MACEDO et al., 2022).

Introduzir a palma na alimentação animal tem sido um método com eficiência considerável de convivência com o semiárido nos períodos de estiagem. Vale salientar que a palma, concentra um grande volume de água em sua composição, com isso, além de fornecer alimento, a mesma reduz a demanda de água pelos animais para a hidratação (LIRA, 2017).

A cultura da palma forrageira também tem sido útil na produção de energia, devido a sua composição, pois, a mesma possui uma quantidade significativa de matéria orgânica, que se converte em uma fonte de biomassa efetiva na para a produção de biogás. Deste modo, analisa-se que essas plantas podem ser oportunas

para a gestão ambiental, na reabilitação de áreas degradadas, bem como nas alterações climáticas, visualizando a utilização das mesmas como uma maneira alternativa de minimizar os fluxos de calor e também por conta da sua tolerância à baixa disponibilidade de água. Perante os dados positivos relacionados a produtividade da palma, em diferentes condições de ambiente e de manejo, idealiza-se que esses resultados sejam objetos de estudos futuros na produção de bioetanol e biogás (NEUPANE et al., 2021; JARDIM, et al., 2023).

Apesar das cactáceas apresentarem uma boa adaptação em ambientes com pouca disponibilidade de água, observa-se que as mesmas necessitam de uma boa fonte de adubação para o seu desenvolvimento, a exemplo da adubação orgânica, pois, a mesma tem um papel fundamental no fornecimento de nutrientes essenciais como o potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P) (SEMINARIO-PEÑA et al., 2023). Para comprovar essa afirmativa, os autores testaram diferentes doses de adubação orgânica e o tratamento controle, e como resultado obteve-se que a utilização de adubos orgânicos otimizou as características fisiológicas e morfométricas das mudas das plantas em comparação a testemunha com substrato natural.

As forrageiras podem ser introduzidas no sistema agropecuário de diversas formas, uma delas é na modalidade de consócio com outras plantas, dentre elas as leguminosas. Assim, aumenta-se a disponibilidade de nitrogênio para as plantas, já que são culturas que demandam esse nutriente essencial para o seu desenvolvimento, desde a raiz até os frutos. Diante disso, aponta-se a necessidade de investimentos científicos e tecnológicos por parte dos governantes para alavancar os sistemas integrados (SARAIVA et al., 2022).

Em estudo realizado com irrigação com água salina em quatro concentrações (0, 370, 520 e 700 mm) e adubação com diferentes doses de esterco (0, 15, 30 e 45 t ha⁻¹) em área de cultivo de palma forrageira, o início das avaliações foi a partir de 12 meses, onde foi realizado o corte para homogeneização das plantas e aplicação dos tratamentos mencionados. As lâminas de água utilizadas não interferiram nos parâmetros avaliados, já a adubação com esterco caprino elevou o teor de carbono no solo e a respiração microbiana, no entanto, diminuiu a colonização das raízes de palma por fungo micorrízico arbuscular (FMA). A variação do número de esporos se deu entre 15,3 a 11,7 em 50 g de solo, proporcional a 0,3 a 0,2 de esporos por grama de solo (MACEDO et al., 2022).

De modo semelhante, foram realizados estudos para testar a aplicação de bioestimulantes sob déficit hídrico, introduzidos após o quarto mês de plantio. Os tratamentos adicionados foram os seguintes: déficit hídrico severo (DHS) 15% da capacidade de campo (CC), moderadamente regado (MD) 30% e bem regado (BR), 50% de capacidade de campo. Os resultados mostraram que a colonização micorrízica foi afetada negativamente sob condições extremas de seca, resultado semelhante a outros estudos realizados com a cultura do milho. A utilização de FMA associado ao vermicomposto aumentou consideravelmente a colonização micorrízica radicular, assim como amenizou o efeito negativo do estresse hídrico, desenvolvendo a área externa e as características fisiológicas da planta, a exemplo do teor total de clorofila e prolina (LAHBOUKI et al. (2022).

Lima et al. (2023) avaliaram as características agronômicas e minerais de diferentes variedades de palma forrageira manejadas sob adubação fosfatada, num período de 2 anos após o plantio. As doses avaliadas foram (0, 30, 60 e 90 kg de P ha⁻¹ano⁻¹), com isso, constataram que a utilização da adubação fosfatada durante o estudo promoveu alterações relevantes nas características agronômicas das variedades de palma forrageira, sobretudo no aumento de cladódios e produtividade, como também na massa verde. Para a cultivar Mexicana, obteve-se resposta positiva na dosagem máxima 90 kg ha⁻¹ de P, já para a cultivar Little Sweet o melhor resultado foi observado na dose de 64,09 kg ha⁻¹ de P.

Em um estudo para avaliar a composição química bromatológica da palma doce adensada, Lemos et al. (2023) testaram diferentes doses de adubação orgânica (0, 10, 20, 30 e 40 t de MO ha⁻¹ ano, utilizando esterco bovino e de aves) e de adubação química o (0, 120, 240 e 360 kg de N ha⁻¹ ano, utilizando ureia), durante 11 meses. Os tratamentos com adubação orgânica de cama aviária, apontaram resultados significativos para as variáveis estudadas em comparação ao esterco bovino e adubação química. Observou-se que a palma forrageira, devido ao seu metabolismo fotossintético e sua adaptação ao semiárido, pode se desenvolver de maneira mais lenta em condições naturais, já em condições irrigadas e com o fornecimento nutricional ideal, a mesma pode apresentar um bom potencial produtivo.

O bom rendimento dessa planta também está relacionado com as questões climáticas da região, com temperaturas que oscila entre 23 °C e 28 °C, com capacidade de variação de + ou – 10 °C, e também a umidade relativa do ar acima de 40%. As condições de temperatura desempenham uma função importante no

crescimento das cactáceas, influenciando na formação de cladódios e frutos. Acredita-se que as temperaturas mais altas ($> 30/20$ °C dia/noite) favorecem maior produção de cladódios novos comparado aos frutos, enquanto temperaturas mais baixas ($< 20/15$ °C dia/noite), podem não resultar em novos brotamentos (FAO, 2017).

A colheita da palma é uma etapa crucial do seu cultivo, porém, esse processo é marcado por um ciclo longo e um desenvolvimento gradual ao decorrer do tempo. Geralmente, a colheita é realizada após cerca de 1,5 a 2 anos, ou até mais, dependendo das condições do solo e do clima. Com um manejo apropriado, no entanto, o corte pode ser antecipado e feito entre 12 e 15 meses após o plantio (LOPES et al., 2012).

Perante o exposto, percebe-se a importância da preservação e valorização dessas espécies do bioma Caatinga. Além do mais, torna-se necessário potencializar estratégias de manejo para assegurar boas condições para o desenvolvimento dessas plantas e consequentemente o surgimento de novas pesquisas atrelada ao uso das mesmas.

2.3 Influência da adubação fosfatada no ciclo de vida das plantas

O fósforo é um macronutriente crucial para as plantas, sendo necessário para completar seu ciclo de vida. No solo, o fósforo tem origem nas rochas-matrizes e é considerado uma fonte não renovável, no entanto, nem sempre encontra-se prontamente disponível para as plantas. Para que isso ocorra, é necessário que o fósforo na solução do solo esteja na forma de ânions fosfato, permitindo assim então sua reação com os cátions (KHATOUNIAN, 2021).

Estudos revelam que o fósforo pode ser adsorvido pelos minerais de argila e pelos óxidos de ferro (Fe) ou alumínio (Al), especialmente em solos ácidos. Isso resulta na precipitação de fósforo junto com íons Al, Fe ou Ca, formando complexos de estrutura Fe-/Al-/Ca. Em solos ácidos e alcalinos, os fosfatos destinam-se a fixar 70-90% do fósforo adicionado por meio de fertilizantes fosfatados ou de insumos mineralizáveis, o que reduz a quantidade de fósforo disponível para as plantas (MABAGALA e MNG'ONG'O, 2022).

Com o passar dos anos tem-se notado o aumento da necessidade de fertilizantes no Brasil, sobretudo do fósforo, para ampliar a produção e expandir a agricultura, tendo em vista que boa parte dos solos são fortemente fixadores de P.

Diante disso, grandes concentrações de fertilizantes fosfatados são aplicadas frequentemente para superar a imobilização de P inorgânico que acontece em solos intemperizados, ricos em ferro (Fe) e alumínio (Al) (WITHERS et al., 2018).

Este macronutriente é altamente exigido pelas culturas agrícolas, pois, o mesmo é responsável pela transferência de energia para as plantas, sendo ele o mineral mais necessário para o crescimento radicular, reprodução vegetal, produção de sementes e também na qualidade dos frutos. Sendo assim, a finalidade do P não é substituída por outros elementos, pois, o uso deste é essencial para o desenvolvimento das plantas em seu ciclo de vida (PRIMAVESI, 2018; TUN-SUÁREZ et al., 2023).

As concentrações de fósforo na solução do solo na maioria das vezes são baixas, as perdas por lixiviação são pouco significativas na escala de tempo agrícola, sendo, o meio mais considerável de perda de P a erosão do solo, onde o P está agregado ao material característico, de modo que o controle da erosão e métodos de manejo no solo sejam as principais medidas para evitar ou minimizar as perdas de fósforo (KHATOUNIAN, 2021).

Mencionam-se que os processos de modificação do fósforo (P) no solo incluem não apenas a fixação às partículas de argilas e óxidos de Fe e Al no solo por mecanismos químicos, mas também, a solubilização da fração de transição, a mineralização e imobilização biológica mediadas pelos microrganismos. Deste modo, considera-se que os microrganismos desempenham um papel fundamental desde as transformações do fósforo no solo ou na zona radicular até a absorção e translocação na planta (FRACETTO et al., 2023).

A disponibilidade de fósforo (P) para as plantas também é influenciada pela presença de matéria orgânica (MOS). Essa MOS pode ser incorporada ao solo por meio de adubação verde, compostagem ou aplicação de esterco. Nesse sentido, diversos microrganismos, como bactérias, actinomicetos, fungos e protozoários, possuem a capacidade de hidrolisar o P de muitos compostos orgânicos através da produção de fosfatases. A atividade dessas enzimas pode servir como um indicador da transformação da matéria orgânica, propiciando a determinação da relação entre a cinética da fosfatase e a taxa de decomposição (PRIMAVESI, 2016).

Nesse contexto, a matéria orgânica do solo exerce principalmente o papel de estimular e sustentar a vida microbiana do solo, em vez de apenas enriquecê-lo com nutrientes minerais. Com isso, o desenvolvimento das culturas agrícolas não depende

apenas dos atributos minerais contidos na MOS adicionada ao solo, como também, do efeito da MOS na saúde e na atividade biológica do solo. O fósforo pode estar diretamente atrelado à MOS e sua disponibilidade ser influenciada pelas diferentes formas de P presentes no solo, além de outros fatores biogeoquímicos e ambientais, como a umidade do solo, quantidade de MOS e teor de argila (YANGA et al., 2018).

As manifestações de deficiência de fósforo podem ser notadas pela redução no crescimento das plantas. Normalmente, as plantas acometidas apresentam tamanho menor, com folhas pequenas, eretas e de cor verde-escura. Além do mais, culturas que sofrem com a carência de fósforo tendem a amadurecer tardiamente e podem prolongar o período de crescimento (PRIMAVESI, 2018).

Conforme Mabagala e Mng'ong'o (2022), a prática de incorporar materiais orgânicos ao solo não apenas propicia a disponibilização de nutrientes, como também melhora as condições físicas do solo. Como efeito, isso pode resultar na redução da fixação de fosfatos e no aumento da eficiência da utilização do fósforo pelo sistema radicular das plantas.

Wang et al. (2022) alertam sobre os cuidados com a adubação fosfatada, levando em consideração que os mesmos de maneira excessiva são aplicados anualmente nos solos e a introdução do P muitas vezes é maior do que sua demanda, de modo que pode ocasionar em contaminação dos sistemas aquáticos e águas subterrâneas, se ocorrer o processo de lixiviação do P aplicado.

Lima et al. (2023) observam que a utilização de fertilização fosfatada de maneira adequada se faz necessária no cultivo das cactáceas, pois, essa técnica promove transformações fundamentais nas características agrônômicas dessas espécies, principalmente no aumento de brotamentos e produtividade.

2.4 Fungos micorrízicos: mecanismos de simbiose e trocas nutricionais

É constatado que as micorrizas são associações mutualísticas entre fungos e raízes. Nessa simbiose, ocorre uma troca de nutrientes entre os organismos envolvidos, resultando em benefícios mútuos, nos quais ambos os simbiontes são favorecidos. Este mecanismo desempenham um papel primordial em solos que apresentam baixa fertilidade (JÚNIOR et al., 2022).

De acordo com Kebede et al. (2023), apesar do desempenho favorável das cactáceas em áreas semiáridas, essas plantas enfrentam desafios significativos,

especialmente durante o estágio inicial de desenvolvimento. Nesse sentido, a interação entre as plantas e os fungos micorrízicos pode desempenhar papel crucial na promoção da resistência das plantas ao estresse hídrico e na absorção de nutrientes essenciais para as espécies vegetais.

A utilização dos fungos micorrízicos arbusculares como bioestimulantes é considerada uma estratégia de prática na agricultura sustentável, com o intuito de otimizar a disponibilidade de nutrientes, como por exemplo o fósforo, e consequentemente reduzir os impactos ambientais associados à fertilização química em excesso e diminuir os custos de produção (SAN e SHAHRAJABIAN, 2023).

O estresse hídrico nas regiões áridas e semiáridas, impactam de forma negativa no desenvolvimento fisiológico das plantas, até mesmo, nas cactáceas que são espécies adaptadas a essas condições. Com isso, a utilização de microrganismos promotores de crescimento vegetal, os FMA, torna-se uma alternativa para diminuir esses danos e elevar a resistência das plantas às condições de estiagem, pois, os mesmos possuem estruturas chamadas hifas que favorecem a expansão do volume das raízes, como também, da área de exploração no solo, contribuindo na absorção de água e nutrientes (LAHBOUKI et al., 2022).

Esses fungos também possuem uma característica essencial para as culturas agrícolas, uma vez que as micorrizas demonstram um alto potencial de absorção de fósforo (P). Além do mais, contribuem significativamente para a diminuição da dependência de insumos químicos, especialmente fertilizantes, enquanto ampliam a produção vegetal em solos empobrecidos. Ademais, auxiliam a recuperação de áreas degradadas e solos contaminados (TUN-SUÁREZ et al., 2023).

Com base em estudos realizados recentemente por Kebede et al., (2023), foi constatado que a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares apresentou efeito significativo na resistência das plantas ao estresse hídrico e na manutenção da produtividade. Observou-se que as plantas colonizadas pelos FMA demonstraram maior tolerância ao estresse hídrico, comparado as plantas não colonizadas.

Conforme Macedo et al. (2022) a associação mutualística entre FMA e as plantas, além de contribuir na tolerância ao estresse hídrico, também contribui na tolerância ao estresse salino, isso ocorre devido a vários processos, a exemplo do restabelecimento da absorção de água e nutrientes, ao controle iônico e a preservação das atividades enzimáticas, o que ocasiona na diminuição de danos as plantas.

Os microrganismos bioestimulantes viabilizam atributos benéficos às plantas, os quais viabilizam a absorção e eficiência de nutrientes, intensifica a tolerância a metais pesados, estimula o crescimento das raízes e contribui na redução de estresse abiótico. O uso dos mesmos, favorece o rendimento das colheitas e melhora a qualidade, como também, protege as plantas contra os agravos ambientais (SAN e SHAHRAJABIAN, 2023).

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento e caracterização do solo

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB) na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no campus do município de Cruz das Almas (12°40'19"S e 39°06'22"W), situado na região do Recôncavo da Bahia.

O solo para instalação do experimento foi coletado em área do bioma Caatinga na camada de 0–0,20 m, no município de Ipirá-BA, em uma região de clima semiárido. Após esta etapa, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em peneira de malha de 2,0 mm, para a caracterização química e física do mesmo. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solos, do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras.

A caracterização química do solo apresentou pH= 5,5, teor de matéria orgânica 1,35 g kg⁻¹; potássio 46,76 mg dm⁻³; fósforo 3,66 mg dm⁻³; cálcio 4,65 mg dm⁻³; magnésio 3,48 mg dm⁻³; H+Al 2,90 mg dm⁻³; SB 8,25 mg dm⁻³; CTC efetiva 8,35 mg dm⁻³; CTC total 11,15 mg dm⁻³; V 73,99%. O solo, possui textura franco arenosa, contendo 20 g kg⁻³ de argila, 7 g kg⁻³ de silte e 73 g kg⁻³ de areia.

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi disposto em delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial duplo 5x2, sendo o primeiro fator, doses de fósforo (super fosfato simples, P₂O₅, a 20%) em 0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³ e o segundo, na presença e ausência de fungos, contendo 8 tratamentos, com 6 repetições, totalizando 48 parcelas, sendo 1 planta por parcela.

Os tratamentos foram delineados da seguinte maneira: T1-SI (0) sem inóculo; T2-SI (12,5); T3-SI (25); T4-SI (50), a partir do tratamento T5-CI (0) utilizou-se o inóculo comercial a base de *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra); T6-CI (12,5); T7-CI (25) e T8-CI (50).

3.3 Condução do experimento

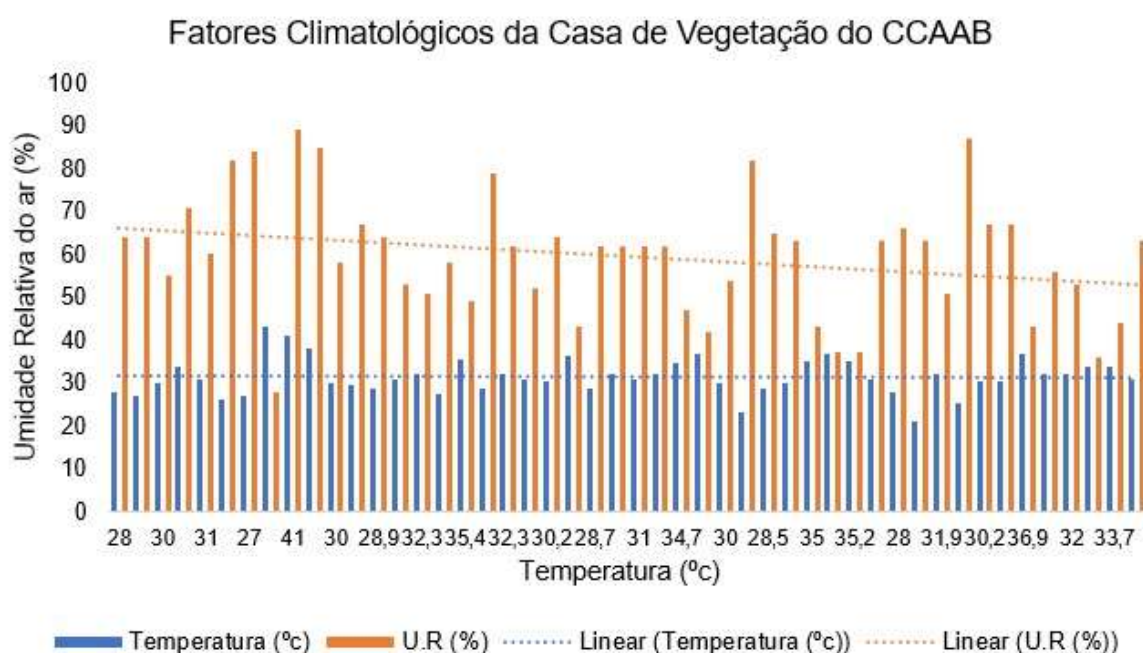
As unidades experimentais para o plantio da palma doce foram recipientes plásticos com volume de 3L de solo, preliminarmente peneirado em malha de 4 mm. Os vasos possuíam, em média, 4 furos de drenagem no fundo com 4 mm de diâmetro.

Anterior a esta etapa, foram selecionados os cladódios, com comprimento em torno de 15 cm, os quais passaram por um processo de cicatrização, em ambiente sombreado, num período de 10 dias, para evitar o risco de contaminação e apodrecimento das mudas.

Após esta etapa de cicatrização, foi realizado o plantio dos cladódios nos vasos, tendo cerca de 4 a 5 cm coberto de solo, e mantendo-se apenas um cladódio por recipiente.

Durante o período de cultivo foi monitorada a temperatura do ambiente, por meio de um termo-higrômetro, obtendo-se variações entre 28°C e 35°C, bem como a umidade relativa do ar, entre 40-90%, conforme Figura 3. A partir da etapa de plantio, as plantas foram irrigadas uma vez por semana, com uma lâmina de água de torneira, de 90 mL por vaso.

Figura 3. Temperatura e umidade da casa de vegetação.



Aos 60 dias após o plantio, os tratamentos, com as doses de fósforo (Super fosfato simples, P_2O_5 , a 20%) foram aplicados na proporção de 0; 12,5; 25 e 50 ($g\ dm^{-3}$). O cálculo para adubação foi realizado com base na tabela de recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco utilizando o espaçamento de 2mx1m e densidade de 5.000 plantas por ha^{-1} (SOBRAL, 2007). Por conseguinte, foi realizada a inoculação com o *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra), na dose 0,24g, diluída em volume 24 mL de água destilada. Esta quantidade de preparo inoculou 24 plantas, e foi aplicada uma única vez, individualmente, na região próxima da raiz. A aplicação se deu por meio de uma pipeta, com ponteira de 1mL. À cada aplicação as ponteiros foram trocadas, para evitar o risco de contaminação.

3.4 Variáveis analisadas

Aos 220 dias após a aplicação dos tratamentos e observação do desenvolvimento das plantas em função dos mesmos, foram realizadas medições biométricas das plantas, como: altura das plantas, espessura de cladódios, largura média de cladódios, comprimento de raiz, número de cladódios e comprimento de cladódios. Posteriormente, avaliou-se a massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, massa seca total, largura de cladódio por espessura de cladódio, largura por comprimento, relação altura por largura, determinação de colonização micorrízica e intensidade de colonização micorrízica.

Para definição de altura das plantas foi considerado o comprimento desde a extremidade do cladódio mais alto, até o solo. O comprimento, assim como a altura foi medido por uma trena. Também foi observada a espessura dos cladódios e largura, por meio de paquímetro, na área central do cladódio. Posteriormente foi medido o perímetro de cladódios com fita métrica, e o número de cladódios se deu pela contagem direta de todas as ordens existentes (primária e secundária). Para avaliar as variáveis mencionadas, amparou-se na metodologia usada por Paixão (2012).

Em relação as características microbiológicas, foram avaliadas: intensidade e determinação de colonização radicular por FMAs. O preparo das amostras de raízes para o cálculo da intensidade de colonização radicular foi desenvolvido no Laboratório de Microbiologia do Solo, no qual amparou-se na metodologia descrita por Phillips e Haymann (1970).

3.5 Análises estatísticas

Todas as variáveis foram submetidas a análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste F ($p < 0,05$). Foi realizado o desdobramento das variáveis que apresentaram interação com as doses de fósforo e para os fatores relacionados ao FMA foi feito o teste de médias. Para os fatores relacionados ao fósforo foi aplicado o teste de regressão. Foi utilizado o programa estatístico R 4.2.2 (R CORE TEAM, 2022).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis largura (LC), comprimento (CC), massa seca da parte aérea (MSPA) e total (MST) de mudas de *Opuntia cochenillifera* (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para altura de plantas (ALT), espessura de cladódio, (EC), largura de cladódios (LC), número de cladódios (NC), comprimento de cladódios (CC), largura por espessura, comprimento de raiz (CR), largura de cladódio por espessura de cladódio (LC/EC), largura por comprimento (LC/CC), relação altura por largura (ALT/LC), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST), colonização micorrízica (DM) e intensidade de colonização micorrízica (ICM) em mudas *Opuntia cochenillifera* cultivadas durante 220 dias em casa de vegetação doses de fósforo, na ausência e presença de inoculação por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

FV	Quadrado Médio				
	GL	ALT	EC	LC	NC
FMA	1	42,18 ^{ns}	21,87 ^{ns}	2622,56 ^{ns}	0,33 ^{ns}
DOSE	3	71,86 ^{ns}	59,28**	2413,41 ^{ns}	2,44**
FMA*DOSE	3	47,37 ^{ns}	26,04 ^{ns}	2857,14 ^{ns}	0,66 ^{ns}
ERRO	40	43,40	18,99	1167,93	0,45
CV (%)	-	26,18	34,41	35,50	32,20

FV	Quadrado Médio				
	GL	CC	CR	LCEC	LCCC
FMA	1	21,60 ^{ns}	0,187 ^{ns}	1,431 ^{ns}	6,667*
DOSE	3	163,34 ^{ns}	162,079 ^{ns}	7,180**	0,445 ^{ns}
FMA*DOSE	3	176,45 ^{ns}	122,151***	2,560 ^{ns}	1,421 ^{ns}
ERRO	40	111,84	36,161	2,466	0,527
CV (%)	-	39,01	21,33	20,21	19,86

FV	Quadrado Médio				
	GL	ALTLC	MSPA	MSR	MST
FMA	1	0,040 ^{ns}	100,398 ^{ns}	0,556 ^{ns}	115,754 ^{ns}
DOSE	3	0,007 ^{ns}	42,330 ^{ns}	1,889**	29,515 ^{ns}
FMA*DOSE	3	0,047***	197,162 ^{ns}	0,889 ^{ns}	200,524 ^{ns}
ERRO	40	0,016	112,627	0,375	116,417
CV (%)	-	43,66	28,23	36,57	27,48

FV	Quadrado Médio				
	GL	ICM	DM	--	--
FMA	1	4 73,814 ^{ns}	2 5,7779**	--	--
DOSE	3	3 17,457 ^{ns}	5 1,2477 ^{ns}	--	--
FMA*DOSE	3	2 12,962***	4 1,1199 ^{ns}	--	--
ERRO	16	5	3	--	--
CV (%)	-	12,23	44,72	--	--

(FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, *Significativo a 5% de probabilidade para Fungo, **Significativo a 5% de probabilidade para dose, ***Significativo a 5% de probabilidade para dose+fungo, ns: Não significativo, CV: coeficiente de variação).

Para as variáveis espessura de cladódio (EC), número de cladódios (NC), comprimento de raiz (CR), massa seca de raiz (MSR), relação altura por largura (ALTLC), largura por espessura (LCEC), relação largura de cladódio por comprimento de cladódio (LCCC), intensidade (ICM) e da colonização micorrízica (DM) (Tabela 1) houve diferenças significativas entre os tratamentos.

Houve interação significativa entre as doses de fósforo e o fungo micorrízico na variável crescimento de raiz (CR), relação altura por largura (ALTLC) e intensidade de colonização micorrízica (ICM).

4.1 Efeito da inoculação com FMA

Com base nos resultados da análise de variância, observou-se que houve diferença significativa para inoculação (Tabela 2), em que plantas inoculadas com fungo micorrízico apresentaram maior média de 4,03 para a variável largura de cladódio por espessura de cladódio (LCCC), em comparação com plantas não inoculadas.

Tabela 2. Efeito do fungo micorrízico na relação largura de cladódio por comprimento de cladódio (LCCC) e na determinação de colonização micorrízica (DM).

Tratamento	LCCC
CFMA	4,03a
SFMA	3,28b
CV (%)	19,86
Tratamento	DCM
CFMA	15,77a
SFMA	10,41b
CV (%)	49,2

(CFMA: com fungo micorrízico, SFMA: sem fungo micorrízico; CV: coeficiente de variação).

De acordo com Paixão (2012), a variável LCCC é importante para caracterizar o formato dos cladódios que compõe a planta. Com base nos resultados observados

a largura de cladódio foi maior que 50% do comprimento de cladódio, o que sugere que o formato de cladódio é considerado oval.

Os resultados referentes ao efeito da inoculação também apontaram que houve significância para a variável determinação de colonização micorrízica, com média de 15,77 na presença da inoculação e média de 10,41 na ausência da inoculação (Tabela 2).

Compreende-se que os fungos micorrízicos possui um papel crucial no desenvolvimento das plantas, eles estabelecem uma simbiose com as raízes das plantas ao longo do tempo, formando estruturas micorrízicas que auxiliam na absorção de nutrientes, especialmente fósforo. Além do mais, essa associação mutualística contribui na tolerância ao estresse hídrico (MACEDO et al., 2022).

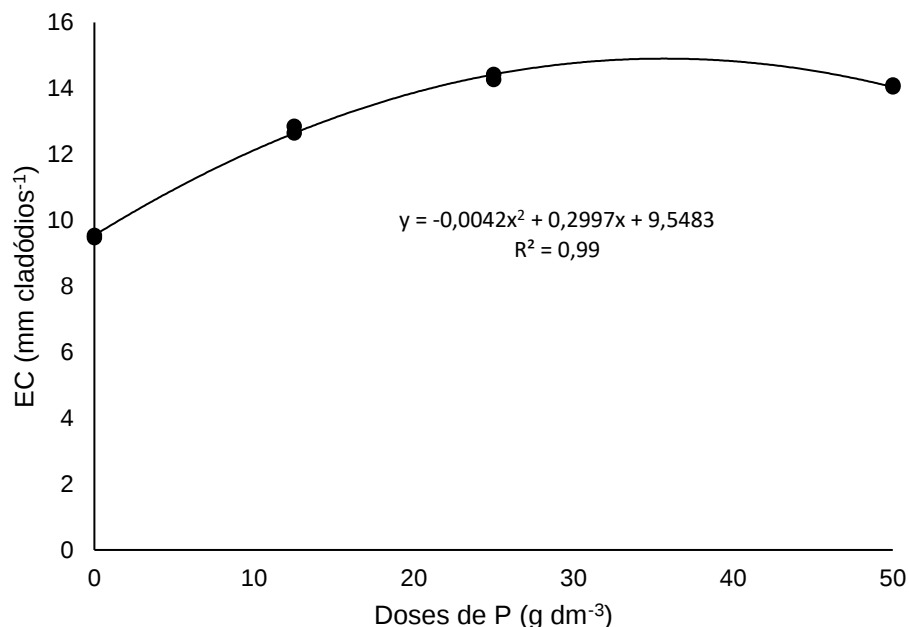
As respostas obtidas, corroboram com a ideia de Lahbouki et al. (2022), a qual afirma que a aplicação desses microrganismos favorece a fisiologia das plantas, tornando-as mais vigorosas e resistentes às adversidades climáticas. Além disso, esse mecanismo contribui para que as raízes consigam obter maior aproveitamento dos atributos do solo.

4.2 Efeito das doses de fósforo

Observou-se efeito quadrático em relação às doses de fósforo aplicadas para a variável EC. As plantas adubadas com diferentes doses de fósforo apresentaram espessura de cladódio máxima de 14,90 mm planta⁻¹, atingida na dose estimada de 35,68 g dm⁻³ de P

O fósforo, sendo um nutriente essencial para a cultura, demonstrou sua importância ao promover uma resposta positiva nas plantas, evidenciada por um aumento significativo na espessura dos cladódios (Figura 4). Doses superiores a essa podem ter um efeito negativo na EC, além de representar um desperdício de recursos.

Figura 4. Espessura de cladódio (EC) de mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação, aos 220 dias, em função de doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).



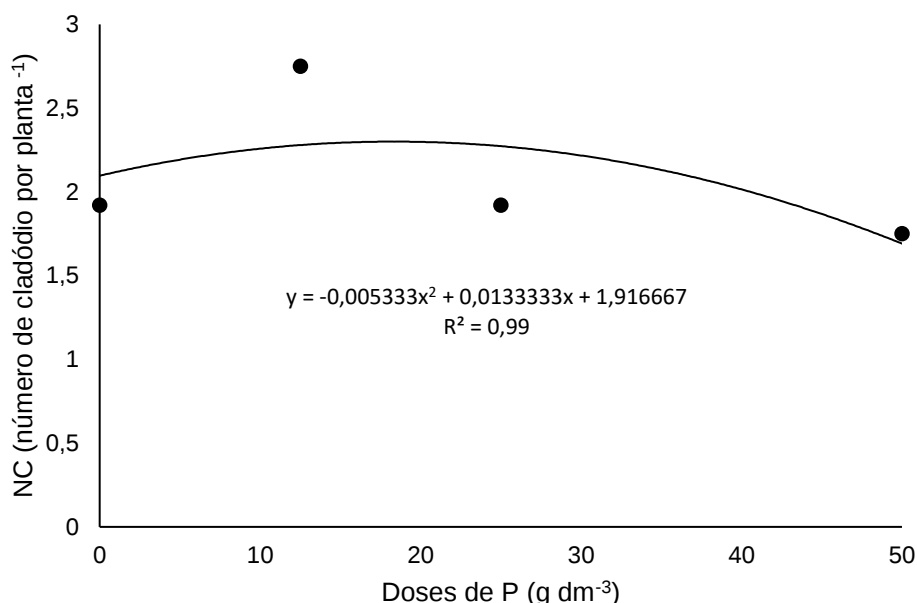
A espessura dos cladódios é um indicador fundamental da saúde e produtividade da palma doce, a mesma influencia diretamente na capacidade de sobrevivência e desenvolvimento das plantas em produzir em ambientes desafiadores. Ela contribui para o armazenamento de água e nutrientes, na eficiência fotossintética, produção de biomassa, qualidade nutricional, resiliência a danos físicos e na resistência da planta (GUIMARÃES et al., 2020).

Paixão (2012) destaca que a espessura do cladódio é equivalente à sua capacidade de armazenamento de água. Isso sugere que plantas com cladódios mais espessos demonstram uma adaptação superior a condições de baixa disponibilidade hídrica.

Diante dos resultados obtidos, reafirma-se que o fósforo é indispensável para as plantas, dentre elas, a palma forrageira, pois, esse macronutriente potencializa o crescimento de raiz, qualidade dos cladódios e frutos. Além disso, influencia positivamente no ciclo de vida das espécies vegetais (TUN-SUÁREZ et al., 2023).

Observou-se que a variável número de cladódios (NC), obteve um efeito quadrático em relação às doses de fósforo aplicadas. À medida que as doses de fósforo aumentaram, houve um incremento na quantidade de cladódios por planta (Figura 5).

Figura 5. Efeito individual da variável número de cladódios (NC), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação, aos 220 dias em função das doses de P (0; 12,5; 25 e; 50 g dm⁻³).

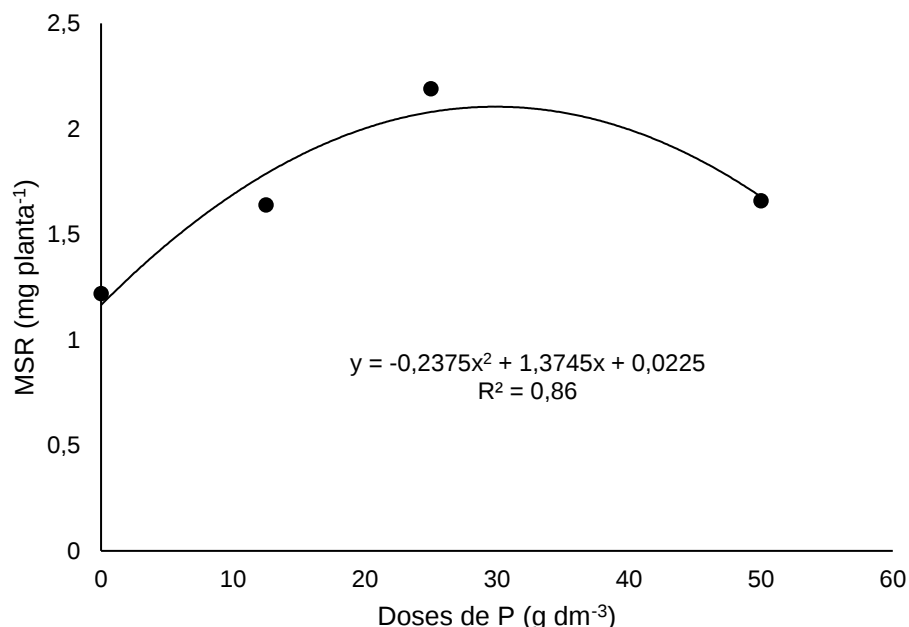


Em estudos avaliados por Ramos et al. (2019), em três genótipos de palma (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA 20), durante 12 meses, constatou-se que o genótipo Miúda apresentou maior número de cladódios por planta, resultado este, semelhante ao resultado obtido para esta variável nessa pesquisa. Deste modo, observa-se que a aplicação de fósforo no manejo da palma pode ser uma prática favorável para potencializar o crescimento e o rendimento da cultura (HASSAN et al., 2020).

Lima et al. (2023), compreendem que a aplicação de adubação fosfatada é essencial para modificações nas características agronômicas dessa cultura, a exemplo da elevação de novos brotamentos e consequentemente no incremento da produtividade.

Para a variável massa seca de raiz (MSR), as plantas adubadas com doses de P apresentaram um valor máximo de 1,98 g planta⁻¹, alcançado na dose estimada de 2,85 g dm⁻³. Este macronutriente demonstrou uma notável responsividade na cultura da palma, influenciando positivamente uma considerável parte das variáveis analisadas (Figura 6).

Figura 6. Efeito individual de massa seca de raiz (MSR), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação em função e ausência (SM) das doses de fósforo (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).

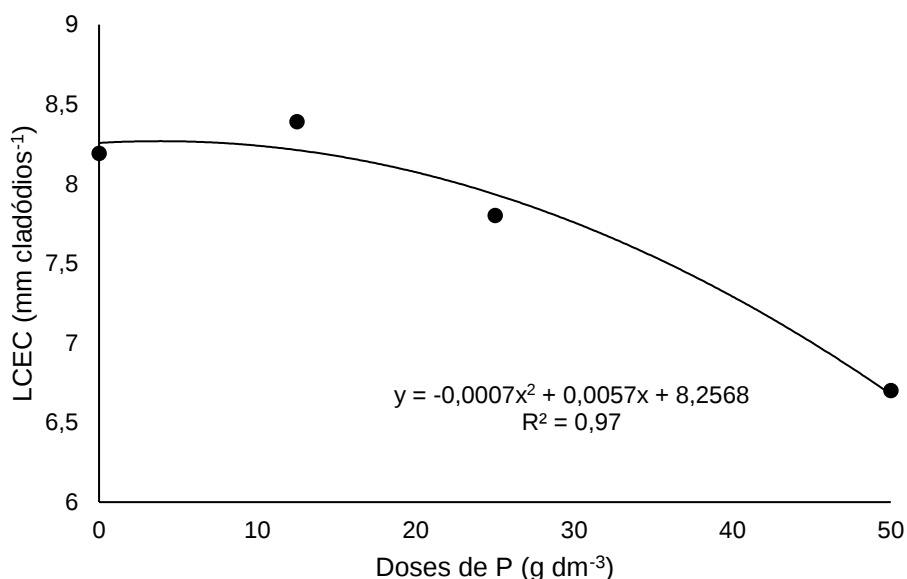


É necessário destacar que mesmo as cactáceas apresentando adaptações fenológicas, fisiológicas e estruturais à seca, a escassez de chuvas e solos empobrecidos, um manejo apropriado para a palma pode aumentar a eficiência na produção desta espécie, pois, a adubação é uma estratégia de manejo pertinente para a mesma, tendo em vista o melhoramento no teor nutricional da planta, no incremento das taxas fotossintéticas, como no crescimento, e também na produtividade (SILVA et al., 2016).

A deficiência de fósforo pode comprometer a morfologia das plantas, impactando negativamente a altura, o tamanho das folhas e a qualidade dos frutos, entre outras consequências agrônômicas (PRIMAVESI, 2018). Nesse contexto, Khatounian (2021) ressalta a importância da implementação de técnicas de manejo que otimizem o uso desse nutriente de forma eficaz para as plantas.

A variável relação largura de cladódio por espessura de cladódio (LCEC) exibiu um comportamento quadrático, alcançando um valor máximo de 8,27 mm cladódios⁻¹ em uma dose de P estimada de 4,07 g dm⁻³ (Figura 7).

Figura 7. Efeito individual da variável largura de cladódio por espessura de cladódio (LCEC), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação, em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).



De acordo com parâmetros utilizados em estudos realizados por Paixão (2012), as relações altura de planta por largura de cladódio e largura por espessura de cladódios, estão diretamente relacionadas as características morfológicas das plantas, as quais influenciam no acesso a radiação solar, em caso de competição. Ou seja, o equilíbrio na arquitetura dos cladódios facilita uma maior densidade populacional e a realização de manejo da cultura. Então o ajuste de área disponível para as plantas, contribui no aumento da densidade populacional. Com base nesses elementos, os resultados apontam que os cladódios são mais espessos do que largos, contribuindo de forma positiva para maior resistência da planta, na absorção e armazenamento de água e nutrientes.

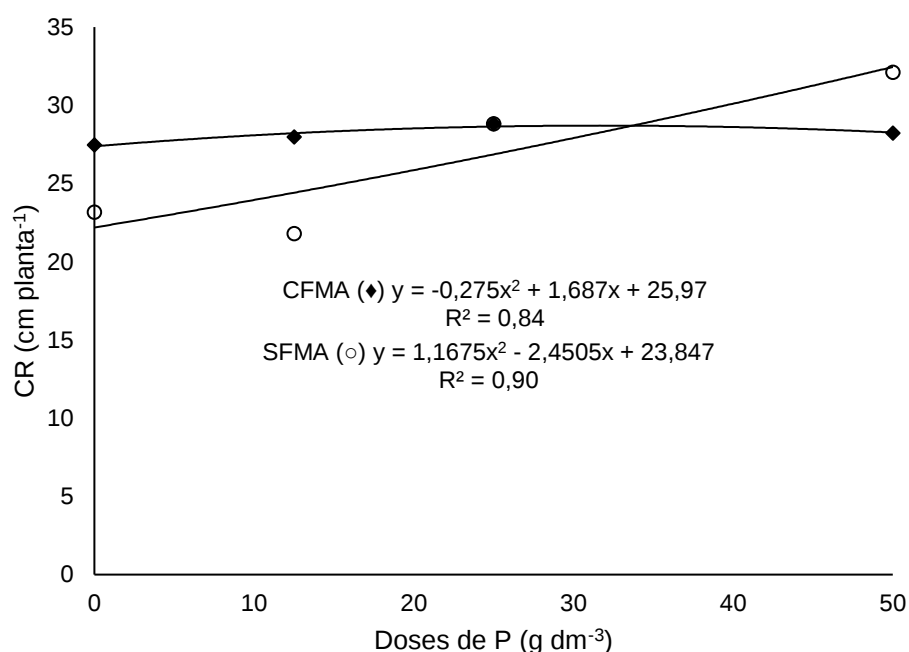
O planejamento estratégico para expandir as práticas de manejo e cultivo da palma forrageira é essencial, tendo em vista a necessidade de adotar novas tecnologias que evidenciem o uso de adubação fosfatada (Pinto et al., 2020), visando incrementar a biomassa da espécie e otimizar a rentabilidade do sistema produtivo.

4.3 Interação de doses de fósforo e FMA

Para a variável comprimento de raiz (CR), constatou-se interação entre a presença e ausência do fungo micorrízico e as doses de fósforo utilizadas, com efeito

quadrático. As plantas inoculadas apresentaram crescimento máximo de raiz de 28,57 cm planta⁻¹ na dose de P estimada de 3,07 g dm³, enquanto, na ausência de inoculação, as plantas apresentaram um crescimento máximo de raiz de 26,45 cm planta⁻¹ na mesma dose de P estimada de 3,07 g dm³. A partir dessa dosagem, o efeito foi reduzido. Nota-se que, à medida que as doses de fósforo aumentam, há uma inibição consequente da ação dos fungos nas plantas (Figura 8).

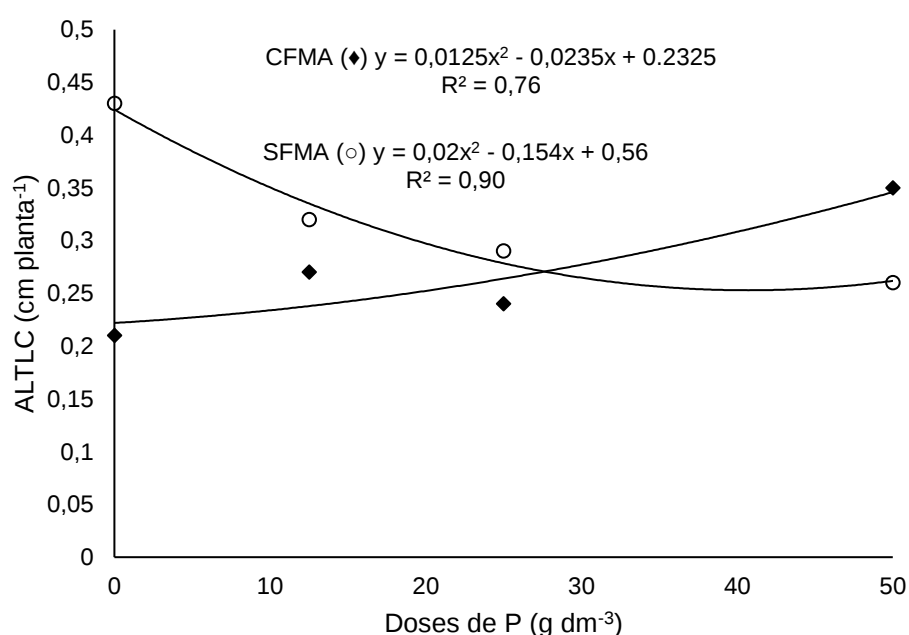
Figura 8. Desdobramento da interação do comprimento de raiz (CR), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação, aos 220 dias em função da presença (CM) e ausência (SM) de FMA e doses de fósforo (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).



A inibição dos fungos micorrízicos devido ao elevado teor de fósforo no solo é atribuída à competição entre as formas disponíveis de fósforo no solo e a associação micorrízica. Quando há um excesso de fósforo disponível, as plantas têm maior capacidade de absorver diretamente esse nutriente, reduzindo a dependência da simbiose com os fungos micorrízicos. Além disso, concentrações elevadas de fósforo podem impactar negativamente na viabilidade e no crescimento dos fungos, criando um ambiente menos propício para sua sobrevivência. Como resultado, a presença de altas quantidades de fósforo no solo pode diminuir a interação das plantas com os fungos micorrízicos, levando à inibição de sua atividade e colonização (TUN-SUÁREZ et al., 2023).

No caso da variável relação altura de planta por largura de cladódio (ALTLC), houve interação entre a presença e a ausência do inóculo (Figura 9). As plantas inoculadas com fungos micorrízicos apresentaram um efeito quadrático, com um valor máximo de 0,86 cm planta⁻¹ na dose de P estimada de 3,85 g dm⁻³. Nas plantas não inoculadas, também houve um efeito quadrático, com a altura máxima de 0,24 com dose de P estimada de 0,94 g dm⁻³.

Figura 9. Desdobramento da interação da altura de planta por largura de cladódio (ALTLC) com (CM) e sem fungo (SM), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).

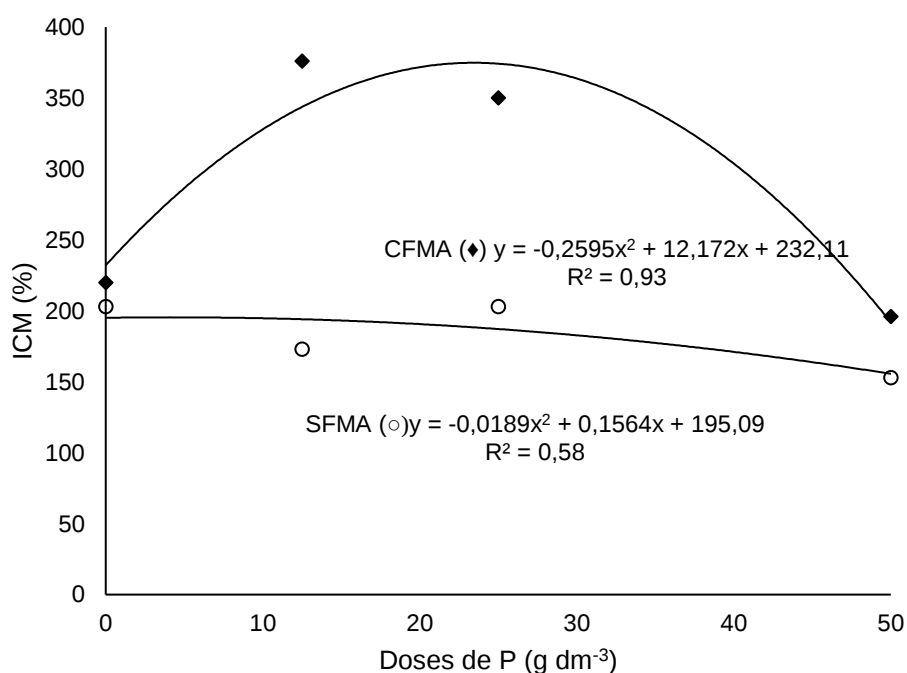


A utilização de fungos micorrízicos desempenha um papel crucial na otimização do crescimento, desenvolvimento, produtividade e longevidade das plantas de palma, conferindo-lhes maior resiliência e capacidade de adaptação a uma ampla gama de condições ambientais e estresses abióticos (LAHBOUKI et al., 2021). Além disso, os fungos micorrízicos exercem um papel significativo na absorção eficiente de fósforo pelas plantas, promovendo uma melhor utilização deste importante macronutriente (KEBEDE et al., 2023).

Este resultado permite avaliar a arquitetura da planta, onde os dados indicam um crescimento vertical dos cladódios maior, comparados ao crescimento horizontal, o que sugere que essa estrutura favorece maior acesso a luminosidade e facilidade de manejo (PAIXÃO, 2012).

Os resultados também indicaram que houve interação significativa para a variável intensidade de colonização micorrízica, com máxima intensidade de 195,53, na dose estimada de 4,23 g dm⁻³ (Figura 10). Esses resultados sugerem que o uso do fungo micorrízico pode ser uma estratégia de manejo para maximizar o potencial produtivo da palma forrageira, com o incremento da adubação fosfata e microrganismos promotores de crescimento vegetal (TUN-SUÁREZ et al., 2023).

Figura 10. Desdobramento da interação da intensidade de colonização micorrízica na presença (ICM) e ausência do fungo (SM), em mudas de *Opuntia cochenillifera* cultivada em casa de vegetação, em função das doses de P (0; 12,5; 25 e 50 g dm⁻³).



Os resultados sinalizam que a simbiose com fungos micorrízicos aprimora a eficiência do uso do fósforo pelas plantas. Esse processo pode resultar em uma menor necessidade de aplicação de fertilizantes fosfatados, além de amenizar as perdas desse macronutriente para o ambiente (SAN e SHAHRAJABIAN, 2023).

A aplicação de adubação fosfatada, aliada ao uso de inoculantes micorrízicos à base de *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR), aprimora as práticas de manejo agroecológico de plantas nativas adaptadas ao bioma Caatinga, as quais apresentam elevado potencial alimentício para a fauna local. Esse mecanismo pode ser vantajoso para a implementação em regiões semiáridas, especialmente com o intuito de

viabilizar a produção agrícola de pequenos produtores e assentados de Reforma Agrária.

Os desfechos desta pesquisa destacam a relevância desta técnica como uma alternativa sustentável e uma possibilidade de convivência com o semiárido. A palma forrageira se mostra uma grande aliada não apenas na alimentação animal, mas também no armazenamento e fornecimento de água aos seus consumidores, devido à sua composição morfológica.

Os resultados sugerem perspectivas de futuras pesquisas com o intuito de contribuir para a produção de mudas de maior qualidade por meio da adubação fosfatada e inoculação micorrízica. Deste modo, pode-se estimular políticas governamentais voltadas ao enfrentamento da seca no semiárido.

5.0 CONCLUSÕES

Inoculante micorrízico à base de *Rhizophagus intraradices* (Rootella BR® Ultra) influencia positivamente no desenvolvimento inicial da (*Opuntia cochenillifera*). A aplicação de 35,68, 3,07 e 2,85 g dm⁻³ de fósforo proporciona maiores médias de espessura de cladódio, crescimento radicular e massa seca de raiz da palma forrageira, respectivamente.

A aplicação dessa prática pode maximizar a produção da palma forrageira, por meio das doses de fósforo recomendada em associação com o fungo micorrízico. Isso implica, não apenas, no aumento da produção, como também na viabilidade econômica dos agricultores.

Deste modo, os resultados da pesquisa apontam possibilidades de práticas que potencializem a sustentabilidade ambiental, com respeito aos limites do bioma Caatinga e incentiva novas abordagens de pesquisa que fortaleçam as práticas de convivência com o Semiárido.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. G. DE, AQUINO, J. DE S., ALBUQUERQUE, J. G. DE, FARIAS, T. G. S. DE, ESCALONA-BUENDÍA, H. B., BOSQUEZ-MOLINA, E., & AZOUBEL, P. M. Consumer perception and use of nopal (*Opuntia ficus-indica*): a study cross-cultural between Mexico and Brazil. **International Food Research**, v. 124, p. 101–108, 2019.
- ARAÚJO, F. F. DE, FARIAS, D. DE P., NERI-NUMA, I. A., & PASTORE, G. M. Underutilized plants from the Cactaceae family: nutritional aspects and technological applications. **Elsevier**, v. 362, p. 130196, 2021.
- ARAÚJO, T. P. M.; LIMA JÚNIOR, D. M.; SILVA, J. G. M.; SILVA, A. P.; LIMA, G. F. C.; RANGEL, A. H. N.; SILVA, G. J. A. M.; SANTOS, L. H. de M.; MEDEIROS, M. R. de; SARAIVA, J. P. B.; MACEDO, M. F. de; ARAÚJO, T. L. Effect of cactus species in the diet of dairy goats on feed efficiency, milk production and composition of milk and cheese. **Animal Feed Science and Technology**, v. 304, p. 115755, 2023.
- ASA. **Articulação Semiárido Brasileiro. Semiárido: é no semiárido que a vida pulsa!** Disponível em: <https://www.asabrasil.org.br/semiario>. Acesso em: 28 jan. 2023.
- BAHIA. Secretaria do Meio Ambiente. **Guia técnico para a recuperação de vegetação em imóveis rurais no Estado da Bahia**. Salvador: SEMA, 2017.
- DANTAS, J. I. M.; OLIVEIRA, M. G. B. Versatility in the medicinal use of mandacaru (*Cereus jamacaru* Cactaceae). **Diversitas Journal**, v 4, n 2 p. 384-392, 2021.
- DA-SILVA, J. R., CORREIA-LIMA, L., FERNANDES, G., RIBEIRO-FILHO, N., MADRUGA, M. S., LIMA, M. S., & MUNIZ, M. Mandacaru fruit pulp (*Cereus jamacaru* D.C.) as an adjunct and its influence on beer properties. **Food Chemistry**, v, 406, p. 135066, 2022.
- EL-AALAOUI, M.; SBAGHI, M. Morphological and phenological characterization of Moroccan *Opuntia* cactus varieties resistant to the cactus cochineal *Dactylopius opuntiae* (Cockerell). **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 25, p.115-135, 2023.
- FAO. **Crop ecology and uses of pear cactus cultivation**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the International Center for Agricultural Research in Dry Areas, 2017.
- FRACETTO, F. J. C., ALMEIDA, F. G., SILVA, A. L. S., SILVA, A. S., & SILVA, A. L. S. Phosphorus fractions and microbiological indicators in vineyard soils in a semi-arid tropical environment in Brazil. **Bragantia**, v.82, p. 20220232, 2023.
- GONÇALVES, P. C. O mandacaru não floresceu: a ciência positivista a serviço do combate à seca de 1877-1879. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.25, n.2, 2018.
- GUIMARÃES, B. V. C., DONATO, S. L. R., ASPIAZÚ, I. A., AZEVEDO, A. M., & CARVALHO, A. J. DE. Regression models for productivity prediction in cactus pear cv. Gigante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.11, p.721-727, 2020.
- HASSAN, S., MAZZOLA, M., & RALLO, G. The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. **Agronomy**, v.10, n.5, p.635, 2020.

JARDIM, A. M. R. F., SILVA, T. G. F., SOUZA, L. S. B., & SOUZA, M. S. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.11, p.756-761, 2020.

JARDIM, A. M. R. F., MORAIS, J. E. F. D., SOUZA, L. S. B. D., SOUZA, C. A. A. D., ARAÚJO JÚNIOR, G. D. N., ALVES, C. P., SILVA, G. I. N. D., LEITE, R. M. C., MOURA, M. S. B. D., DE LIMA, J. L. M. P. Monitoring the energy balance, partitioning of turbulent flow, evapotranspiration and biophysical parameters of *Nopalea cochenillifera* (Cactaceae) in Brazil. **Ambiente Semiárido Plants**, v. 12, p. 2562, 2023.

JÚNIOR, J. Q. O., SOUZA, A. L. S., SILVA, A. S., PEREIRA, M. G. A mixture of Arbuscular Mycorrhizal Fungi favors brazilian pepper seedlings under an intermediate level of soil phosphorus. **Rev. Caatinga, Mossoró**, v. 35, n. 3, p. 641 – 648, 2022.

KEBEDE, T. G., BIRHANE, E., AYIMUT, K. M., & EGZIABHER, Y. G. Arbuscular mycorrhizal fungi improve the biomass, photosynthesis and water use efficiency of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different levels. **Arid Earth Journal** v. 15, n. 8, 2023.

KHATOUNIAN, C. A. Ciclagem de nutrientes. In: DIAS, Alexandre Pessoa [et al]. **Dicionário de Agroecologia e Educação**. Expressão Popular, Rio de Janeiro, 2021, 816p.

KIILL, L. H. P. **Bioma Caatinga**. In Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/biomaCaatinga/flora>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

LAHBOUKI, S., BEN-LAOUANE, R., ANLI, M., BOUTASKNIT, A., AIT-RAHOU, Y., AIT-EL-MOKHTAR, M., MEDDICH, A. Arbuscular mycorrhizal fungi and/or organic additives increase the tolerance of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) under water stress. **Journal of Arid Environments**, v. 199, p. 104703, 2022.

LIRA, M. A. Palma Forrageira: Cultivo e Usos. Cadernos do Semiárido: riquezas & oportunidades / **Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco** – v. 7– Recife: Editora do IPA, 2017, 62p.

LOPES, E. B. Cultivo da Palma Forrageira. In: Palma Forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no Semiárido nordestino. João Pessoa: **EMEPA-PB**, 2012, 256p.

LEMO, B. V.; CARNEIRO, M. DO C.; ALBUQUERQUE, A. L. S. DE; SILVA, J. C. DE S. Chemical composition of the Densified Palma Miuda using two types of organic fertilizer. **Diversitas Magazine**, v 8, n 3, p. 2935 – 2948, 2023.

LIMA, B. S. L., MARQUES, C. A. T., EDVAN, R. L., BEZERRA, L. R., ARAÚJO, J. S., NÓBREGA, J. C. A., ARAÚJO, M. J. DE, NASCIMENTO, R. R. DO, ALVES, F. G. DA S. Agronomic and mineral characterization of palm varieties under different phosphorus doses. **Professional Association for Cactus Development**, v 25, p. 78-92, 2023.

MACEDO, A., ARAÚJO, G. G. L., DEON, D. S., LIMA, R. L. F. A., & SILVA, M. A. Biosaline agriculture, arbuscular mycorrhizae and soil carbon in the semi-arid region: cultivation of forage cactus fertilized with goat manure. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. 27711823541, 2022.

MABAGALA, F.S.; MNG'ONG'O, M.E. The influence of organic matter (OM) on phosphate bioavailability. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, p. 3635–3641, 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/Caatinga>. Acesso em: 6 fev. 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed.. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729p.

MOREIRA, J. N.; DRUMOND, M. A.. **Bioma Caatinga**. In: EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/flora/forrageiras/mandacaru>. Acesso em: 01 de setembro de 2023.

MOTA, T. R., LINHARES, H. V. S., ARAÚJO-FILHO, J. H., VERAS, D. M., COSTA, H. P. S., SOUZA, C. M. P., SOUZA, P. F. N., & MARTINS, T. F. Protein extract from *Cereus jamacaru* (DC.) inhibits *Colletotrichum gloeosporioides* growth, stimulating the generation of ROS and promoting severe damage to the cell membrane. **Microbial Pathogenesis**, v. 130, p. 71–80, 2019.

NETO, M. A. B. Maturação de frutos e salinidade na qualidade fisiológica de sementes de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.). Dissertação (Mestrado em Agronomia) – **Universidade Federal da Paraíba**, Areia, 2018.

NEUPANE, D., MAYER, J. A., NIECHAYEV, N. A., BISHOP, C. D., & CUSHMAN, J. C. Five-year field trial on biomass productivity and water input response of cactus pear (*Opuntia spp.*) as a bioenergy feedstock for drylands. **GCB Bioenergy**, v. 13, p. 719–741, 2021.

NÓBREGA, J. S.; SILVA, L. G. DA; SILVA, F. E. DA; SANTOS, M. E. M.; SILVA, T. I. DA; BRUNO, R. DE L. A.; LIMA, G. S. DE; SOARES, L. A. DOS A. Ácido salicílico atenuou o efeito do estresse hídrico na germinação e crescimento inicial de plântulas de *Cereus jamacaru* DC. **Scientia Plena**, v.17, p. 040204, 2021.

PAIXÃO, S. L. Avaliação morfológica de clones e progênies de palma forrageira. Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Universidade Federal da Paraíba/ Universidade Federal do Ceará. **Departamento de Zootecnia da UFRPE**, Recife, v. 141, p. 109139, 2012.

PESSOA, V. G.; SANTOS, S. C. L.; OLIVEIRA, P. V. C. DE; SILVA, T. G. P. DA; OLIVEIRA, P. V. C. DE; FERNANDES, G. S. T. Bromatological composition and sensory analysis of cacti as unconventional food plants: a systematic review. **Research, Society and Development**, v.11, n.8, p. 41011831289, 2022.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British mycological Society, London**, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.

PINTO, L. A.; PINTO, A. A.; TAVARES, M. S.; SILVA, L. F. V.; CÂMARA, F. T. Palma forrageira na presença ou ausência de nitrogênio e adubação fosfatada. **Magistra**, v.31, p.758-767, 2020.

PRIMAVESI, A. A biocenose do solo na produção vegetal e deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal. 2. ed. São Paulo: **Expressão Popular**, 2018, 608p.

PRIMAVESI, A. Manual do solo vivo: solo sadio, planta sadia, ser humano sadio. 2. ed. São Paulo: **Expressão Popular**, 2016, 208p.

RAMOS, J. P. F.; DUBEUX JR., J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. DOS; MELLO, A. C. L. DE; FERREIRA, M. DE A.; SILVA, M. C. DA. Forage yield and morphological traits of cactus pear genotypes. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.43, p. 51214, 2021.

SAN, S.; SHAHRAJABIAN, M. H. Biofertilizers and their role in sustainable agriculture. **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v. 12, p. 3101, 2023.

SARAIVA, F. M.; DUBEUX, J. C. B. JR.; CUNHA, M. V. DA; MENEZES, R. S. C.; SANTOS, M. V. F. DOS; CAMELO, D.; FERRAZ, I. Performance of Forage Palm Intercropped with Tree Legumes and Fertilized with Different Fertilizer Sources. **Agronomy**, v. 12, n.8, p. 1887, 2022.

SEMINARIO-PEÑA, J. V.; NIETO-GARIBAY, A.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; MURILLO-AMADOR, B.; MEDEL-NARVÁEZ, A.; TERRAZAS, T. Physiological and morphometric characteristics of *Pachycereus pringlei* (S.Watson) Britton & Rose seedlings applying organic fertilizers. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 25, p. 36-58, 2023.

SILVA, C. M. DA; SILVA, P. B. DA; PRADO, K. A. C. DO; LIMA JUNIOR, C. DE; LIMA, R. L. F. DE A. Arbuscular mycorrhizae and *Ricinus communis* L.:2. dryland cultivation in the semi-arid. **Braz. J. of Develop.Curitiba**, v.6, n.12, p. 98964-98976, 2020.

SILVA, D. V.; OLIVEIRA, J. R.; FERREIRA, L. C.; SOUZA, M. A. Agroecology and Coexistence with the Brazilian Semiarid: a preliminary analysis. **Diversitas Journal**, v.3, n.1, 2023.

SOARES, L. M.; PEREIRA, R. F.; COSTA, J. C.; ALMEIDA, S. T. *Cereus jamacaru* DC (Mandacaru): uma promissora fruta nativa brasileira como fonte de nutrientes e bioativos derivados de sua polpa e casca. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 76, p. 170–178, 2021.

SOBRAL, J. L.; VIEGAS, P. R. A.; SIQUEIRA, O. J. W.; ANJOS, J. L.; BARRETO, M. C. V.; GOMES, J. B. V. **Recomendações de adubação para culturas no estado de Pernambuco**. 2007, 251p.

TOIT, A.; VAN DER MERWE, M.; SMIT, N. Propriedades antioxidantes de cladódios de palma forrageira frescos e processados de cultivares selecionadas de *Opuntia ficus-indica* e *O. robusta*. **Jornal Sul-Africano de Botânica**, v. 118, p. 44–51, 2023.

TUN-SUÁREZ, R. J. M.; GONZÁLEZ, L. P.; MARTÍNEZ, H. F. Evaluation of native arbuscular mycorrhizal consortia in interaction with phosphorus levels in promoting the growth and photosynthesis of *Stevia rebaudiana* Bertoni. **Revista de Ciências Biológicas e de Saúde**, v. 25, p. 1765, 2023.

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.

YANGA, X.; CHENB, X.; YANGA, X. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from northeastern China. **Soil and Cultivation Survey**, v. 187, p. 0167-1987, 2018.

WANG, Z.; LI, X.; CHEN, Y.; ZHOU, J. Using a modified Langmuir equation to estimate the influence of organic materials on phosphorus adsorption in a Mollisol from Northeast China. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 886900, 2022.

WITHERS, P. J. A.; SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E. Transitions towards sustainable phosphorus management in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2537, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Instalação do experimento



Fonte: Arquivo pessoal, 2023

Anexo 2. Inoculação com fungos micorrízicos



Fonte: Arquivo pessoal, 2023

Anexo 3. Desenvolvimento inicial das mudas de palma forrageira nos respectivos tratamentos



Fonte: Arquivo pessoal, 2024

Anexo 4. Intensidade de colonização micorrízica



Fonte: Arquivo pessoal, 2024