



**MICRORGANISMOS PROMOTORES DE
CRESCIMENTO E ADUBAÇÃO QUÍMICA NA
PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA MIÚDA**

ELITON RUBENS TEIXEIRA DA CRUZ

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DE
CRESCIMENTO E ADUBAÇÃO QUÍMICA NA
PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA MIÚDA**

Autor: Eliton Rubens Teixeira da Cruz
Orientador: Dr. Fábio Andrade Teixeira

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Junho de 2025

ELITON RUBENS TEIXEIRA DA CRUZ

**MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E
ADUBAÇÃO QUÍMICA NA PRODUÇÃO DA PALMA
FORRAGEIRA MIÚDA**

Tese apresentada como parte das exigências
para obtenção do título de DOUTOR EM
ZOOTECNIA, no Programa de Pós-
Graduação em Zootecnia da Universidade
Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Andrade Teixeira

Co-orientador: Natan Teles Cruz

ITAPETINGA
BAHIA – BRASIL
Junho de 2025

633.3 Cruz, Eliton Rubens Teixeira da.
C961m Microrganismos promotores de crescimento e Adubação química na produção da palma Forrageira miúda. / Eliton Rubens Teixeira da Cruz. – Itapetinga-BA: UESB, 2025.
63p.

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Área de Concentração em Produção de Ruminantes. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Fábio Andrade Teixeira e coorientação de D. Sc. Natan Teles Cruz.

1. Palma forrageira – Inoculação – *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*. 2. Palma forrageira – Desenvolvimento – Produtividade. 3. Palma forrageira – Cultivo – Adubação química. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação de Doutorado em Zootecnia, *Campus* de Itapetinga. II. Teixeira, Fábio Andrade. III. Cruz, Natan Teles. IV. Título.

CDD (21): 633.3

Catálogo na Fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB 535-5ª Região
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para desdobramentos por Assunto:

1. Palma forrageira – Adubação nitrogenada e fosfatada
2. Palma forrageira – Composição bromatológica

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA
Área de Concentração: Produção de Ruminantes



Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB
Recredenciada pelo Decreto Estadual
Nº 16.825, de 04.07.2016

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: “MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO E ADUBAÇÃO QUÍMICA NA PRODUÇÃO DA PALMA FORRAGEIRA MIÚDA”

Autor: Eliton Rubens Teixeira da Cruz

Orientador: Prof. Dr. Fabio Andrade Teixeira

Coorientador: Prof. Dr. Natan Teles Cruz

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br **FABIO ANDRADE TEIXEIRA**
Data: 04/03/2026 06:41:04-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fabio Andrade Teixeira – UESB (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br **NATAN TELES CRUZ**
Data: 26/02/2026 17:28:44-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Natan Teles Cruz – UFRB (Coorientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br **MAURICIO CIVIERO**
Data: 03/03/2026 14:43:15-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Mauricio Civiero – UESB

Documento assinado digitalmente
gov.br **RENATA RODRIGUES JARDIM**
Data: 26/02/2026 18:03:15-0300
verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Renata Rodrigues Jardim

MARIO NORBERTO SLOMP
Assinado de forma digital por
MARIO NORBERTO SLOMP
Dados: 2026.03.02 10:20:28 -03'00'

Dr. Mario Norberto Slomp – UNIGUAÇU

Data de realização: 03 de junho de 2025.

Campus de Itapetinga

(77) 3261-8628 | ppz@uesb.edu.br

Campus de Itapetinga
Praça da Primavera, 40
Bairro Primavera
CEP 45.700-000
PABX: (77) 3261 - 8600

Campus de Jequié
Rua José Moreira Sobrinho, s/n
Bairro Jequiézinho
CEP 45.200 - 000
PABX: (73) 3528 - 9600

Campus de Vitória da Conquista
Estrada do Bem Querer, km 4
Bairro Universitário
CEP: 45031 - 300
PABX: (77) 3424 - 8600

“Quem não é visto não é lembrado, mas quem anda com Deus é inesquecível.”
Pr. Claudio Duarte

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus pela graça da sua presença em minha vida;

À minha esposa Roberta;

Ao meu filho Eduardo;

Ao meu pai Emiliano da Cruz;

À minha mãe Lídia Teixeira da Cruz;

Às minhas irmãs Elita e Keli;

À minha Sogra Rosa;

Que apesar de todas as dificuldades sempre estiveram ao meu lado;

Ajudaram-me a compreender os valores da vida e me deram educação;

Que muitas das vezes me ajudaram e me deram ânimo para seguir, através de gestos e

palavras de conforto;

Sempre me ensinaram sobre a importância dos estudos;

Carrego todos sempre em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e ao Senhor Jesus Cristo pelo dom da vida e pela graça concedida em ajudar-me a cada passo, e por estarem presentes em minha vida a cada momento, sem Deus eu não conseguiria.

À minha esposa, Roberta, pelo apoio e pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho, que, por muitas vezes, dispôs do seu tempo para ajudar-me nos trabalhos de campo, cuidou do nosso filho enquanto trabalhávamos. Agradeço a Deus por ter colocado essa mulher espetacular ao meu lado.

Ao meu filho Eduardo, que, embora pequeno, esteve comigo durante todos os trabalhos de campo, brincando e alegrando cada momento, tornando um trabalho árduo divertido.

À toda a minha família, pela força, educação e pelos valores ensinados, que, mesmo longe, sempre me apoiaram.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Câmpus Itapetinga, e ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, por fornecer a infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa, e a seus profissionais, coordenadores, professores e funcionários, pela competência, dedicação e colaboração.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Fábio Andrade Teixeira, por aceitar o desafio de me orientar, pela segunda vez, por seu tempo, incentivo e atenção, pelas sugestões e ajuda na realização do experimento, e, em especial, por acreditar em minha ideia e me apoiar na realização deste trabalho. Sempre buscou ajudar da melhor maneira não apenas seus orientados, mas todas as pessoas a seu alcance, seja com uma palavra amiga ou até mesmo em uma conversa. Com toda a convicção, são pessoas como essas que contribuem para que os pilares da educação continuem fortes e se sustentem não somente pelo conhecimento, porém pelos valores. Muito obrigado, Professor Fábio!

Ao meu professor e amigo, Mário Norberto Slomp (meu segundo pai), uma pessoa indescritível, de espírito generoso e bom ânimo, sempre presente com palavras de incentivo, alguém que acreditou em mim, assim como nas pessoas ao seu redor, e que sempre motivou a perseverar e a não desistir dos sonhos. Agradeço pelas palavras e, principalmente, pelos gestos que me conduziram até aqui. Deus realmente coloca as pessoas certas em nossos caminhos, e o Professor Mário foi uma delas, que, além de acreditar em mim, literalmente comprou a causa, ajudou-me a chegar até aqui quando nem eu ou minha família tínhamos recursos para tal feito. Agradeço também por disponibilizar as instalações da Fazenda União Paraná Bahia, bem como todo o material e estrutura para que o presente trabalho pudesse ser realizado. Foram tantas coisas,

tantos incentivos e ajudas que, com toda certeza, ficaram guardados em minha memória, e serei sempre grato.

Ao Professor Natan Teles Cruz, meu coorientador, pela orientação e pelo tempo dedicado, pelas horas incansáveis em que me incentivou e pela prontidão em esclarecer minhas dúvidas, mesmo em horários alternativos. Muito obrigado! Sua ajuda foi fundamental para a realização deste trabalho.

À Professora Renata Jardim, por ajudar-me no desenvolvimento e confecção deste trabalho, por sempre estar disponível para esclarecer dúvidas e colaborar da melhor maneira, por me orientar, estar sempre disposta a ajudar e estar presente desde o mestrado, me orientando. Muito obrigado, sem a sua ajuda este trabalho não ficaria “tão nas normas”.

A todos os membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e fazerem parte da conclusão deste trabalho.

Obrigado a todos os envolvidos que, de alguma forma, auxiliaram e contribuíram para que o presente trabalho pudesse ser desenvolvido.

MUITO OBRIGADO A TODOS,

GRANDE ABRAÇO

BIOGRAFIA

Eliton Rubens Teixeira da Cruz, natural da cidade de Porto União, Estado de Santa Catarina, nasceu em 1995, filho de Emiliano da Cruz e Lídia Teixeira da Cruz. Iniciou os estudos na Escola Municipal Vitória Fernandes, no Município de União da Vitória, Paraná. Em 2010, iniciou o Curso Técnico em Meio Ambiente Integrado, pelo Colégio Estadual Túlio de França, em União da Vitória, com conclusão no ano de 2013. Em 2014, pelas Faculdades Integradas do Vale do Iguaçu (Uniguaçu), iniciou o curso de Agronomia, concluindo-o no segundo semestre de 2018. Em 2019, concluiu a Pós-Graduação (Especialização) em Georreferenciamento de Imóveis Rurais pela Faculdade Unyleya. Em 2021, concluiu o Mestrado em Zootecnia, com Área de Concentração em Produção de Ruminantes, ênfase em Forragicultura, Pastagem, Fisiologia e Genética Vegetal, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Em junho de 2025, submeteu-se à banca examinadora para a defesa final da Tese, para obtenção do título de Doutor em Zootecnia pelo Programa de Pós-graduação em Zootecnia da UESB.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Microrganismos Promotores de Crescimento	3
1.2.1. Bactéria promotora de crescimento de plantas (BPCP) – <i>Azospirillum</i> <i>brasilense</i>	3
1.2.2. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA).....	7
1.2.3. Interação entre bactéria promotora de crescimento de plantas (BPCP) e Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)	10
1.3. Nitrogênio na nutrição de plantas	12
1.4. Fósforo na nutrição de plantas	13
1.5. Palma Forrageira miúda <i>Nopalea cochenillifera</i>	14
1.5.1. Origem Histórica.....	14
1.5.2. Características gerais da forrageira	15
1.6. Referências Bibliográficas	17
II OBJETIVOS	28
2.1. Objetivo geral	28
2.2. Objetivos específicos	28
III MATERIAL E MÉTODOS	29
IV RESULTADOS	34
V DISCUSSÕES.....	54
VI CONCLUSÃO.....	60
VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Comprimento médio de cladódios primários (CC1), comprimento médio de cladódios secundários (CC2), comprimento médio de cladódios terciários (CC3) e comprimento médio de cladódios totais (CMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	37
Tabela 2. Desdobramento das variáveis significativas para médias absolutas do incremento mensal para comprimento de cladódios secundários (CC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	38
Tabela 3. Largura média de cladódios primários (LC1), largura média de cladódios secundários (LC2), largura média de cladódios terciários (LC3) e largura média de cladódios totais (LMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	39
Tabela 4. Espessura média de cladódios primários (ESPC1), espessura média de cladódios secundários (ESPC2), espessura média de cladódios terciários (ESPC3) e espessura média de cladódios totais (ESPMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	40
Tabela 5. Taxa de alargamento de cladódios primários (TalarC1), taxa de	41

	alargamento de cladódios secundários (TalarC2), taxa de alongamento de cladódios primários (TalonC1) e taxa de alongamento de cladódios secundários (TalongC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	
Tabela 6.	Índice de área de cladódios (IAC) e altura de plantas (ALTURA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	42
Tabela 7.	Incrementos mensais para índice de área de cladódios (IAC), altura de plantas (ALTURA), número médio de cladódios primários (NUMC1), número médio de cladódios secundários (NUMC2), número médio de cladódios terciários (NUMC3) e número médio de cladódios totais (NTC) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	43
Tabela 8.	Desdobramento das variáveis significativas para médias absolutas do incremento mensal para índice de área de cladódios (IAC) e altura de plantas (ALTURA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	44
Tabela 9.	Número médio de cladódios primários (NUMC1), número médio de cladódios secundários (NUMC2), número médio de cladódios terciários (NUMC3) e número médio de cladódios totais (NUMCTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	45
Tabela 10.	Desdobramento da variável número médio de cladódio secundário (NUMC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	46

Tabela 11.	Peso médio do cladódio primário (PMEDC1), peso médio do cladódio secundário (PMEDC2), peso médio do cladódio terciário (PMEDC3), peso médio total de cladódios primários (PTOTC1), peso médio total de cladódios secundários (PTOTC2), peso médio total de cladódios terciários (PTOTC3), peso médio total de cladódios (PTOT) e peso total de cladódios ha ⁻¹ (PTOTHA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	47
Tabela 12.	Desdobramento das variáveis peso médio do cladódio secundário (PMEDC2), peso médio total de cladódios primários (PTOTC1), peso médio total de cladódios secundários (PTOTC2), peso médio total de cladódios (PTOT) e peso total de cladódios ha ⁻¹ (PTOTHA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	48
Tabela 13.	Teores médios de nitrogênio (N), proteína bruta (PB), nitrogênio indigestível em detergente neutro (NIDN) e proteína indigestível em detergente neutro (PIDN) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	50
Tabela 14.	Médias absolutas para matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE), material mineral (MM) e material orgânico (MOR) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	51
Tabela 15.	Teores médios de celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	52

Tabela 16.	Carboidratos totais (CHOt), carboidratos não fibrosos (CNFcp), nutrientes digestíveis totais (NDT), digestibilidade estimada da matéria seca (DMS), energia digestível estimada (ED) e energia metabolizável estimada (EM) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (<i>Azospirillum brasilense</i> e <i>Rhizophagus intraradices</i>) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo)	53
------------	---	----

RESUMO

CRUZ, Eliton Rubens Teixeira da. **Microrganismos promotores de crescimento e adubação química na produção da Palma Forrageira miúda**. Itapetinga, BA: UESB, 2025. 63 p. Tese (Doutorado em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de Ruminantes).*

Objetivou-se, com esse trabalho, avaliar o efeito da inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* e adubação nitrogenada e fosfatada sobre o desenvolvimento, produtividade e composição bromatológica da Palma Forrageira miúda (*Nopalea cochenillifera*). O experimento foi realizado na Fazenda União Paraná Bahia VI, localizada no município do Encruzilhada, Região Sudoeste do estado da Bahia, no período de março de 2022 a março de 2023. O experimento foi conduzido em um fatorial 2x4, em um delineamento de blocos ao acaso (DBC) com 32 parcelas de dimensões 8x4 m e dimensões úteis de 6x3 m com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram na ausência ou presença de adubação nitrogenada e fosfatada (50 kg⁻¹ ha⁻¹ de N e 30 kg⁻¹ ha⁻¹ de P₂O₅) e inoculação com microrganismos *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* (Apenas *A. brasilense*, Apenas *R. intraradices*, Coinoculação *A. brasilense*, e *R. intraradices*, e sem microrganismos). As variáveis índice de área de cladódios, altura, comprimento de cladódios primários, secundários e totais, largura de cladódios secundários, terciários e totais, número de cladódios secundários, terciários e totais, taxa de alargamento dos cladódios secundários, taxa de alongamento dos cladódios primários e secundários, peso total para cladódios de todas as ordens, peso total de cladódios ha⁻¹ e produção de matéria seca apresentaram melhores respostas quando a Palma Forrageira foi inoculada com microrganismos. Houve efeito significativo da utilização dos microrganismos para variáveis de produtividade da Palma Forrageira. Não houve diferença significativa nas características bromatológicas e espessura dos cladódios, considerando o uso dos microrganismos e adubação. A utilização de *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* em coinoculação não apresentou resultados superiores a plantas inoculadas isoladamente com *A. brasilense*. Plantas inoculadas com *A. brasilense* e *Rhizophagus intraradices* produziram um maior número de cladódios, e demonstraram melhores indicadores de crescimento quando comparadas ao controle sem microrganismos. O emprego da adubação nas quantidades utilizadas no presente estudo não supera em aspectos produtivos o uso dos microrganismos. Recomenda-se o uso desses microrganismos para que uma maior produção de Palma Forrageira seja alcançada.

Palavras-chave: adubação, bactérias, fungos, microrganismos, palma

*Orientador: Fábio Andrade Teixeira, D.Sc., UESB e Co-orientador: Natan Teles Cruz, D.Sc., UESB

ABSTRACT

CRUZ, Eliton Rubens Teixeira da. **Microorganisms that promote growth and chemical fertilization in the production of small forage palm.** Itapetinga, BA: UESB, 2025. 63 p. Thesis (Doctorate in Animal Science, Area of Concentration in Ruminant Production)*

The aim of this study was to evaluate the effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Rhizophagus intraradices* and nitrogen and phosphate fertilization on the development, productivity and bromatological composition of small forage cactus *Nopalea cochenillifera*. The experiment was conducted at Fazenda União Paraná Bahia VI, located in the municipality of Encruzilhada, southwest region of the state of Bahia, from March 2022 to March 2023. The experiment was conducted in a 2x4 factorial design, in a randomized block design (RBD) with thirty-two plots of 8x4 m and useful dimensions of 6x3 m with eight treatments and four replicates. The treatments consisted of the absence or presence of nitrogen and phosphate fertilization (50 kg-1 ha-1 of N and 30 kg-1 ha-1 of P₂O₅) and inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Rhizophagus intraradices* microorganisms (*A. brasilense* only, *R. intraradices* only, *Coinoculation of A. brasilense and R. intraradices*, and no microorganisms). The variables cladode area index, height, length of primary, secondary and total cladodes, width of secondary, tertiary and total cladodes, number of secondary, tertiary and total cladodes, rate of widening of secondary cladodes, rate of elongation of primary and secondary cladodes, total weight for cladodes of all orders, total weight of cladodes ha⁻¹ and dry matter production showed better responses when the forage cactus was inoculated with microorganisms. The use of microorganisms had a significant effect on the productivity variables of forage palm. There was no significant difference in the bromatological characteristics and cladode thickness when considering the use of microorganisms and fertilization. The use of *Azospirillum brasilense* and *Rhizophagus intraradices* in coinoculation did not show superior results to plants inoculated alone with *A. brasilense*. Plants inoculated with *A. brasilense* and *Rhizophagus intraradices* produced a greater number of cladodes and demonstrated better growth indicators when compared to the control without microorganisms. The use of fertilizer in the quantities used in the present study does not surpass the use of microorganisms in productive aspects. The use of these microorganisms is recommended to achieve greater forage palm. production.

Keywords: fertilization, bacteria, fungi, microorganisms, palm

* Advisor: Fábio Andrade Teixeira, D.Sc., UESB and Co-advisor: Natan Teles Cruz, D.Sc., UESB

I REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Introdução

A demanda pela produção de alimentos em quantidade e qualidade no mundo cresce de forma contínua, impulsionada pela necessidade global de segurança alimentar. Diante desse cenário, o setor agropecuário tem buscado ampliar a produtividade enquanto enfrenta o desafio de desenvolver soluções sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente.

Para atender à produção de alimentos em larga escala, o setor agropecuário tem recorrido ao uso de insumos químicos, o que o torna dependente de recursos finitos e potencialmente poluidores, como o petróleo, utilizado na produção de fertilizantes nitrogenados, e as rochas fosfáticas, empregadas na fabricação de adubos fosfatados. Essa dependência representa um desafio à sustentabilidade do setor, especialmente diante das instabilidades climáticas e dos impactos ambientais.

Devido a isso, o setor agropecuário brasileiro tem buscado soluções sustentáveis para aumentar os níveis de produção sem comprometer os recursos naturais e minimizar a poluição ambiental. Essas soluções visam manter a produtividade mesmo com a redução do uso de insumos químicos.

O Brasil ocupa o posto de segundo maior produtor e maior exportador de carne bovina do mundo (Brasil, 2023), além de ser o terceiro maior produtor mundial de leite (Brasil, 2023). Nessa linha, a necessidade de alimentos para sustentar esse rebanho torna-se um ponto estratégico para o setor, haja vista seu grande impacto global. Cerca de 90% da produção pecuária no Brasil é obtida sob regime de pastagens (Embrapa, 2020).

Entretanto, o regime de chuvas afeta a produção de forragem em todo o território brasileiro, não permitindo a produção eficiente de carne e leite em diversas localidades durante o período de estiagem. Na Região Nordeste, por exemplo, o clima semiárido apresenta secas prolongadas e intensas, tornando necessárias alternativas para suprir a necessidade alimentar desses animais durante o período seco.

Desse modo, a Palma Forrageira tem sido uma importante fonte de alimento para o rebanho bovino na Região Semiárida do Nordeste brasileiro, por se tratar de uma

planta rústica, capaz de se desenvolver e aumentar sua biomassa mesmo em condições de déficit hídrico. Contudo, apesar dessa resistência, a cultura apresenta alta exigência em macro e micronutrientes, sendo fortemente responsiva à fertilidade do solo (Silva *et al.*, 2014).

O uso de alternativas sustentáveis, como os microrganismos promotores de crescimento, tem ganhado destaque em forrageiras por seus efeitos benéficos tanto para a planta quanto para o solo, contribuindo para a otimização do uso e a redução da dependência de fertilizantes químicos, ao favorecer o desenvolvimento do sistema radicular e ampliar a disponibilidade de nutrientes, especialmente o nitrogênio. No entanto, embora existam avanços nesse campo, ainda são necessários mais estudos que esclareçam a aplicação e os impactos desses microrganismos na cultura da Palma Forrageira.

Nesse contexto, podem ser descritos como microrganismos benéficos as bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), como *Azospirillum brasilense*, e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), como *Rhizophagus intraradices*, os quais se destacam como insumos biológicos no cenário produtivo agropecuário (Hungria *et al.*, 2021; Jiang *et al.*, 2021; Medina *et al.*, 2009; Riter Netto *et al.*, 2014). As BPCP, especialmente a *Azospirillum brasilense*, influenciam positivamente o desenvolvimento vegetal ao colonizar nichos do sistema radicular, promovendo a fixação biológica de nitrogênio (FBN) e a produção de fitormônios, contribuindo diretamente para o crescimento do sistema radicular e da planta como um todo (Dobbelaere *et al.*, 2003; Fracasso *et al.*, 2020).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), como *Rhizophagus intraradices*, são microrganismos biotróficos obrigatórios que estabelecem uma relação mutualística com as raízes da planta hospedeira, conforme descrito por Jiang *et al.* (2021). Esses fungos colonizam o sistema radicular de forma não parasitária, recebendo compostos de carbono das plantas e, em contrapartida, formando hifas extensas que atuam como uma extensão do sistema radicular, facilitando a absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo, como o fósforo, além de contribuírem para a maior absorção de água e de outros nutrientes presentes na solução do solo.

Diante do exposto, o presente estudo teve por finalidade avaliar a influência do uso de *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* e de adubação nitrogenada e

fosfatada sobre o desenvolvimento, produção e composição bromatológica da Palma Forrageira miúda (*Nopalea cochenillifera*).

1.2. Microrganismos Promotores de Crescimento

O solo constitui um ambiente complexo que integra fatores químicos, físicos e biológicos; entre estes últimos, destacam-se as plantas, por meio de seu sistema radicular, e os diversos organismos que compõem a microbiota do solo, como fungos e bactérias. Esses organismos estabelecem diferentes formas de interação, muitas vezes mutualísticas, nas quais há benefícios recíprocos que favorecem seu estabelecimento, sobrevivência e desenvolvimento no ambiente (Porto, 2022).

Dentro do ecossistema do solo, encontram-se microrganismos promotores de crescimento, como as BPCP e os FMA, que figuram entre os grupos mais estudados na atualidade, com crescente interesse para aplicações agrícolas e pecuárias (Glick, 2014; Hungria et al., 2021). Nesse viés, as pesquisas têm se intensificado na busca por compreender as interações entre esses microrganismos e as plantas hospedeiras, investigando as relações estabelecidas e os benefícios mútuos envolvidos (Ferreira et al., 2014; Hungria et al., 2010), especialmente em sistemas produtivos que demandam maior eficiência no uso de recursos.

Face a grande diversidade microbiana presente no solo, os estudos têm se concentrado em organismos com maior potencial agropecuário e impacto produtivo, como a bactéria *Azospirillum brasilense* e o fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus intraradices* (Hungria et al., 2010; Kloepper et al., 1989; Souza, 2015; Videira et al., 2012). Esses microrganismos sobrepõem-se por sua capacidade de promover melhorias no desenvolvimento vegetal e na eficiência nutricional das culturas, tornando-se alternativas promissoras para sistemas mais sustentáveis.

1.2.1. Bactéria promotora de crescimento de plantas (BPCP) – *Azospirillum brasilense*

As bactérias do gênero *Azospirillum* spp. têm sido amplamente pesquisadas quanto à sua aptidão para uso em culturas agrícolas e pastagens. Essas bactérias apresentam resultados satisfatórios ao influenciar positivamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, especialmente por meio da FBN e da produção de fitormônios (Bulegon et al., 2017; Hungria et al., 2021).

Bactérias do gênero *Azospirillum* podem ser descritas como organismos de vida livre, que possuem a capacidade de promover o crescimento de plantas, possuindo a capacidade de fixar o nitrogênio do ar em uma forma estável e aproveitável pelas plantas. Apesar de possuírem a classificação como organismos de vida livre, podem habitar a rizosfera da planta hospedeira de maneira endofítica, estando presentes tanto na parte interna quanto na externa do sistema radicular (Okon & Labandera-Gonzalez, 1994). A interação com a planta inicia-se a partir da atração bacteriana por compostos liberados pelas raízes, como isoflavonoides e betaínas, que atuam como sinalizadores químicos e desencadeiam o processo de colonização (Taiz et al., 2017).

O processo de colonização não parasitária da bactéria no sistema radicular da planta hospedeira ocorre em duas etapas, denominadas adsorção e ancoragem. A fase de adsorção é inicial e rápida, correspondendo ao primeiro contato da bactéria com a raiz, durante o qual, em até duas horas, são produzidos compostos proteicos, como adesinas, que reforçam essa interação. Nesse estágio, a ligação ainda é reversível, podendo a bactéria se desprender facilmente da superfície radicular. Caso não ocorra esse desprendimento, inicia-se a fase de ancoragem, caracterizada por uma interação mais intensa e praticamente irreversível, na qual a bactéria passa a produzir polissacarídeos extracelulares que formam uma rede fibrilar entre a célula bacteriana e a raiz, dificultando sua remoção do local (Bashan & Holguin, 1997; Egorenkova et al., 2000).

O gênero *Azospirillum*, composto por bactérias gram-negativas diazotróficas, apresenta como características morfológicas formato espiralado ou de bastonete, ademais de flagelos curtos, geralmente únicos, utilizados para locomoção. Essas bactérias também possuem capacidade de se proliferar em ambientes microaerófilos, tanto na presença quanto na ausência de N_2 (Okon & Labandera-Gonzalez, 1994). Em estudos com trigo, cepas de *A. brasilense* demonstraram comportamento endofítico, colonizando o interior do sistema radicular no espaço intercelular, sem causar danos à planta hospedeira (Pereg Gerk et al., 2000; Taiz et al., 2017).

Ao habitar a rizosfera e o sistema radicular das plantas, essas bactérias apresentam a capacidade de realizar a FBN, contribuindo diretamente para o crescimento e o desenvolvimento do hospedeiro. Nesse processo, o N_2 é convertido em formas assimiláveis pela planta, principalmente compostos nitrogenados de natureza amoniacal, como o amônio (NH_4^+) (Rodrigues et al., 2016).

A fixação do nitrogênio atmosférico ocorre por meio da ação da enzima nitrogenase, cuja atividade é altamente sensível ao oxigênio, podendo ser inativada de forma irreversível na sua presença. Por essa razão, para que o processo de FBN ocorra de maneira eficiente, essas bactérias se desenvolvem preferencialmente em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio. Nesse sentido, a rizosfera constitui um nicho favorável, uma vez que a intensa atividade metabólica e a elevada relação carbono: nitrogênio colaboram para a redução da concentração de oxigênio, oportunizando a colonização por esses microrganismos (Bashan et al., 2004; Marchal & Vanderleyden, 2000; Taiz et al., 2017).

A enzima nitrogenase é composta por dois complexos proteicos distintos, com funções complementares na reação enzimática: a Fe-proteína e a MoFe-proteína. A Fe-proteína atua na hidrólise de Trifosfato de Adenosina (ATP) e na transferência de elétrons, viabilizando a redução da MoFe-proteína, que catalisa a redução do N_2 na presença de H^+ , resultando na formação de amônia (NH_3) e hidrogênio (H_2). A amônia produzida pode ser posteriormente protonada, originando amônio (NH_4^+), forma diretamente assimilável pelas plantas, ou ainda ser convertida em nitrato (NO_3^-) no solo, ampliando sua disponibilidade para absorção vegetal (Taiz et al., 2017).

De maneira distinta da estrutura gerada pelas bactérias do gênero *Rhizobium*, as quais produzem nódulos característicos devido a sua ação simbiótica com o hospedeiro, as bactérias do gênero *Azospirillum* não formam essa estrutura nodular no seu processo de colonização do sistema radicular da planta hospedeira, e sim se estruturam como células individuais. Utilizando-se de técnicas de microscopia eletrônica de varredura, Bashan et al. (2004), puderam detectar essas células individuais em raízes de plantas de trigo inoculado com cepas de *A. brasilense*, o que por sua vez permitiu a quantificação exata das células bacterianas no sistema radicular da planta.

Atualmente, as cepas de *A. brasilense* AbV5 e AbV6 têm se mostrado mais eficientes na fixação biológica de nitrogênio, apresentando elevada expressão da enzima nitrogenase. Essas cepas compõem produtos comerciais amplamente utilizados na agricultura e possuem desempenho superior em comparação às linhagens selvagens, resultando em maiores taxas de fixação de N_2 . Dessa forma, evidencia-se a relevância da inoculação com cepas selecionadas para a otimização dos sistemas produtivos (Bashan et al., 2004; Holguin et al., 1999; Hungria et al., 2021; Pereg Gerk et al., 2000).

Ao avaliar a produtividade do capim Marandu sob diferentes doses de adubação nitrogenada associadas à inoculação com *A. brasilense* (cepas AbV5 e AbV6), Leite et al. (2019) observaram que as plantas inoculadas tiveram incremento de 12,5% no acúmulo diário de forragem e de 11% no acúmulo anual de massa em comparação às não inoculadas. Ademais, os autores relataram desempenho superior na rebrota e no crescimento da pastagem com a utilização da bactéria.

Nessa toada, Cruz et al. (2023) informam um incremento significativo na produção de Palma Forrageira miúda quando foi feito o uso da bactéria *A. brasilense* cepas AbV5 e AbV6. Nesse trabalho, registraram a produção de 292.480 kg ha⁻¹ de material natural de Palma Forrageira quando a mesma recebeu a inoculação com a bactéria, valor 31,4% maior do que as plantas que não receberam a inoculação, as quais produziram 200.453 kg ha⁻¹. Segundo os autores, isso aconteceu devido a capacidade da bactéria em realizar a FBN e produzir fitormônios. No mesmo estudo, as plantas inoculadas com a bactéria *A. brasilense* apresentaram um menor acúmulo de amido e açúcares solúveis totais, apontado para o fato de que plantas que produziram mais assimilaram mais carboidratos e consumiram mais suas reservas e fotoassimilados para expressarem maior produção.

Resultados semelhantes têm sido verificados em outras culturas agrícolas e forrageiras, reforçando o potencial da inoculação com *A. brasilense*. Hungria et al. (2010) reportam incrementos na produtividade do milho e do trigo, com aumentos de 26% e 31%, respectivamente, em comparação às parcelas não inoculadas. De forma complementar, Andrade et al. (2019) notaram aumento de 10% na produção de *Panicum maximum* cv. BRS Tamani em relação ao controle sem inoculação. Por sua vez, Fernandes (2016) relatou maior produção de forragem de *Brachiaria decumbens* submetida à aplicação de *A. brasilense* associada a 100 kg de N ha⁻¹, com incremento de 12,5% em comparação às áreas não inoculadas.

A utilização da prática da inoculação com *A. brasilense* tem demonstrado resultados promissores à comunidade acadêmica e uma alternativa sustentável, economicamente viável e ambientalmente correta, ademais de ser eficiente no crescimento vegetal, colonizando o sistema radicular das plantas, suprimindo parte do nitrogênio usado pela cultura. As bactérias ainda possuem a capacidade produzir fitormônios, como ácido indol-3-acético (IAA) e giberelinas, que atuam no

alongamento e divisão celular da planta hospedeira, favorecendo o crescimento das culturas (Cortés-Patiño et al., 2021; Hartmann & Baldani, 2006; Hungria et al., 2010).

Deve-se ressaltar que, em razão da produção de fitormônios, a ação da bactéria não se limita à fixação de nitrogênio, colaborando para o crescimento vegetal ao estimular a divisão celular e atuar tanto no sistema radicular quanto nos tecidos aéreos. Como resultado, a planta torna-se mais resiliente, apresenta maior capacidade de interceptação de luz solar, devido ao aumento da área foliar, e maior eficiência na absorção de nutrientes, em função do crescimento e da maior expansão do sistema radicular (Bashan & Levanony, 1990; Okon & Itzigsohn, 1995).

Essas bactérias são capazes de excretar fitormônios, como giberelinas, auxinas e citocininas, desempenhando papel importante no estímulo ao desenvolvimento vegetal, especialmente no crescimento do sistema radicular. Com raízes mais desenvolvidas, a planta amplia sua capacidade de absorção de água e nutrientes, oportunizando seu estabelecimento e desempenho mesmo em condições adversas (Santi et al., 2013; Thuler et al., 2003).

Segundo Thuler et al. (2003) e Bashan et al. (2004), as bactérias do gênero *Azospirillum* são capazes de realizar a excreção de auxina (ácido indol-3-acético (IAA)), sendo que, entre as cepas estudadas do gênero *Azospirillum*, as cepas de *A. brasilense* foram as que mais excretaram essa auxina. Elas são responsáveis pela diferenciação vascular, alongamento celular e divisão celular; as auxinas foram os primeiros hormônios de plantas a serem estudados, haja vista a sua ação e impacto no desenvolvimento das plantas (Lin et al., 2012; Taiz et al., 2017).

Silva et al. (2014), identificando a microfauna presente na rizosfera da Palma Forrageira, encontraram cepas de inúmeras bactérias e, entre esses organismos, identificaram também cepas de *Azospirillum spp.*, afirmando a importância do estudo da bactéria sobre a cultura.

1.2.2. Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são os organismos que mais comumente possuem a capacidade de formar associações na natureza, possuindo uma origem estimada de 460 milhões de anos. Essa associação pode ser descrita basicamente como mutualística, ou seja, a planta hospedeira fornece carbono orgânico para o fungo e

o mesmo auxilia no fornecimento de água e nutrientes para a planta hospedeira, mantendo, assim, uma relação simbiótica (Atul-Nayyar et al., 2009).

Na atualidade, muito se tem pesquisado sobre a relação simbiótica e a interação mutualística entre as plantas e os FMAs. Essa relação possui elevado interesse agropecuário, pois há capacidade de beneficiar culturas agrícolas e pastagens, além da possibilidade de alcançar maiores patamares de produção sobre a cultura de interesse. Outrossim, vem sendo uma alternativa sustentável para que se aproveite de melhor forma os fertilizantes administrados sobre as culturas, reduzindo o impacto ambiental (Aroca, 2013; Yang et al., 2008).

Os FMAs, ao estabelecerem uma relação simbiótica com a planta hospedeira, passam a atuar diretamente sobre o sistema radicular, propiciando alterações na arquitetura das raízes que auxiliam o desenvolvimento vegetal. Como resultado, uma maior extensão radicular devido à projeção das hifas, estruturas fúngicas que ampliam a área de exploração do solo e aumentam a absorção de água e nutrientes. Destaca-se, nesse contexto, a maior eficiência na absorção de fósforo, elemento de baixa mobilidade no solo, cuja disponibilidade é limitada em sistemas radiculares menos desenvolvidos (Gamalero et al., 2009).

As micorrizas podem ser classificadas em dois grupos com atuação distinta no sistema radicular da planta hospedeira: as ectomicorrizas, que recobrem as raízes sem penetrar a epiderme, e as micorrizas arbusculares, nas quais as hifas do fungo penetram a epiderme e alcançam as células do parênquima radicular. No interior dessas células, formam-se estruturas denominadas arbúsculos, caracterizadas como um emaranhado de hifas que se localizam dentro da parede celular, sem ultrapassar a membrana plasmática, não ocasionando, portanto, a morte da célula (Sadava et al., 2009).

No ambiente externo, as hifas desempenham papel fundamental na interação entre fungo e planta, sendo responsáveis pela infecção não parasitária e pela exploração do solo. Essas estruturas apresentam diâmetro aproximado de 2 μm a 5 μm e, após o estabelecimento do fungo no hospedeiro, tornam-se capazes de transportar água e nutrientes ao penetrar em microporos do solo inacessíveis às raízes de plantas não micorrizadas, cujo diâmetro mínimo é, em média, de 15 μm . Dessa forma, a associação micorrízica amplia significativamente a capacidade de absorção hídrica e nutricional da planta, permitindo o aproveitamento de recursos que, anteriormente, não estariam disponíveis (Allen, 2009; Marulanda et al., 2003; Wu et al., 2008).

Em decorrência da ação dos fungos micorrízicos no sistema radicular, infere-se que as plantas passam a aproveitar de maneira mais eficiente os nutrientes disponíveis na solução do solo, além de maior tolerância a condições de estresse hídrico. Isso ocorre porque o aumento da projeção radicular aumenta a capacidade de absorção de água, contribuindo para a manutenção do equilíbrio osmótico e para a turgescência das células foliares. Como consequência, as plantas tornam-se mais resilientes e capazes de sustentar níveis mais elevados de produtividade, mesmo em condições ambientais adversas (Augé et al., 2008; Yang et al., 2009; ZhongQun et al., 2007).

Quando a planta é exposta a condições adversas, como a falta de água, passa a sofrer redução na sua capacidade produtiva, não sendo mais possível a absorção de nutrientes, e a medida que o estresse se intensifica, a planta passa a ser afetada por danos oxidativos em sua estrutura, levando a morte de tecidos. Fernández-Lizarazo e Moreno-Fonseca (2016) versam que plantas submetidas a inoculação com FMA passam a ter um auxílio antioxidante, retardando o efeito oxidativo das células, reduzindo os danos ocasionados pela falta de água e nutrientes a planta, dada a maior superfície de contato do sistema hifa-radicular, que possui maior capacidade de absorver água e nutrientes, impactando diretamente na produção e recuperação do organismo vegetal.

Abbaspour et al. (2012) relatam que a relação mutualística entre fungo e planta beneficia o hospedeiro, uma vez que a simbiose entre esses organismos promove maior capacidade de produção de antioxidantes enzimáticos. Esse efeito está associado ao aumento da absorção de água e nutrientes, impactando diretamente o crescimento e o desenvolvimento do organismo vegetal.

Wu et al. (2008) discorrem, em seu trabalho, que os fungos micorrízicos também proporcionam benefícios ao solo, especialmente em relação ao seu caráter estrutural. Os FMAs são capazes de formar agregados, aumentando a aeração e a porosidade do solo, principalmente devido à produção de glomalina, um conjunto de glicoproteínas liberadas após o declínio das funções vitais do fungo. Essa substância apresenta, em sua composição, aproximadamente 4% de N, 41% de H, 47% de C, 0,02% de P, 5% de O e 3% de Fe. Além disso, devido ao elevado teor de carbono em sua estrutura, os fungos micorrízicos atuam como importantes reservatórios de carbono orgânico, contribuindo para o aumento da matéria orgânica e, conseqüentemente, para a melhoria da estrutura e da fertilidade do solo (Bhale et al., 2018; He et al., 2020; Meng et al., 2020).

O fósforo é o terceiro macronutriente mais exigido pelas culturas e, segundo Augé (2004), a inoculação de plantas com FMA melhora a absorção desse nutriente. Bagyaraj et al. (2015) enfatizam que os FMAs formam redes de hifas filamentosas que auxiliam na absorção dos fosfatos disponíveis, fazendo com que essa interação mutualística tenha a capacidade de absorver o fósforo do solo e conduzi-lo através das hifas para que cheguem até a planta.

Ruiz-Lozano et al. (2012) afirmam que a eficiência na absorção e no transporte de água e nutrientes pode ser até 20% maior em plantas que estabelecem associação com FMAs, em comparação àquelas que não apresentam essa relação, tendo em vista a capacidade das hifas em explorar o solo e ampliar a captação de recursos. Na mesma linha, Yang et al. (2021) destacam que essa associação também colabora para o aumento do aporte de nitrogênio à planta hospedeira, em função do maior desenvolvimento do sistema radicular.

Nesse sentido, Tanaka e Yano (2005) observaram incrementos de até 74% na absorção de nitrogênio em plantas de milho inoculadas com FMAs, quando comparadas às não inoculadas. Esse desempenho está associado, entre outros fatores, à capacidade de expansão das hifas fúngicas no solo, que podem se estender por até 25 cm a partir do ponto de infecção, dependendo das condições edáficas e do tipo de micorriza envolvida (Jakobsen et al., 1992).

Embora a pesquisa demonstre elevado potencial quanto à utilização dos FMAs em culturas agrícolas, ainda são escassos os estudos voltados à aplicação desses microrganismos na cultura da palma forrageira miúda. Guimarães et al. (2022) realçam a carência de pesquisas relacionadas ao uso de FMAs em culturas agrícolas e pastagens, bem como a importância do avanço científico nessa área para o desenvolvimento do setor agropecuário, visando ao aumento da produtividade e à melhor compreensão dos efeitos desses fungos.

1.2.3. Interação entre bactéria promotora de crescimento de plantas (BPCP) e Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMA)

O sistema radicular das plantas abriga um ambiente complexo, composto por componentes bióticos e abióticos, sendo que a composição desse ambiente tem correlação direta com a planta e com o tipo de solo no qual está locada, visto que os fatores abióticos, como condições químicas e físicas do solo, influenciam diretamente

sobre os fatores bióticos, ou seja, os microrganismos presentes na rizosfera da planta. Esse ambiente pode abrigar microrganismos que agem em sinergismo com as plantas, como as micorrizas e as BPCPs, como o *Azospirillum spp.*, que atuam diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, realizando interações mutualísticas entre microrganismo e planta e também relações entre os próprios microrganismos (Lau & Lennon, 2011; Nadeem et al., 2014)

Além dos benefícios já relatados em culturas como milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) e pastagens, como *Brachiaria* spp., bem como em sistemas com coinoculação de microrganismos, a exemplo da soja (*Glycine max* L.) (Hungria et al., 2010; Hungria et al., 2016; Hungria et al., 2013), ressaltam-se também bactérias pertencentes ao grupo das BPCP. Essas bactérias atuam no sistema radicular da planta hospedeira, produzindo compostos durante o processo de colonização não parasitária que aumentam a permeabilidade das raízes, favorecendo o acesso de fungos micorrízicos arbusculares às células do parênquima radicular e, conseqüentemente, facilitando sua colonização (Jeffries et al., 2003).

Villarreal et al. (2016) informam que as estruturas fúngicas podem ser utilizadas pelas bactérias como vias de acesso à epiderme das raízes, permitindo que alcancem as células do parênquima radicular. Nesse ambiente, essas bactérias passam a produzir fitormônios e a realizar a FBN, estimulando o crescimento e o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, favorecendo a colonização por fungos micorrízicos. Essas interações entre os organismos ocorrem de forma indireta, como observado por Bauer et al. (2012), que não identificaram a colonização simultânea de FMAs e BPCP no mesmo local e momento no sistema radicular de pastagens, sugerindo que a bactéria pode ter favorecido previamente o estabelecimento do fungo, ainda que não esteja presente no local durante seu desenvolvimento.

Reyes Rouseaux et al. (2020) apresentaram resultados de que a inoculação associada de *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*, juntamente com adubação nitrogenada em *Brachiaria híbrida* cv. Mulato II, equivaleu a uma adubação de 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

No cenário acadêmico atual, ainda são escassos os estudos que abordam os benefícios e os resultados da coinoculação de microrganismos em culturas agrícolas, pastagens e, especialmente, na palma forrageira. Dessa forma, evidencia-se a necessidade de ampliar as pesquisas voltadas à compreensão das interações entre

diferentes microrganismos quando utilizados de forma simultânea, assim como de seus efeitos sobre o desempenho desses organismos e sobre os aspectos produtivos das plantas.

1.3. Nitrogênio na nutrição de plantas

Quando se trata de absorção de nutrientes, o nitrogênio, macronutriente primário, é o mais absorvido pelas plantas, sendo o principal componente de aminoácidos e proteínas. Ele compõe o material de carga genética das plantas (ácido desoxirribonucleico (DNA) e ácido ribonucleico (RNA)), ademais de estar diretamente ligado ao processo de fotossíntese (Hawkesford et al., 2012; Taiz et al., 2017).

Os solos da Região Nordeste do Brasil tendem a apresentar condições mais secas ou a sofrer com déficit hídrico, além de, em muitas áreas, serem mais intemperizados, com predomínio de latossolos. Essas características impactam diretamente a fertilidade e o teor de matéria orgânica, refletindo na baixa capacidade de fornecer e acumular nitrogênio na fração orgânica do solo (Cunha et al., 2012; Marques et al., 2017).

Dubeux Júnior et al. (2010) e Marques et al. (2017) discorrem que, com o aumento das doses de nitrogênio, pode-se obter incrementos de produtividade na cultura da Palma Forrageira. Entretanto Cruz et al. (2023), fertilizando a cultura da Palma Forrageira com doses crescente de nitrogênio 0, 50, 100 e 150 kg de N ha⁻¹, não obtiveram resultados significativos, sendo registrada uma produção de 217 ton de matéria verde de Palma Forrageira com 0 kg de N ha⁻¹ e 279 ton quando se utilizou 150 kg de N ha⁻¹. Já Silva et al., (2013) concluíram, em sua pesquisa, que doses de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio aliadas a 150 kg ha⁻¹ de fósforo promoveram um aumento não somente da produção, mas também dos teores de proteína bruta da planta.

Em complemento, De Souza et al. (2017), ao estudarem a adubação nitrogenada na cultura da palma forrageira em diferentes densidades de plantio, verificaram que quanto maior a densidade de plantas, maior é a exigência de nitrogênio por m². Adicionalmente, a deficiência desse nutriente pode ocasionar decréscimo na produção, mesmo em áreas menos adensadas.

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), como as do gênero *Azospirillum* spp., têm a capacidade de realizar a FBN por meio da enzima nitrogenase, convertendo o N atmosférico em formas amoniacais (NH₄⁺). Esse processo constitui uma das principais vias de incorporação de nitrogênio em sistemas agrícolas e de

pastagens, contribuindo diretamente para o desenvolvimento de culturas de interesse (Hungria *et al.*, 2010; Hungria *et al.*, 2021).

Essas bactérias podem ser utilizadas como uma alternativa para o fornecimento de nitrogênio para a cultura da Palma Forrageira. Silva *et al.* (2015) identificaram, em sua pesquisa, que objetivou identificar gêneros de bactérias presentes no sistema radicular da cultura da Palma Forrageira gigante e miúda, a presença do gênero *Azospirillum* no sistema radicular da palma. Já Pinto *et al.* (2020) versam que a cultura da Palma Forrageira possui uma elevada capacidade de responder à adubação nitrogenada e que um correto fornecimento de fertilizantes nitrogenados à cultura garante melhorias nos aspectos produtivos.

Hungria *et al.* (2021) firmam que a fixação biológica de nitrogênio promovida por bactérias do gênero *Azospirillum* pode auxiliar no fornecimento desse nutriente para culturas de interesse agropecuário, enquanto Silva *et al.* (2016) destacam o nitrogênio como um dos principais responsáveis por incrementos produtivos na cultura da palma forrageira. Diante disso, frisa-se a necessidade de ampliar os estudos relacionados ao fornecimento de nitrogênio para essa cultura.

1.4. Fósforo na nutrição de plantas

A maior disponibilidade de fósforo para a planta aumenta a capacidade de formação de ATP, essencial como fonte de energia para a assimilação do nitrogênio em aminoácidos e proteínas. Isso ocorre porque o nitrogênio é componente fundamental de enzimas, DNA e RNA, além de integrar a clorofila e desempenhar papel central no processo de fotossíntese (Hawkesford *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2016; Taiz *et al.*, 2017).

O Fósforo (P) e o Nitrogênio (N) podem ser absorvidos pela palma de forma conjunta, interagindo de maneira sinérgica e resultando em aumento da produtividade quando manejados adequadamente, com desempenho superior ao observado em aplicações isoladas (Stewart *et al.*, 2005). Quando aplicados simultaneamente, esses nutrientes também estimulam o crescimento radicular e aceleram o metabolismo vegetal, promovendo maior absorção de nutrientes e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento da planta (Prado, 2008; Souza *et al.*, 2017).

Segundo Dubeux *et al.* (2006), a produtividade da palma cultivar gigante é prejudicada em solos com teores de fósforo inferiores a 10 mg dm⁻³, enfatizando a

necessidade de correção desse nutriente no solo. Nesse prisma, Medina et al. (2009), ao avaliarem o uso de micorrizas em culturas como milho e soja, notaram incrementos de produtividade variando de 4 a 19% em tratamentos que não receberam fertilização fosfatada, mas foram inoculados com o fungo, demonstrando o potencial desses microrganismos em otimizar a disponibilidade de fósforo para as plantas. Por seu turno, avaliando doses de fósforo em Palma Forrageira, Oliveira et al. (2018) identificaram que a maior densidade do sistema radicular ocorreu para a dose de 10 g de superfosfato simples por planta em um espaçamento entre plantas de 15 cm.

Nessa conjuntura, Soares et al. (2007) relatam que a maioria dos solos das regiões temperadas possuem algum tipo de deficiência quanto ao P, necessitando de correção e adubação para o correto desenvolvimento das plantas. A importância da adubação fosfatada pode ser constatada pelo importante papel que o P possui para o desenvolvimento da planta. Snyman (2004), em experimento conduzido na África do Sul, verificou que aproximadamente 11% da massa total das plantas correspondia às raízes, observando também que, sob baixas doses de P, esse nutriente tende a permanecer retido no sistema radicular, em função de sua baixa mobilidade.

Riter Netto et al. (2014) demonstram os efeitos benéficos da adequada adubação fosfatada para o desenvolvimento das culturas. Ademais, indicam que o uso de fungos micorrízicos pode auxiliar e aprimorar a absorção desse nutriente pelas plantas.

Destaca-se que não há estudos que avaliem o uso de fungos micorrízicos na cultura da Palma Forrageira, tampouco sua associação com a adubação fosfatada. Frente a isso, torna-se necessária a realização de pesquisas que investiguem os efeitos da utilização desses microrganismos e do P sobre o desempenho produtivo da cultura.

1.5. Palma Forrageira miúda *Nopalea cochenillifera*

1.5.1. Origem Histórica

A Palma Forrageira, originária do México e pertencente à família Cactaceae, sobrepõe-se pela elevada capacidade de produção de matéria seca por unidade de área cultivada, além de ser amplamente utilizada como importante fonte de energia na alimentação animal (Inglese, 2010; Marques et al., 2017). Essa espécie apresenta elevada adaptação a condições adversas, especialmente em ambientes áridos e com

restrição hídrica, característica que favoreceu sua ampla propagação e estabelecimento em diferentes regiões (Silva et al., 2015; Souza et al., 2017).

Sales (2010) estima que a área cultivada com Palma Forrageira no Semiárido brasileiro pode atingir 600 mil hectares. Historicamente, essa expansão foi impulsionada por iniciativas governamentais, como em 1932, quando o Governo Federal fomentou e destinou recursos para a implantação de 200 áreas de produção no Norte e Nordeste do Brasil, com o objetivo de mitigar os efeitos da estiagem e melhorar os aspectos produtivos da região.

No Brasil, a Palma Forrageira foi introduzida em 1877 com o objetivo inicial de exploração do corante carmim, associado à cochonilha que infestava a palma gigante; no entanto, a praga acabou dizimando os palmais, tornando necessária a introdução de uma cultivar resistente, a Palma Forrageira miúda, em função de sua aptidão agropecuária (Pupo, 1979). Nesse contexto, a cultura passou a desempenhar papel fundamental na alimentação de rebanhos em regiões áridas, podendo representar até 80% da dieta em períodos de estiagem severa (Oliveira et al., 2018).

1.5.2. Características gerais da forrageira

A Palma Forrageira tem sido amplamente utilizada como alimento base para animais, sobretudo para rebanhos bovinos nas Regiões Semiáridas brasileiras. Nessas condições, além de apresentar elevada resiliência e resistência ao estresse hídrico, a cultura se destaca pelo alto potencial produtivo e valor nutricional (Embrapa, 2015).

A Palma Forrageira miúda pode ser caracterizada, consoante Dubeux Jr. et al. (2015), Lopes (2012) e Marques et al. (2017), como uma planta pertencente a divisão Embryophyta, subdivisão Angiospermea, classe Dicotyledoneae, subclasse Archiclamideae, ordem Opuntiales e família Cactácea. Caracteriza-se como herbácea de médio a pequeno porte, com ramificações entre os cladódios, onde cada cladódio (raquete) pode ter morfometria variável, chegando até 30 cm de comprimento e 15 cm de largura na sua maior extremidade, atingindo um peso variável que pode chegar até 1 kg. Possui, ainda, cladódios com um formato oval, apresenta alta capacidade de aproveitamento de água e é altamente responsiva a adubação e a fertilidade de solo.

A Palma Forrageira define-se por uma alta capacidade adaptativa, ademais de tolerar estresse hídrico e aproveitar de melhor forma a água absorvida em comparação com as demais plantas, o que se deve ao metabolismo *Crassulacean Acid Metabolism*

(CAM). Esse metabolismo faz com que os seus estômatos sejam abertos apenas no período noturno, quando o déficit de umidade no ar é reduzido, evitando maiores perdas de água, fazendo com que as trocas gasosas e absorção de CO₂ sejam realizadas durante a noite, permitindo que a perda de água durante a captura do CO₂ chegue a ser dez vezes menor quando comparadas com plantas C3 e C4 (Dubeux Júnior et al., 2010; Oliveira et al., 2010; Taiz et al., 2017).

De um modo geral, a cultura da Palma Forrageira é comumente plantada sem as devidas correções do solo e adubação, o que, por sua vez, faz com que a forrageira limite a sua produção. Quintanar et al. (2006) realçam, em sua pesquisa, que os nutrientes mais extraídos pela cultura são o N, P, K, Ca e Mg. Nesse rumo, Alencar et al. (2011) denotam que a adubação orgânica em Palma Forrageira pode auxiliar no crescimento e desenvolvimento da planta, sendo uma importante fonte de N e P e uma alternativa para se elevar os aspectos produtivos da cultura. Rocha (2012) e Souza (2015) relatam que a cultura prefere solos argilo-arenosos para o seu desenvolvimento, pois facilita o aprofundamento do sistema radicular para absorção de água e nutrientes, e com boa drenagem, dado que a cultura não tolera alagamentos.

Atualmente, buscando maiores produtividade por unidade de área, o cultivo adensado de Palma Forrageira tem sido uma alternativa de produção. Dubeux Jr. et al. (2015) observaram que um cultivo de palma adensada, acima de 30 mil plantas por hectare seria capaz de produzir 30 ton. ha⁻¹ano⁻¹ de matéria seca. Para que a planta consiga expressar um aporte produtivo de acordo com o seu potencial é de fundamental importância que o solo forneça os nutrientes necessários para que a planta possa realizar suas funções metabólicas e se desenvolver (Taiz et al., 2017).

Nessa perspectiva, Santos et al. (2011) obtiveram produção de Palma Forrageira 55 ton. ha⁻¹ano⁻¹ de matéria seca para cultura que recebeu fertilização com N, P e Potássio. Altas produtividades de palma, com população adensada de 50.000 plantas por hectare, irrigadas e adubadas, foram alcançadas por Lima et al. (2015), que conseguiram até 350 ton. ha⁻¹ano⁻¹ de matéria verde.

Padilha Junior et al. (2016) retrataram resultados na produção de forragem 37% superior ao controle, quando a cultura recebeu adubação nitrogenada e fosfatada. Os autores alegam que a cultura apresentou um maior desenvolvimento de raízes, o que, consequentemente, resultou em maior crescimento da parte aérea e da planta como um

todo, refletindo em número de cladódios superiores e com maiores dimensões (Dubeux Júnior et al., 2010; Rego et al., 2014).

Esse desempenho pode ser explicado, em parte, pela atuação do P no metabolismo vegetal. Esse nutriente contribui para a formação de ATP, essencial para a produção de fotoassimilados, aminoácidos e proteínas, auxiliando no aproveitamento do N absorvido pela planta (Hawkesford et al., 2012; Silva et al., 2016).

Solos mais arenosos, com teores de fósforo inferiores a 10 mg dm^{-3} , prejudicam o desenvolvimento da Palma Forrageira; por outro lado, a correção desse nutriente promove o desenvolvimento do sistema radicular. Quando o P é aplicado em conjunto com o nitrogênio, esses macronutrientes primários influenciam em um melhor desenvolvimento e crescimento da forrageira (Oliveira et al., 2018; Silva et al., 2016; Stewart et al., 2005).

Em consonância com esse cenário, Soares et al. (2007) informam que a deficiência de fósforo é um dos principais fatores que restringem a produtividade das culturas em solos brasileiros, sendo esse nutriente fundamental para o crescimento e desenvolvimento de plantas forrageiras, ao influenciar diretamente a morfogênese vegetal. Além do fósforo, a Palma Forrageira também apresenta elevada exigência em potássio, elemento que atua como regulador osmótico e no funcionamento do complexo estomático, controlando a abertura e o fechamento dos estômatos e, por conseguinte, o turgor celular dos cladódios, participando de diversas funções enzimáticas na planta (Hernández-Urbiola et al., 2010).

O cálcio também é de imprescindível para a produção da forrageira, uma vez que a cultura chega a extrair 470 kg ha^{-1} para cada 20 toneladas de matéria seca (Dubeux et al., 2006).

Dubeux Júnior et al. (2010) destacam que a cultura da Palma Forrageira tem elevada exigência quanto aos aspectos nutricionais do solo. Os autores ressaltam que, quanto maior o adensamento de plantio, maior é a demanda por nutrientes por unidade de área, tornando necessário o adequado fornecimento de macro e micronutrientes para o pleno desenvolvimento da cultura.

1.6. Referências Bibliográficas

ABBASPOUR, H.; SAEIDI-SAR, S.; AFSHARI, H.; ABDEL-WAHHAB, M. A. Tolerance of Mycorrhiza infected Pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress

- under glasshouse conditions. **Journal of Plant Physiology**. v. 169, 7, p. 704–709. 2012
- ALENCAR, F. H. H. et al. Efeito da adubação orgânica e do espaçamento sobre a altura e o número de cladódios da Palma Forrageira variedade. **In: 2 Congresso Brasileiro de Palma e Outras Cactáceas**. 2011
- ALLEN, M. F. Bidirectional Water Flows through the Soil-Fungal-Plant Mycorrhizal Continuum. **New Phytologist**. v. 182, p. 290–293. 2009
- ANDRADE, R. A.; OLIVEIRA PORTO, M.; CAVALI, J.; FERREIRA, E.; BERGAMIN, A. C.; RÉGIS DE SOUZA, F.; SOARES DE AGUIAR, I. Azospirillum brasilense e fosfato natural reativo no estabelecimento de forrageira tropical. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 42, 1, p. 146–154. 2019
- ATUL-NAYYAR, A.; HAMEL, C.; HANSON, K.; GERMIDA, J. The arbuscular mycorrhizal symbiosis links N mineralization to plant demand. **Mycorrhiza**. v. 19, 4, p. 239–246. 2009
- AUGÉ, R. M. Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 84, 4, p. 373–381. 2004
- AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAMS, C. E.; NASIM, G. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. **Mycorrhiza**. v. 18, 3, p. 115–121. 2008
- BAGYARAJ, D. J.; SHARMA, M. P.; MAITI, D. Phosphorus nutrition of crops through arbuscular mycorrhizal fungi. **Current Science**. v. 108. 2015
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Azospirillum – plant relationships: environmental and physiological advances (1990–1996). **Canadian Journal of Microbiology**. v. 43, 2, p. 103–121. 1997
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. Azospirillum -plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**. v. 50, 8, p. 521–577. 2004
- BASHAN, Y.; LEVANONY, H. Current status of Azospirillum inoculation technology: Azospirillum as a challenge for agriculture. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 36, 9, p. 591–608. 1990
- BASHIR, S.; ZHU, J.; FU, Q.; HU, H. Cadmium mobility, uptake and anti-oxidative response of water spinach (*Ipomoea aquatic*) under rice straw biochar, zeolite and rock phosphate as amendments. **Chemosphere**. v. 194, p. 579–587. 2018
- BAUER, J. T.; KLECZEWSKI, N. M.; BEVER, J. D.; CLAY, K.; REYNOLDS, H. L. Nitrogen-fixing bacteria, arbuscular mycorrhizal fungi, and the productivity and structure of prairie grassland communities. **Oecologia**. v. 170, 4, p. 1089–1098. 2012
- BHALE, U. N.; BANSODE, S. A.; SINGH, S. Multifactorial Role of Arbuscular Mycorrhizae in Agroecosystem. Singapore: Springer Singapore, 2018. p. 205–220

BRASIL. **Brasil conquista novo mercado para exportação de carnes.** In: **Ministério da Agricultura e Pecuária.** 2023. ISSN: 1098-6596. ISBN: 9788578110796. Available at: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/brasil-conquista-novo-mercado-para-exportacao-de-carnes%0A>. acessado: 26 set. 2023

BRASIL. **Mapa do Leite: Políticas Públicas e Privadas para o Leite.** In: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** 2023. Available at: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/producao-animal/mapa-do-leite%0A>. acessado: 26 set. 2023

BULEGON, L. G.; BATTISTUS, A. G.; GUIMARÃES, V. F.; INAGAKI, A. M.; OFFEMANN, L. C.; SOUZA, A. K. P. De; OLIVEIRA, P. S. R. De. Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. **Australian Journal of Crop Science.** v. 11, 10, p. 1283–1289. 2017

CORTÉS-PATIÑO, S.; VARGAS, C.; ÁLVAREZ-FLÓREZ, F.; BONILLA, R.; ESTRADA-BONILLA, G. Potential of *Herbaspirillum* and *Azospirillum* Consortium to Promote Growth of Perennial Ryegrass under Water Deficit. **Microorganisms.** v. 9, 1, p. 91. 2021

CRUZ, E. R. T.; TEIXEIRA, F. A.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; CRUZ, N. T.; ROSSA, F.; SANTOS, A. P. S.; PORTO, E. M. V.; SILVA, H. S. Yield and morphology of *Nopalea cochenillifera* under N fertilization and biological inoculation. **Agronomy Research.** v. 21, Special Issue 3, p. 1464–1472. 2023

CUNHA, D. de N. F. V. Da; GOMES, E. dos S.; MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L. De; SILVA, R. C.; FERREIRA, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em Palma Forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal.** v. 13, 4, p. 1156–1165. 2012

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C. .; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVADO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos.** 2012

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant Growth-Promoting Effects of Diazotrophs in the Rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences.** v. 22, 2, p. 107–149. 2003

DUBEUX, J. C. B.; DOS SANTOS, M. V. F.; DE ANDRADE LIRA, M.; DOS SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller under different N and P fertilization and plant population in north-east Brazil. **Journal of Arid Environments.** v. 67, 3, p. 357–372. 2006

DUBEUX JR., J. C. B.; DOS SANTOS, M. V. F.; DE MELLO, A. C. L.; VIEIRA DA CUNHA, M.; DE A. FERREIRA, M.; DOS SANTOS, D. C.; DE A. LIRA, M.; DA C. SILVA, M. FORAGE POTENTIAL OF CACTI ON DRYLANDS. **Acta Horticulturae.** 1067, p. 181–186. 2015

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M.

A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da Palma Forrageira –Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 5, 1, p. 129–135. 2010

EGORENKOVA, I. V.; KONNOVA, S. A.; SKVORTSOV, I. M.; IGNATOV, V. V. Investigation of the initial stages of interaction of the bacterium *Azospirillum brasilense* with wheat seedling roots: Adsorption and root hair deformation. **Microbiology**. v. 69, 1, p. 103–108. 2000

EMBRAPA. **Pastagens do Brasil: geração de alimentos, couro, cosméticos e medicamentos**. 2020

FERNANDES, J. S. **Azospirillum brasilense e adubação nitrogenada na Brachiaria decumbens**. Universidade Federal da Grande Dourados. 2016

FERNÁNDEZ-LIZARAZO, J. C.; MORENO-FONSECA, L. P. Mechanisms for tolerance to water-deficit stress in plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. A review. **Agronomía Colombiana**. v. 34, 2, p. 179–189. 2016

FERREIRA, E. P. de B.; KNUPP, A. M.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. Crescimento de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) influenciado pela inoculação com bactérias promotoras de crescimento de plantas. **Bioscience Journal**. v. 30, 3, p. 655–665. 2014

FRACASSO, A.; TELÒ, L.; LANFRANCO, L.; BONFANTE, P.; AMADUCCI, S. Physiological Beneficial Effect of Rhizophagus intraradices Inoculation on Tomato Plant Yield under Water Deficit Conditions. **Agronomy**. v. 10, 1, p. 71. 2020

FROTA, M. N. L. Da; CARNEIRO, M. S. de S.; CARVALHO, G. M. C.; NETO, R. B. de A. **Palma Forrageira na alimentação animal**. Teresina. 2015

GAMALERO, E.; BERTA, G.; GLICK, B. R. The Use of Microorganisms to Facilitate the Growth of Plants in Saline Soils. In: KHAN, M. S.; ZAIDI, A.; MUSARRAT, J. (orgs.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 1–22

GLICK, B. R. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. **Microbiological Research**. v. 169, 1, p. 30–39. 2014

GUIMARÃES, G. S.; RONDINA, A. B. L.; SANTOS, M. S.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Pointing Out Opportunities to Increase Grassland Pastures Productivity via Microbial Inoculants: Attending the Society's Demands for Meat Production with Sustainability. **Agronomy**. v. 12, 8, p. 1748. 2022

HARTMANN, A.; BALDANI, J. I. The Genus *Azospirillum*. New York, NY: Springer New York, 2006. p. 115–140

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I. S.; WHITE, P. Functions of Macronutrients. Elsevier, 2012. p. 135–189

HE, J.-D.; CHI, G.-G.; ZOU, Y.-N.; SHU, B.; WU, Q.-S.; SRIVASTAVA, A. K.; KUČA, K. Contribution of glomalin-related soil proteins to soil organic carbon in

trifoliolate orange. **Applied Soil Ecology**. v. 154, November 2019, p. 103592. 2020

HERNÁNDEZ-URBIOLA, M. I.; CONTRERAS-PADILLA, M.; PÉREZ-TORRERO, E.; HERNÁNDEZ-QUEVEDO, G.; ROJAS-MOLINA, J. I.; CORTES, M. E.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, M. E. Study of Nutritional Composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Redonda) at Different Maturity Stages. **The Open Nutrition Journal**. v. 4, 1, p. 11–16. 2010

HOLGUIN, G.; PATTEN, C. L.; GLICK, B. R. Genetics and molecular biology of *Azospirillum*. **Biology and Fertility of Soils**. v. 29, 1, p. 10–23. 1999

HUNGRIA, M.; ANTONIO, M.; SILVA, R. Agriculture , Ecosystems and Environment Inoculation of *Brachiaria* spp . with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. “**Agriculture, Ecosystems and Environment**”. v. 221, p. 125–131. 2016

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**. v. 331, 1–2, p. 413–425. 2010

HUNGRIA, M.; MENDES, L. C.; MERCANTE, F. M. **Tecnologia de fixação biológica do nitrogênio com o feijoeiro: viabilidade em pequenas propriedades familiares e em propriedades tecnificadas**. Londrina, PR. 2013

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**. v. 463, 1–2, p. 171–186. 2021

INGLESE, P. CaCTus Pear, Opuntia ficus-inDiCA L. (Mill.) for fruIT ProDuCTIon: an overvIeW. Ethiopia, 2010

JAKOBSEN, I.; ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. External hyphae of vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. **New Phytologist**. v. 120, 4, p. 509–516. 1992

JEFFRIES, P.; GIANINAZZI, S.; PEROTTO, S.; TURNAU, K.; BAREA, J.-M. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. **Biology and Fertility of Soils**. v. 37, 1, p. 1–16. 2003

JIANG, F.; ZHANG, L.; ZHOU, J.; GEORGE, T. S.; FENG, G. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance mineralisation of organic phosphorus by carrying bacteria along their extraradical hyphae. **New Phytologist**. v. 230, 1, p. 304–315. 2021

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends in Biotechnology**. v. 7, 2, p. 39–44. 1989

KORASICK, D. A.; ENDERS, T. A.; STRADER, L. C. Auxin biosynthesis and storage forms. **Journal of Experimental Botany**. v. 64, 9, p. 2541–2555. 2013

LAU, J. A.; LENNON, J. T. Evolutionary ecology of plant–microbe interactions: soil microbial structure alters selection on plant traits. **New Phytologist**. v. 192, 1, p. 215–224. 2011

LEITE, R. D. C.; DOS SANTOS, J. G. D.; SILVA, E. L.; ALVES, C. R. C. R.; HUNGRIA, M.; LEITE, R. D. C.; DOS SANTOS, A. C. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. **Crop & Pasture Science**. v. 70, 1, p. 61–67. 2019

LIMA, G. F. C.; RÊGO, M. M. T.; AGUIAR, E. M.; SILVA, J. G. M.; DANTAS, F. D. G.; GUEDES, F. X.; LÔBO, R. N. B. EFFECT OF DIFFERENT CUTTING INTENSITIES ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PRODUCTIVITY OF IRRIGATED NOPALEA FORAGE CACTUS. **Acta Horticulturae**. v. 1067, 1067, p. 253–258. 2015

LIN, L.; LI, Z.; HU, C.; ZHANG, X.; CHANG, S.; YANG, L.; LI, Y.; AN, Q. Plant Growth-Promoting Nitrogen-Fixing Enterobacteria Are in Association with Sugarcane Plants Growing in Guangxi, China. **Microbes and environments**. v. 27, 4, p. 391–398. 2012

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

MARCHAL, K.; VANDERLEYDEN, J. The “oxygen paradox” of dinitrogen-fixing bacteria. **Biology and Fertility of Soils**. v. 30, 5–6, p. 363–373. 2000

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. de P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. dos S.; NETO, O. de S. P. Palma Forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciência Agrária**. v. 9, 1, p. 75–93. 2017

MARULANDA, A.; AZCÓN, R.; RUIZ-LOZANO, J. M. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. **Physiologia Plantarum**. v. 119, 4, p. 526–533. 2003

MEDINA, J. F. A.; GARZA, M. B. I.; PRADO, A. D.; CABRERA, O. A. G.; RIO, M. D. los A. P. Del; OSTI, C. L.; BAEZA, À. G. **Los biofertilizantes microbianos: alternativa para la agricultura en México**. 5. ed. Inifap. 2009

MENG, L.-L.; HE, J.-D.; ZOU, Y.-N.; WU, Q.-S.; KUČA, K. Mycorrhiza-released glomalin-related soil protein fractions contribute to soil total nitrogen in trifoliate orange. **Plant, Soil and Environment**. v. 66, 4, p. 183–189. 2020

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology Advances**. v. 32, 2, p. 429–448. 2014

OKON, Y.; ITZIGSOHN, R. The development of *Azospirillum* as a commercial inoculant for improving crop yields. **Biotechnology Advances**. v. 13, 3, p. 415–424. 1995

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of azospirillum: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 26, 12, p. 1591–1601. 1994

OLIVEIRA, F. T. De; SOUTO, J. S.; SOUTO, P. C.; ARAÚJO, A. M. De; HAFLE, O. M.; PEREIRA JUNIOR, E. B. Densidade radicular da Palma Forrageira em diferentes espaçamentos. **Revista de Agroecologia no Semiárido**. v. 2, 1, p. 19. 2018

OLIVEIRA, P. De; KLUTHCOUSK, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. de C. Sistema Santa Brígida – Tecnologia Embrapa: Consorciação de Milho com Leguminosas. **Circular técnica 88 - Embrapa**. 2010

PADILHA JUNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfológicas e rendimento da Palma Forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 11, 1, p. 67. 2016

PEREG GERK, L.; GILCHRIST, K.; KENNEDY, I. R. Mutants with Enhanced Nitrogenase Activity in Hydroponic Azospirillum brasilense -Wheat Associations. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 66, 5, p. 2175–2184. 2000

PIMENTEL, R. R.; MACHADO, S. R.; ROCHA, J. F. Estruturas secretoras de Pavonia alnifolia (Malvaceae), uma espécie ameaçada de extinção. **Rodriguésia**. v. 62, 2, p. 253–262. 2011

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. Da; DINIZ, W. J. da S.; CARVALHO, H. F. de S.; MOURA, M. S. B. De. Indirect methods for determining the area index of forage cactus cladodes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 45, 2, p. 163–171. 2015

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

PORTO, E. M. V. **Microrganismos promotores de crescimento de plantas mitigam o estresse hídrico durante a rebrotação do capim- buffel**. : Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. 2022

PRADO, R. D. M. **MANUAL DE NUTRIÇÃO DE PLANTAS FORRAGEIRAS**. Jaboticabal: Funep. 2008

PUPO, N. I. H. **Manual De Pastagens E Forrageiras – Formacao Conservacao Utilizacao**. Instituto. 1979

QUINTANAR, R. M.; CEPEDA, R. D. V.; MACÍAS, F. B.; GARDUÑO, R. R. R.; MADRID, M. M.; RODRÍGUEZ, F. J. M.; AMADOR, B. M.; HERNÁNDEZ, J. L. G. Nutrient interactions in cactus pear (Opuntia ficus-indica) and their effect on biomass production. **Acta Horticulturae**. v. 728, p. 145–150. 2006

REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. **Revista Científica de**

Produção Animal. v. 16, 2, p. 118–130. Dordrecht. 2014

REYES ROUSEAUX, R.; GONZÁLEZ CAÑIZARES, P. J.; RAMÍREZ PEDROSO, J. F. Biofertilization with *Azospirillum brasilense* and *Rhizoglosum irregulare* and reduction of nitrogen fertilization in *Urochloa* hybrid cv. Mulatto II. **Cuban Journal of Agricultural Science.** v. 54, 4, p. 611–620. 2020

RITER NETTO, A. F.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; CARVALHO, A. J. C.; VITORAZI FILHO, J. A. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares na bioprodução de fenóis totais e no crescimento de *Passiflora alata* Curtis. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais.** v. 16, 1, p. 1–9. 2014

ROCHA, J. E. da S. **Documentos 106: Palma Forrageira no Nordeste do Brasil: Estado da Arte.** 2012

RODRIGUES, A. A.; FORZANI, M. V.; SOARES, R. de S.; SIBOV, S. T.; VIEIRA, J. D. G. Isolation and selection of plant growth-promoting bacteria associated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Tropical.** v. 46, 2, p. 149–158. 2016

RUIZ-LOZANO, J.; PORCEL, R.; BÁRZANA, G.; AZCÓN, R.; AROCA, R. Contribution of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis to Plant Drought Tolerance: State of the Art. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 335–362

SADAVA, D.; HELLER, C.; PURVES, W. K.; HILLIS, D. M. **Vida: A Ciência da Biologia.** Volume II: Porto Alegre. 2009

SALES, A. Sistemas De Producción De Nopal Forrajero En Brasil. **RESPYN Revista Salud Pública y Nutrición.** v. 2010. 2010

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Annals of Botany.** v. 111, 5, p. 743–767. 2013

SANTOS, M. E. R.; FONSECA, D. M. Da; BRAZ, T. G. dos S.; SILVA, S. P. Da; GOMES, V. M.; SILVA, G. P. Características morfogênicas e estruturais de perfilhos de capim-braquiária em locais do pasto com alturas variáveis. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 40, 3, p. 535–542. 2011

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. De. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos.** Viçosa, MG. 2002

SILVA, J. A. Da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S.; PADILHA JÚNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. e. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v. 20, 6, p. 564–569. 2016

SILVA, L. M. Da; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. de A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da Palma Forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural.** v. 44, 11, p. 2064–2071. 2014

SILVA, M. L. R. B. Da; FIGUEIRÔA, C. dos S.; MERGULHÃO, A. C. do E. S.;

LYRA, M. do C. C. P. De. IDENTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS DIAZOTRÓFICAS ISOLADAS EM CULTIVARES DE PALMA (*Opuntia* e *Nopalea*) USANDO O GENE *recA*. **Biosci. j.(Online)**, v. 31, 2, p. 577–583. 2015

SILVA, M. L. R. B. Da; MERGULHÃO, A. C. do E. S.; FIGUEROA, C. dos S.; CORDEIRO, D. dos S.; LYRA, M. do C. C. P. De. Diversidade da microbiota endofítica na cultura da palma (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) no Semiárido de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**. v. 19, 1, p. 3–10. 2014

SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; DONATO, P. E. R. Composição bromatológica de Palma Forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 8, 2, p. 342–350. 2013

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; DE MORAIS, J. E. F.; DA SILVA DINIZ, W. J.; DE SOUZA, C. A. A.; DA CONCEIÇÃO SILVA, M. Crescimento e produtividade de clones de Palma Forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**. v. 28, 2, p. 10–18. 2015

SNIFFEN, C. J.; O’CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**. v. 70, 11, p. 3562–3577. 1992

SNYMAN, H. A. Effect of various water application strategies on root development of *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* under greenhouse growth conditions. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**. v. 6, November, p. 35–61. 2004

SOARES, I.; LIMA, S. C.; CRISÓSTOMO, L. A. Crescimento e composição mineral de mudas de gravioleira em resposta a doses de fósforo. **Revista Ciência Agronômica**. v. 38, 4, p. 343–349. 2007

SOUZA, T. C. D. E. **Sistemas De Cultivo Para a Palma Forrageira Cv. Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck)**. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO, UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. 2015

SOUZA, T. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; CUNHA, M. V.; LIMA, L. E.; SILVA, R. R. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**. v. 12, 4, p. 555–560. 2017

SPAEPEN, S.; DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; VANDERLEYDEN, J. Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. **Plant and Soil**. v. 312, 1–2, p. 15–23. 2008

STEWART, W. M.; DIBB, D. W.; JOHNSTON, A. E.; SMYTH, T. J. The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production. **Agronomy Journal**. v. 97, 1, p. 1–6. 2005

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6°. 2017

THULER, D. S.; FLOH, E. I. S.; HANDRO, W.; BARBOSA, H. R. Plant growth regulators and amino acids released by *Azospirillum* sp. in chemically defined media. **Letters in Applied Microbiology**. v. 37, 2, p. 174–178. 2003

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994

VIDEIRA, S. S.; DE OLIVEIRA, D. M.; DE MORAIS, R. F.; BORGES, W. L.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Genetic diversity and plant growth promoting traits of diazotrophic bacteria isolated from two *Pennisetum purpureum* Schum. genotypes grown in the field. **Plant and Soil**. v. 356, 1–2, p. 51–66. 2012

VILLARREAL, T. C.; MEDINA, M. E.; ULLOA, S. M.; DARWIN, R. O.; BANGEPPAGARI, M.; SELVARAJ, T.; SIKANDAR, I. M. Effect of Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and *Azospirillum* on growth and nutrition of banana plantlets during acclimatization phase. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**. v. 6, 6, p. 131–138. 2016

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. de A.; BATISTA, Â. M. V.; VÉRAS, A. S. C.; BISPO, S. V.; SILVA, F. M. Da; SANTOS, V. L. F. Dos. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e fenos em associação à Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v. 13, 2, p. 444–456. 2012

WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. *In*: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS 1999, Rochester.

WU, Q. S.; XIA, R. X.; ZOU, Y. N. Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress. **European Journal of Soil Biology**. v. 44, 1, p. 122–128. 2008

YANG, C. W.; XU, H. H.; WANG, L. L.; LIU, J.; SHI, D. C.; WANG, D. L. Comparative effects of salt-stress and alkali-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants. **Photosynthetica**. v. 47, 1, p. 79–86. 2009

YANG, L.; ZOU, Y. N.; TIAN, Z. H.; WU, Q. S.; KUČA, K. Effects of beneficial endophytic fungal inoculants on plant growth and nutrient absorption of trifoliate orange seedlings. **Scientia Horticulturae**. v. 277, October 2020. 2021

YANG, Y.; CHEN, Y.; LI, W. Arbuscular mycorrhizal fungi infection in desert riparian forest and its environmental implications: A case study in the lower reach of Tarim River. **Progress in Natural Science**. v. 18, 8, p. 983–991. 2008

ZHAO, L.; DENG, Z.; YANG, W.; CAO, Y.; WANG, E.; WEI, G. Diverse rhizobia associated with *Sophora alopecuroides* grown in different regions of Loess Plateau in China. **Systematic and Applied Microbiology**. v. 33, 8, p. 468–477. 2010

ZHONGQUN, H.; CHAOXING, H.; ZHIBIN, Z.; ZHIRONG, Z.; HUAISONG, W. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. v. 59, 2, p. 128–133. 2007

II OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito da utilização da bactéria *Azospirillum brasilense*, do fungo *Rhizophagus intraradices* e da presença de adubação nitrogenada e fosfatada sobre o desenvolvimento, produção e composição bromatológica da Palma Forrageira miúda (*Nopalea cochenillifera*).

2.2. Objetivos específicos

Avaliar a influência da bactéria *Azospirillum brasilense*, do fungo *Rhizophagus intraradices* e da adubação nitrogenada e fosfatada sobre as seguintes variáveis da Palma Forrageira:

- Peso dos cladódios (matéria verde e matéria seca);
- Número de cladódios primários, secundários e de demais ordens;
- Morfometria dos cladódios;
- Morfogênese;
- Características bromatológicas.

III MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda União Paraná Bahia VI, Zona do Rio do Curral, Encruzilhada, BA. As coordenadas geográficas em que área experimental está localizada são 15° 33' 35" de latitude Sul, 40° 43' 39" de longitude Oeste e uma altitude aproximada de 890 metros. A região é caracterizada por possuir clima tropical, com precipitação média anual de 777 mm, temperatura média anual de 22,2 °C, segundo a classificação de Köppen. O estudo foi realizado em uma área já estabelecida com a Palma Forrageira miúda (*Nopalea cochenillifera*), com idade aproximada de 24 meses, na qual foi realizado o corte de uniformização até o cladódio mãe.

O estudo consistiu na avaliação por 365 dias da influência do uso da bactéria *Azospirillum brasilense* e do fungo *Rhizophagus intraradices*, de maneira isolada para cada microrganismo, e também a associação dos mesmos (coinoculação), aliados a presença ou ausência de uma dose padrão de N (50 kg⁻¹ ha⁻¹ de N) e P (30 kg⁻¹ ha⁻¹ de P₂O₅). O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos ao acaso, composto por oito tratamentos dispostos em um esquema fatorial 4 x 2, em que cada tratamento foi repetido quatro vezes, totalizando 32 unidades experimentais.

As parcelas experimentais tiveram suas dimensões estipuladas de 8 m x 4 m e área útil de 6 m x 3 m. As parcelas foram delimitadas em um palmal já formado, sendo apenas demarcadas as parcelas experimentais, sem espaços entre as parcelas e o restante do plantio. O primeiro fator foi constituído por quatro inoculações microbiológicas: 1- controle (nenhuma inoculação) (SEM); 2- Inoculação com *Azospirillum brasilense* (BAC); 3- Inoculação com *Rhizophagus intraradices* (FUNG), 4- Coinoculação de *A. brasilense* + *R. intraradices* (COIN). O segundo fator foi constituído pela presença ou ausência de adubação nitrogenada e fosfatada (50 kg⁻¹ ha⁻¹ de N e 30 kg⁻¹ ha⁻¹ de P₂O₅), que foram administradas de modo parcelado, 50% no início do experimento e 50% após 180 dias.

O *Azospirillum brasilense* foi aplicado seguindo as recomendações do produto comercial Azototal® na dosagem de 1 l.ha⁻¹ e uma garantia de 2x10⁸ UFC/ml das estirpes AbV5 e AbV6. O fungo *Rhizophagus intraradices* foi aplicado seguindo a recomendação do produto comercial Rootella BR® na dosagem de 120 g.ha⁻¹ com 20.800 propágulos/g.

Antes da implantação do experimento, realizou-se a coleta de amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm na área experimental. Coletaram-se cinco amostras, as quais, após homogeneização, foram encaminhadas para análise química e física no Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da UESB.

A análise química do solo apresentou os seguintes resultados: pH em água = 5,7; P = 10 mg/dm; K = 0,23 cmolc/dm³; em extrator Mehlich; Ca²⁺ = 2,1 cmolc/dm³; Mg²⁺ = 1,6 cmolc/dm³; Al³⁺ = 0,2 cmolc/dm³; em extrator KCl 1 mol L⁻¹; H = 4,3 cmolc/dm³, em extrator Acetato de Cálcio; SB = 3,9 cmolc/dm³; T = 8,4 cmolc/dm³; t = 4,1 cmolc/dm³; V = 47%; M.O = 18 g/dm³ em método volumétrico de Dicromato de Potássio. Quanto à análise física, os resultados mostraram a seguinte composição granulométrica no solo: 14% de argila, 11,5% de silte e 74,5% de areia.

O experimento foi implantado em 29 de março de 2022, com a realização do corte de uniformização das plantas de palma, mantendo-se apenas o cladódio mãe. Após essa etapa, as parcelas destinadas à inoculação receberam os microrganismos, enquanto aquelas submetidas à adubação foram fertilizadas com nitrogênio e fósforo, sendo a aplicação dos insumos realizada exclusivamente na área útil de cada parcela.

As parcelas submetidas à utilização dos microrganismos receberam a administração do montante dos produtos, dividida em dois momentos: a primeira no início do experimento e a segunda 180 dias após. A primeira aplicação da bactéria (*Azospirillum brasilense*) foi realizada no dia do corte de uniformização, na dose de 500 ml.ha⁻¹, ou 1,6 ml por parcela e a aplicação do fungo (*Rhizophagus intraradices*) na dose de 60 g.ha⁻¹, ou 0,2 g por parcela, sendo a segunda aplicação realizada após 180 dias. A bactéria e fungo separados e/ou juntos foram aplicadas por meio de pulverização na base das plantas no solo com o auxílio de um pulverizador costal, diluído em 500 ml de água.

A aplicação dos fertilizantes ocorreu logo após a aplicação dos microrganismos, empregando-se de 55,55 kg⁻¹ ha⁻¹ de ureia agrícola ou 188,87 g por parcela/aplicação e

83,33 kg⁻¹ ha⁻¹ de superfosfato simples ou 283,33 g por parcela/aplicação. A adubação com N e P foi realizada simultaneamente em cobertura a lanço de forma manual. Ainda, o controle de plantas daninhas deu-se através da capina manual, sem o uso de produtos fitossanitários.

Durante os meses de agosto de 2022 e março de 2023, realizaram-se coletas de dados morfométricos e morfológicos das plantas. Foram obtidas medidas de altura, número de cladódios primários, secundários e totais, além das dimensões dos cladódios (largura, espessura e comprimento), utilizando régua graduada, paquímetro e basímetro de invar. De posse dos referidos valores, calcularam-se os índices de área de cladódios de acordo com a metodologia proposta por Pinheiro et al. (2015), fazendo o uso das seguintes equações:

$$AC = 0,7198 \times (LC \times CC)$$

$$IAC = (\sum_{i=1}^n AC) / 10.000 / (S1 \times S2)$$

Onde: AC: Área do cladódio; LC: Largura do cladódio; CC: Comprimento do cladódio.

IAC: Índice de área de cladódios; ($\sum_{i=1}^n AC$): Somatório da área de cladódio das plantas em um hectare; S1: Espaçamento entre plantas; S2: Espaçamento entre linhas.

No dia 29 de março de 2023, foram coletados todos os cladódios das plantas previamente selecionadas e marcadas desde a primeira avaliação morfométrica e morfológica, realizada em agosto de 2022. Em seguida, esse material foi pesado em campo para a determinação da massa verde por planta.

O material verde foi encaminhado ao Laboratório de Forragicultura da UESB, no qual realizaram-se as análises laboratoriais. Inicialmente, as amostras foram submetidas à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas e, posteriormente, pesadas para obtenção da massa seca. Para a determinação da composição química da palma forrageira, adotou-se a metodologia descrita por Detmann et al. (2012).

As amostras foram pré-secas, posteriormente moídas em moinho tipo facas com peneira de 1 mm e analisadas para determinação do teor de matéria seca (MS), segundo o método INCT-CA G-001/1; matéria mineral (MM), consoante o método INCT-CA

M-001/1; proteína bruta (PB), segundo o método INCT-CA N-001/1; extrato etéreo (EE), conforme o método INCT-CA G-004/1; fibra em detergente neutro (FDN), de acordo com o método INCT-CA F-002/1; e correções para proteína e cinzas (FDNcp), respectivamente, segundo método INCT-CA N-004/1 e INCT-CA M-002/1; fibra em detergente ácido (FDA), em conformidade com o método INCT-CA F-004/1; lignina, segundo método INCT-CA F-005/1. Para a análise de FDN, as amostras foram tratadas com α -amilase termoestável sem uso de sulfito de sódio, corrigidas para o resíduo de cinzas (CIDN; 23 Método INCT-CA M-002/1) e compostos nitrogenados (NIDN; Método INCTCA N004/1, PIDN Método INCT-CA N004/1).

Para as análises de celulose, hemicelulose e lignina, adotaram-se as metodologias de Silva e Queiroz (2002). E, para a determinação do teor de carboidratos não fibrosos corrigidos para cinzas e proteína (CNFcp) e totais (CHOt) das amostras de palma, utilizaram-se das equações proposta por Sniffen et al., (1992):

$$\text{CNFcp} = 100 - \text{PB} - \text{EE} - \text{FDNcp} - \text{MM}$$

$$\text{CHOt} = 100 - \text{PB} - \text{EE} - \text{MM}$$

Onde: CNFcp: Carboidratos não fibrosos corrigidos para cinzas e proteína; PB: Teor de proteína bruta; EE: Teor de extrato etéreo; FDNcp: Fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, MM: Teor de matéria mineral. Todos os termos são expressos em % da MS.

CHOt: Carboidratos totais; PB: Teor de proteína bruta; EE: Teor de extrato etéreo; MM: Teor de matéria mineral. Todos os termos são expressos em % da MS.

O teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) da forragem foi calculado por meio da equação proposta por Weiss (1999):

$$\text{NDT} = (\text{PBD} + \text{FDNcpD} + \text{CNFcpD}) + (2,25 \times \text{EED})$$

Onde: NDT: Nutrientes digestíveis totais; PBD: Proteína bruta digestível; FDNcpD: Fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína; CNFcpD: Carboidratos não fibrosos corrigido para cinzas e proteína.

O teor de digestibilidade da matéria seca (DMS), a energia digestível (ED) e a energia metabolizável (EM) foram calculados por meio de equações propostas por Rodrigues (2010).

$$\text{DMS} = 88,9 - (0,779 \times \text{FDA})$$

$$\text{ED} = \text{NDT} \times 0,04409$$

$$\text{EM} = \text{ED} \times 0,82$$

Onde: DMS: Digestibilidade da matéria seca; FDA: Fibra em detergente ácido.

ED: Energia digestível; NDT: N Nutrientes digestíveis totais.

EM: Energia metabolizável; ED: Energia digestível.

Os dados avaliados foram submetidos à análise de variância para a verificação da significância das interações entre os fatores, sendo testados pelo teste F a 5% de probabilidade.

$$y_{ij} = m + t_i + b_j + e_i$$

As interações significativas foram desdobradas e testadas a partir de análise de comparação de médias a 5% de probabilidade e, quando houve ausência de interação, testou-se a diferença entre os fatores principais de forma isolada.

IV RESULTADOS

A inoculação com microrganismos apresentou efeito significativo ($P < 0,05$) sobre as variáveis comprimento de cladódios terciários e comprimento médio total (CC3 e CMTOT; Tabela 1), bem como sobre a largura de cladódios secundários e terciários e a largura média total (LC2, LC3 e LMTOT; Tabela 3). Para a variável comprimento de cladódios secundários (CC2), observou-se efeito de interação entre os fatores adubação e uso de microrganismos (Tabela 2).

As variáveis comprimento e largura estão intimamente ligadas à capacidade da planta em se desenvolver e produzir, uma vez que refletem diretamente sobre os valores de IAC e altura. Plantas que foram submetidas à utilização dos microrganismos tiveram os maiores valores para CC2, CC3, CMTOT, LC2, LC3 e LMTOT.

No que se refere às variáveis de espessura de cladódios secundários (ESPC2) e espessura média de cladódios totais (ESPMTOT), pôde-se observar diferença significativa para o fator adubação ($P < 0,05$), pois as plantas submetidas à adubação demonstraram maior espessura de cladódios. Para a variável espessura de cladódios terciários (ESPC3), notou-se que as plantas que foram inoculadas e as que não foram adubadas apresentaram maiores espessuras (Tabela 4).

Não se verificou interação significativa entre os fatores estudados, considerando as variáveis taxa de alargamento de cladódios primários, taxa de alargamento de cladódios secundários, taxa de alongamento de cladódios primários e taxa de alongamento de cladódios secundários (TalargC1, TalargC2, TalongC1 e TalongC2) ($P > 0,05$; Tabela 5). No entanto, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para os fatores isolados, adubação e microrganismos, para as variáveis TalargC2 e TalongC2 e da adubação para TalongC1, em que maiores valores das variáveis TalargC2 e TalongC2 foram observados com o uso dos microrganismos e com a adubação. Maior TalongC1 foi averiguado com a adubação (Tabela 5).

Não foi registrado efeito de interação significativa ($P>0,05$) entre o uso de microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e adubação (Ne P) para o índice de área de cladódios (IAC) e Altura das plantas (Tabela 6). Para as mesmas variáveis, pôde-se constatar que o fator adubação exerceu influência sobre o IAC, sendo observado maior IAC com o uso da adubação.

De acordo com os resultados obtidos para incremento mensal para número médio de cladódios primários, número médio de cladódios secundários, número médio de cladódios terciários e número médio de cladódios totais (NUMC1, NUMC2, NUMC3 e NTC), identificou-se efeito significativo ($P<0,05$) para o fator inoculação, sendo os tratamentos com a inoculação com microrganismos sempre superiores ao controle (Tabela 7).

Já para as variáveis incremento mensal em altura e IAC, apresentaram interação entre os fatores microrganismo e adubação ($P<0,05$), possibilitando notar que plantas que receberam a inoculação com a bactéria e coinoculação tiveram melhores resultados quando submetidas à adubação para a variável IAC (Tabela 8).

Todas as variáveis relacionadas a número de cladódios como número médio de cladódios primários, número médio de cladódios terciários e número médio de cladódios totais (NUMC1, NUMC3 e NUMCTOT) demonstraram diferença significativa ($P<0,05$) quanto ao fator isolado microrganismos, com melhores resultados observados com o uso isolado da bactéria e da coinoculação (Tabela 9).

Percebeu-se, ainda, que houve interação significativa ($P<0,05$) entre os fatores microrganismo e adubação para a variável NUMC2. Maior NUMC2 foi registrado com o uso dos microrganismos independente da adubação (Tabela 10).

Não se evidenciou efeito considerável do fator adubação isolado para nenhuma variável de peso e produção ($P>0,05$). Entretanto as variáveis peso médio do cladódio primário, peso médio do cladódio terciário e peso médio total de cladódios terciários (PMEDC1, PMEDC3 e PTOTC3) indicaram resultados significativos com o fator microrganismo isolado (Tabela 11).

As variáveis peso médio do cladódio secundário (PMEDC2), peso médio total de cladódios primários (PTOTC1), peso médio total de cladódios secundários (PTOTC2), peso médio total de cladódios (PTOT) e peso total de cladódios ha^{-1} (PTOTHA) apresentaram interação entre os fatores adubação e microrganismo

($P < 0,05$). Para PMEDC2, foi observado maior peso na ausência da adubação com o emprego dos microrganismos. Já para PTOTC1, PTOTC2, PTOT e PTOTHA maiores pesos foram registrados com a utilização dos microrganismos tanto na presença quanto na ausência da adubação (Tabela 12).

Por seu turno, para as variáveis matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE), material mineral (MM) e material orgânico (MOR), não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos ($P > 0,05$). Outrossim, não foram identificadas diferenças relevantes ($P > 0,05$) para as variáveis N, proteína bruta (PB), N indigestível em detergente neutro (NIDN) e proteína indigestível em detergente neutro (PIDN) (Tabela 13 e 14).

Não foram observados efeitos significativos dos tratamentos para as variáveis hemicelulose, celulose e lignina (HEM, CEL e LIG) ($P > 0,05$) (Tabela 15). Ainda, os carboidratos totais, carboidratos não fibrosos, nutrientes digestíveis totais, digestibilidades estimadas da matéria seca, energia digestível estimada e energia metabolizável estimada (CHOt, CNFcp, NDT, DMS, ED e EM) (Tabela 16) não apresentaram interação entre os fatores estudados e nem valores consideráveis para fatores isolados ($P > 0,05$).

Tabela 1. Comprimento médio de cladódios primários (CC1), comprimento médio de cladódios secundários (CC2), comprimento médio de cladódios terciários (CC3) e comprimento médio de cladódios totais (CMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
CC1 (cm ⁻¹)	22,08 ^a	21,62a	23,20a	23,75a	23,16A	22,16A	10,35	0,269	0,239	0,846
CC2 (cm ⁻¹)	21,12	24,95	25,2	23,77	23,99	23,54	6,55	0,000	0,426	0,007
CC3 (cm ⁻¹)	0,59c	22,45a	21,83ab	14,87b	15,14A	14,73A	34,07	0,000	0,825	0,992
CMTOT (cm ⁻¹)	21,16b	22,85ab	23,69a	23,36a	22,97A	22,56A	6,86	0,018	0,464	0,318

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microrganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação

Tabela 2. Desdobramento das variáveis significativas para médias absolutas do incremento mensal para comprimento de cladódios secundários (CC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Adubação	CC2				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	22,48Ab	25,48Ab	25,79Aab	22,19Abc	23,99
Sem	19,77Ab	24,43Aa	24,61Aa	25,35Aa	23,54
Média	21,13	24,96	25,20	23,77	

Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 3. Largura média de cladódios primários (LC1), largura média de cladódios secundários (LC2), largura média de cladódios terciários (LC3) e largura média de cladódios totais (LMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
LC1 (cm ⁻¹)	8,34 ^a	8,62a	9,34a	9,25a	8,69A	9,09A	10,96	0,147	0,262	0,183
LC2 (cm ⁻¹)	7,71b	8,48ab	9,42a	8,35ab	8,58A	8,40A	10,08	0,006	0,565	0,495
LC3 (cm ⁻¹)	0,30b	8,13a	8,11a	5,64a	5,71A	5,37A	32,46	0,000	0,596	0,892
LMTOT (cm ⁻¹)	7,85b	8,28b	9,06a	8,47ab	8,37A	8,46A	6,23	0,001	0,635	0,114

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação

Tabela 4. Espessura média de cladódios primários (ESPC1), espessura média de cladódios secundários (ESPC2), espessura média de cladódios terciários (ESPC3) e espessura média de cladódios totais (ESPMTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
ESPC1 (mm ⁻¹)	17,71 ^a	17,66a	17,93a	17,36a	17,31A	16,52A	6,82	0,450	0,330	0,490
ESPC2 (mm ⁻¹)	13,14 ^a	13,86a	13,61a	13,25a	14,07A	12,87B	9,13	0,631	0,011	0,340
ESPC3 (mm ⁻¹)	13,72c	16,84b	19,06a	17,89ab	14,32B	17,44A	16,66	0,000	0,003	0,455
ESPMTOT (mm ⁻¹)	15,04 ^a	14,22a	18,98a	14,38a	17,53A	13,79B	23,06	0,051	0,008	0,055

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação

Tabela 5. Taxa de alargamento de cladódios primários (TalarC1), taxa de alargamento de cladódios secundários (TalarC2), taxa de alongamento de cladódios primários (TalonC1) e taxa de alongamento de cladódios secundários (TalongC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
TalarC1 (cm ⁻¹ /mês)	0,66 ^a	0,67a	0,70a	0,69a	0,68A	0,68A	7,29	0,334	0,952	0,163
TalarC2 (cm ⁻¹ /mês)	0,49b	0,60a	0,62a	0,56a	0,59A	0,54B	8,67	0,000	0,016	0,080
TalongC1 (cm ⁻¹ /mês)	1,75 ^a	1,75a	1,82a	1,82a	1,84A	1,72B	15,24	0,424	0,005	0,141
TalongC2 (cm ⁻¹ /mês)	1,33b	1,69a	1,66a	1,53a	1,62A	1,49B	16,32	0,000	0,018	0,076

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 6. Índice de área de cladódios (IAC) e altura de plantas (ALTURA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
IAC (m ² m ²)	0,61d	1,65b	2,04a	1,13c	1,46A	1,26B	17,31	0,000	0,029	0,058
ALTURA (cm ⁻¹)	35,35c	52,99a	54,80a	45,90b	47,28A	47,24A	3,07	0,000	0,939	0,943

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 7. Incrementos mensais para índice de área de cladódios (IAC), altura de plantas (ALTURA), número médio de cladódios primários (NUMC1), número médio de cladódios secundários (NUMC2), número médio de cladódios terciários (NUMC3) e número médio de cladódios totais (NTC) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
IAC (m ² m ² /mês)	0,46	1,09	1,26	0,73	0,98	0,79	14,55	0,000	0,000	0,030
ALTURA (cm ⁻¹ /mês)	29,7	39,78	39,55	38,14	36,41	37,18	10,36	0,000	0,574	0,036
NUMC1 (un/mês)	4,14 b	6,93 a	7,37 a	4,95 b	6,09 A	5,61 A	15,24	0,000	0,143	0,443
NUMC2 (un/mês)	2,85 c	7,29 a	7,93 a	4,83 b	6,54 A	4,91 B	16,32	0,000	0,000	0,076
NUMC3 (un/mês)	0,02 c	2,18 a	2,33 a	1,10 b	1,42 A	1,39 A	51,62	0,000	0,904	0,568
NTC (un/mês)	7,06 c	16,68 a	17,91 a	10,89 b	14,21 A	12,06 B	13,85	0,000	0,003	0,263

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 8. Desdobramento das variáveis significativas para médias absolutas do incremento mensal para índice de área de cladódios (IAC) e altura de plantas (ALTURA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Adubação	IAC				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	0,63 Ab	1,12 Aa	1,42 Aa	0,74 Ab	0,98
Sem	0,28 Bc	1,05 Bba	1,10 Ba	0,72 Ab	0,79
Média	0,46	1,09	1,26	0,73	
Adubação	ALTURA				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	33,00 Aa	37,92 Aa	38,5 Aa	36,20 Aa	36,41
Sem	26,39 Ab	41,63 Aa	40,6 Aab	40,08 Aab	37,18
Média	29,69	39,77	39,55	38,14	

Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 9. Número médio de cladódios primários (NUMC1), número médio de cladódios secundários (NUMC2), número médio de cladódios terciários (NUMC3) e número médio de cladódios totais (NUMCTOT) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
NUMC1 (un)	5,20b	7,58a	8,41a	6,04b	7,12A	6,50A	16,05	0,000	0,121	0,117
NUMC2 (un)	4,16	10,41	12	7,58	9,54	7,54	17,79	0,000	0,001	0,008
NUMC3 (un)	0,40c	4,37a	4,66a	2,20b	2,79A	2,85A	21,62	0,000	0,904	0,568
NUMCTOT (un)	9,50c	22,91a	25,62a	15,83b	19,83A	17,10B	14,33	0,000	0,008	0,138

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 10. Desdobramento da variável número médio de cladódio secundário (NUMC2) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Adubação	NUMC2 (un)				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	6,16Ab	10,00Aab	14,00Aa	8,00Ab	9,54
Sem	2,16Ab	10,83Aa	10Aa	7,16Aa	7,54
Média	4,16	10,42	12,00	7,58	

Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 11. Peso médio do cladódio primário (PMEDC1), peso médio do cladódio secundário (PMEDC2), peso médio do cladódio terciário (PMEDC3), peso médio total de cladódios primários (PTOTC1), peso médio total de cladódios secundários (PTOTC2), peso médio total de cladódios terciários (PTOTC3), peso médio total de cladódios (PTOT) e peso total de cladódios ha⁻¹ (PTOTHA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
PMEDC1 (g ⁻¹)	191,15b	222,98a	220,90a	192,29b	203,12A	210,54A	13,34	0,044	0,455	0,076
PMEDC2 (g ⁻¹)	115,11	177,75	179,52	163,02	158,16	159,54	16,22	0,000	0,881	0,005
PMEDC3 (g ⁻¹)	29,16b	126,46a	134,73a	90,59a	88,52A	88,82A	16,97	0,000	0,979	0,603
PTOTC1 (kg ⁻¹)	48.213	81.648	92.008	57.891	71.384	68.495	16,76	0,000	0,493	0,032
PTOTC2 (kg ⁻¹)	29.192	90.956	105.069	59.896	74.479	68.077	20,92	0,000	0,238	0,009
PTOTC3 (kg ⁻¹)	145,83c	26.317ab	31.681a	17.283b	19.035A	18.678A	17,11	0,000	0,910	0,061
PTOT (kg ⁻¹)	1560,13	4020,04	4626,37	2611,21	3288,69	3120,19	14,95	0,000	0,331	0,020
PTOTHA (kg ⁻¹)	78.006	201.002	231.319	130.560	164.434	156.009	14,95	0,000	0,331	0,020

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microrganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 12. Desdobramento das variáveis peso médio do cladódio secundário (PMEDC2), peso médio total de cladódios primários (PTOTC1), peso médio total de cladódios secundários (PTOTC2), peso médio total de cladódios (PTOT) e peso total de cladódios ha⁻¹ (PTOTHA) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Adubação	PMEDC2				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	147,01Aa	166,98Aa	169,82Aa	148,8Aa	158,15
Sem	83,2Ab	188,5Aa	189,21Aa	177,22Aa	159,53
Média	115,11	177,74	179,52	163,01	
Adubação	PTOTC1				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	57929Ab	75479Aab	98383Aa	53745Ab	71384
Sem	38495Ab	87816Aa	85633Aa	62033Aab	68494
Média	48212	81648	92008	57889	
Adubação	PTOTC2				Média
	Microrganismo				
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	45725Ab	81550Aab	114174Aa	56466Ab	74479
Sem	12658Ab	100362Aa	95962Aa	63325Aa	68077
Média	29192	90956	105068	59896	
Adubação	PTOT				Média
	Microrganismo				

	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	2078,91Ab	3811,75Aa	4815,9Aa	2448,16Ab	3288,68
Sem	1041,33Ac	4228,33Aa	4436,83Aa	2774,25Ab	3120,19
Média	1560,12	4020,04	4626,37	2611,21	
PTOTHA					
Adubação	Microrganismo				Média
	Controle	Fungo+Bactéria	Bactéria	Fungo	
Com	103945Ab	190587Aa	240795Aa	122408Ab	164434
Sem	52066Ac	211416Aa	221841Aa	138712Ab	156009
Média	78006	201002	231318	130560	

Médias seguidas por mesmas letras maiúsculas na coluna, e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 13. Teores médios de nitrogênio (N), proteína bruta (PB), nitrogênio indigestível em detergente neutro (NIDN) e proteína indigestível em detergente neutro (PIDN) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
N (%MS)	1,37 ^a	1,44a	1,31a	1,38a	1,35A	1,41A	12,24	0,502	0,319	0,910
PB (%MS)	8,62 ^a	9,04a	8,22a	8,64a	8,44A	8,82A	12,24	0,502	0,319	0,910
NIDN (%MS)	0,38 ^a	0,40a	0,34a	0,40a	0,39A	0,37A	29,13	0,753	0,482	0,181
PIDN (%MS)	2,42 ^a	2,50a	2,18a	2,52a	2,49A	2,31A	29,13	0,753	0,482	0,181

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 14. Médias absolutas para matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp), fibra em detergente ácido (FDA), extrato etéreo (EE), material mineral (MM) e material orgânico (MOR) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizopagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
MS (%)	9,10 ^a	9,08a	8,83a	8,74a	8,96 ^a	8,92A	4,54	0,237	0,771	0,924
FDN (%MS)	27,17 ^a	27,41a	28,10a	29,13a	26,40A	29,51A	8,82	0,406	0,180	0,408
FDNcp (%MS)	20,01 ^a	20,69a	21,03a	22,12a	19,61A	22,32A	16,81	0,688	0,414	0,675
FDA (%MS)	13,95 ^a	13,66a	13,58a	14,84a	13,41A	14,61A	13,35	0,531	0,085	0,998
EE (%MS)	1,93 ^a	1,81a	1,78a	1,92a	1,82 ^a	1,90A	12,47	0,466	0,341	0,502
MM (%MS)	17,43 ^a	16,62a	17,33a	17,25a	17,15A	17,17A	16,96	0,944	0,980	0,637
MOR (%MS)	82,56 ^a	83,37a	82,66a	82,74a	82,84A	82,82A	3,51	0,944	0,980	0,637

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microorganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e Fungo micorrizico arbuscular) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 15. Teores médios de celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
CEL (%MS)	13,17 ^a	12,95 ^a	12,75 ^a	13,71 ^a	12,61 ^A	13,68 ^A	13,76	0,739	0,109	0,993
HEM (%MS)	13,22 ^a	13,73 ^a	14,51 ^a	14,28 ^a	12,99 ^A	14,88 ^A	11,68	0,409	0,350	0,104
LIG (%MS)	0,76 ^a	0,71 ^a	0,85 ^a	1,13 ^a	0,79 ^A	0,93 ^A	24,09	0,295	0,395	0,928

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microrganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

Tabela 16. Carboidratos totais (CHOt), carboidratos não fibrosos (CNFcp), nutrientes digestíveis totais (NDT), digestibilidade estimada da matéria seca (DMS), energia digestível estimada (ED) e energia metabolizável estimada (EM) da Palma Forrageira em função de Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) e Adubação (Nitrogênio e Fósforo).

Itens	Microrganismos				Adubação		CV	P-Valor		
	Contro.	Fun+Bac	Bac	Fun	Com	Sem		Mo ¹	Adu ²	MoxAdu ³
CHOt (%MS)	72,00a	72,51a	72,65a	72,17a	72,58 ^a	72,09A	4,28	0,980	0,679	0,754
CNFcp (%MS)	44,83 ^a	45,09a	44,55a	43,03a	46,17 ^a	42,58A	8,68	0,714	0,153	0,370
NDT (%MS)	67,62 ^a	64,72a	66,17a	66,46a	66,04 ^a	66,45A	4,86	0,373	0,722	0,284
DMS (%NDT)	66,39 ^a	63,17a	64,79a	65,11a	64,64 ^a	65,09A	5,52	0,373	0,722	0,284
ED (Kcal/kg NDT)	2,98 ^a	2,85a	2,91a	2,93a	2,91 ^a	2,92A	4,86	0,373	0,722	0,284
EM (Kcal/kg NDT)	2,44 ^a	2,34a	2,39a	2,4a	2,38 ^a	2,40A	4,86	0,373	0,722	0,284

Médias na mesma linha seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si considerando a influência dos microrganismos e médias na mesma linha seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si considerando a influência da adubação pelo teste de Tukey (P<0,05). ¹Microrganismos (*Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) ² Adubação (Nitrogênio e Fósforo) ³Interação entre microrganismos e adubação.

V DISCUSSÕES

A inoculação com microrganismos demonstrou influência significativa para o desenvolvimento e crescimento da planta, de acordo com os resultados (Tabelas 1, 2, 3 e 4). As plantas submetidas ao uso de microrganismos apresentaram resultados superiores quando comparadas ao controle.

Cruz et al. (2023) ressaltaram, em seu trabalho, acerca de uma íntima relação entre aspectos morfológicos de plantas de Palma Forrageira, como altura, comprimento e largura de cladódios com a capacidade que a planta possui de produzir forragem. Esses fatores em conjunto fazem com que planta possua uma estrutura maior e melhor, refletindo diretamente em seu crescimento e capacidade produtiva.

De modo geral, a coinoculação com microrganismos (*A. brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) proporcionou maiores alturas, largura e comprimento dos cladódios de palma; entretanto, a inoculação isolada de *A. brasilense* foi o fator que mais influenciou positivamente o aumento das dimensões dos cladódios. Com isso, plantas submetidas ao uso isolado da bactéria apresentaram os melhores parâmetros morfométricos, garantindo melhor estrutura e, conseqüentemente, maior capacidade de produção de fotoassimilados.

Nesse contexto, resultados como os descritos podem ser obtidos com o uso da bactéria, uma vez que ela tem a capacidade de produzir fitormônios, como auxinas, giberelinas e citocininas, responsáveis pelo crescimento das plantas. Esse efeito pode justificar as maiores dimensões dos cladódios, decorrentes da influência dos fitormônios sobre o desenvolvimento da planta (Cruz et al., 2023).

Hungria et al. (2021) relatam que as auxinas e citocininas atuam nos tecidos da planta, influenciando o crescimento e a divisão celular, favorecendo o desenvolvimento vegetal e regulando tanto a parte aérea quanto o sistema radicular. O incremento mensal da produção da parte aérea na Palma Forrageira (altura da planta, número de cladódios e tamanho dos cladódios) constitui um importante indicador da capacidade produtiva,

dado que plantas com maior potencial de crescimento em menor intervalo de tempo tendem a acumular maior quantidade de biomassa ou permitir o aproveitamento antecipado dessa fonte de alimento.

Para as variáveis de alongamento e alargamento de cladódios, não se observou resultados significativos (Tabela 5). Tal comportamento pode ser explicado pelo desenvolvimento da planta submetida aos microrganismos ser maior, conforme a variável índice de área de cladódios.

Todavia, com a planta em melhor desenvolvimento, foi possível obter largura e comprimento superiores, resultando em cladódios maiores. Esse aumento impacta diretamente a espessura, sendo possível observar valores superiores para cladódios terciários quando se fez uso do fator microrganismo.

Para as variáveis IAC e altura, não foi observado efeito de interação (Tabela 6); entretanto, pôde-se constatar que o fator adubação exerceu influência sobre o IAC, sendo registrado maior valor com o uso da adubação. O fator microrganismo também influenciou a altura e o IAC, de modo que plantas submetidas à aplicação isolada de *Azospirillum brasilense* e à coinoculação (*A. brasilense* e *Rhizophagus intraradices*) apresentaram maiores valores para essas variáveis.

Diferente do que comumente verifica-se nas *Poaceae* e *Fabaceae*, as plantas que realizam o metabolismo ácido das crassuláceas, como a Palma Forrageira, fazem a captação e o uso da luz solar por intermédio de seus cladódios. O IAC é um importante indicador quanto à capacidade da planta em realizar uma maior taxa de atividade fotossintética, visto que reflete diretamente sobre os valores da superfície do cladódio capaz de interceptar luz solar, fazendo com que, a partir da captação da energia luminosa, possa iniciar o processo fotossintético, possibilitando, portanto, que a produção de fotoassimilados seja realizada. Sendo assim, um IAC de cladódio maior, resulta em uma planta com maior capacidade de produção de fotoassimilados, o que, por sua vez, faz com que a planta possua uma maior capacidade de produção (Cruz et al., 2023; Taiz et al., 2017).

De acordo com os dados de incremento mensal para número médio de cladódios (Tabela 7), notou-se efeito para plantas inoculadas, sendo os tratamentos com a inoculação com microrganismos sempre superiores ao controle.

Plantas inoculadas isoladamente com *A. brasilense* apresentaram sempre os melhores resultados quanto ao número médio de cladódios mensais acumulados, atingindo média total de 17,91 unidades, não diferindo significativamente das plantas coinoculadas com *A. brasilense* e *Rhizophagus intraradices*. Contudo, plantas inoculadas somente com o fungo micorrízico evidenciaram média de acúmulo de cladódios menor, diferindo também das plantas controle ($P < 0,05$).

Em continuidade aos resultados anteriores, pode-se averiguar que plantas que receberam a inoculação com a bactéria e coinoculação tiveram melhores resultados quando submetidas à adubação para a variável IAC (Tabela 8). Para a altura, o melhor resultado foi verificado com a coinoculação na ausência da adubação.

Zhao et al. (2010) reiteram que a via para produção e biossíntese dos fitormônios produzidos pelas bactérias ainda não se faz completamente elucidada, mas sabe-se que as bactérias que habitam o sistema radicular das plantas sintetizam fitormônios como o Ácido Indol-Acético (AIA) a partir do triptofano, que é excretado pelo sistema radicular das plantas, podendo variar de acordo com a característica genética de cada planta. Korasick et al. (2013) explicam o efeito do AIA sobre o desenvolvimento do organismo vegetal. Segundo esses autores, o hormônio atua na divisão celular, bem como na diferenciação dos tecidos e formação de raízes, promoção de crescimento e formação de folhas e frutos.

Em consonância com esses resultados, Spaepen et al. (2008) constataram que a inoculação de plantas de trigo com *A. brasilense* proporcionou acréscimo na produção de AIA, resultando em aumento do peso seco de raízes, folhas e espiga.. Cruz et al. (2023) também identificaram aspectos produtivos superiores para índice de área de cladódios, número e peso de cladódios em plantas de Palma Forrageira inoculadas com *A. brasilense*.

Nessa linha, Porto (2022) aborda o efeito do fungo *Rhizophagus intraradices* na melhoria da absorção de fósforo, tendo como principal mecanismo a atuação de suas hifas, que funcionam como extensões do sistema radicular, auxiliando na absorção de água e nutrientes. E, corroborando com os resultados, Cruz et al. (2023) também identificaram efeitos positivos na cultura da palma forrageira miúda com o uso de *A. brasilense*, indicando que a bactéria pode colaborar com o desenvolvimento da cultura.

Em continuidade, para as variáveis relacionadas ao número de cladódios (Tabela 9), os melhores resultados foram observados com o uso isolado da bactéria e com a coinoculação, sendo que o número total de cladódios também foi influenciado pela adubação, com maior valor registrado sob essa condição. Além disso, resultados obtidos com o uso isolado da bactéria foram superiores aos verificados com a utilização isolada do fungo, fazendo com que plantas inoculadas com *A. brasilense* apresentassem maior número de cladódios em todas as ordens quando comparadas ao controle e à inoculação isolada com *Rhizophagus intraradices*.

Além da produção fitormônios pela bactéria *Azospillum brasilense*, Hungria et al. (2021) dissertam que a bactéria também possui a capacidade de realizar a fixação biológica de nitrogênio, aumentando a disponibilidade desse nutriente para a planta, elevando sua expectativa produtiva. Mesmo com uma produção menor, plantas que receberam a inoculação isolada com o fungo micorrízico também apresentaram maior número de cladódios quando comparadas com plantas controle.

Yang et al. (2021) apontam, em seu trabalho, que a micorriza aumenta a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas, principalmente a capacidade de absorção de P, pois suas hifas agem como uma extensão do sistema radicular, auxiliando no desenvolvimento do organismo vegetal.

Na pesquisa aqui versada, conforme resultados para números de cladódios (Tabela 10), o maior número de cladódios secundários foi registrado com o uso dos microrganismos independente da adubação.

Reyes Rouseaux et al. (2020) documentaram resultados positivos sobre pastagens de *Brachiaria*, apresentando plantas com maior produção de forragem, utilizando os microrganismos *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices*, juntamente com adubação nitrogenada. Pinto et al. (2020) aclaram que a cultura da Palma Forrageira é muito responsiva a adubação, principalmente a adubação nitrogenada, fazendo com que uma cultura com um aporte correto de nutrientes possua uma melhor capacidade produtiva.

Silva et al. (2016) afirmam que o N é um nutriente altamente responsivo em produtividade quando administrado de maneira adequada sobre a cultura da Palma Forrageira. A bactéria *A. brasilense* possui a capacidade de realizar a fixação biológica

de N, o que, por conseguinte, beneficia a cultura da Palma Forrageira, elevando os seus valores produtivos devido ao aporte de nutrientes.

A partir desses achados, *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* diferem quanto à sua atuação em benefício das plantas. De acordo com os dados morfométricos obtidos para a produção e desenvolvimento da Palma Forrageira, pôde-se constatar que valores superiores para as variáveis foram obtidos com o uso da bactéria de forma isolada e com a coinoculação.

Para as variáveis de peso médio e peso total de cladódios, averiguou-se efeito significativo superior quando se fez o uso da bactéria de forma isolada. Não foi observado efeito significativo do fator adubação isolado para nenhuma variável de peso e produção (Tabela 11).

Conforme os resultados descritos (Tabela 12) para as variáveis de peso de cladódios primários e secundários, refletindo também no peso total de cladódios, verificou-se interação entre os fatores microrganismos e adubação. No entanto, os melhores resultados foram obtidos com o uso isolado de microrganismos e sem adubação, sendo expressos pela variável peso total de cladódios por hectare.

Plantas que foram submetidas a inoculação com microrganismos foram mais produtivas quando comparadas ao controle, destacando-se o uso isolado de *A. brasilense* e a coinoculação. Não foram notadas diferenças relevantes para as variáveis de composição bromatológica (Tabela 13, 14, 15 e 16).

A cultura da Palma Forrageira pode ser usada como uma alternativa ou como um complemento para a dieta animal. A palma possui uma excelente composição bromatológica, podendo ser considerada um alimento altamente energético, com elevado teor de CNF com uma média de 45% e um NDT com valores próximos a 70% (Frota et al., 2015). As variáveis NDT e CNF não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, entretanto, os dados obtidos validam a composição bromatológica da forrageira, que é rica em carboidratos não fibrosos, um alimento importante de fonte energética (Van Soest, 1994).

A Palma Forrageira é rica em mucilagem e Pimentel et al. (2011) descrevem que essa mucilagem é rica em polissacarídeos e aminoácidos, que se torna viscosa em contato com água. A planta, por conter elevada quantidade de mucilagem, demonstra limitação quanto à realização das análises bromatológicas, não sendo possível realizá-

las sem a retirada desse componente; portanto, levanta-se a hipótese de que os valores de carboidratos e digestibilidade possam ser mascarados.

Cruz et al. (2023) obtiveram resultados semelhantes em experimento com palma forrageira inoculada com *A. brasilense*, no qual os valores de carboidratos e digestibilidade não variaram entre as plantas analisadas; entretanto, os teores de amido e açúcares solúveis totais, determinados sem a retirada da mucilagem, diferiram significativamente com o uso da bactéria e da adubação nitrogenada, sendo menores nas plantas inoculadas. Segundo os autores, esse comportamento está relacionado à produtividade, uma vez que plantas em crescimento contínuo tendem a acumular menos reservas e açúcares, pois estes são constantemente utilizados para sustentar a produção; nesse trabalho, plantas inoculadas apresentaram maior produção de massa verde e maior número de cladódios.

A cultura da palma forrageira apresenta elevada digestibilidade devido aos baixos teores de celulose e lignina em sua parede celular. A lignina, por ser um constituinte de nula digestibilidade e apresentar correlação direta com a digestibilidade da matéria seca e de seus componentes, quando presente em baixos teores na palma forrageira, eleva o aproveitamento da forragem pelo organismo animal (Wanderley et al., 2012).

VI CONCLUSÃO

A utilização de *Azospirillum brasilense* e *Rhizophagus intraradices* em coinoculação não apresentou resultados superiores às plantas inoculadas isoladamente com *A. brasilense*. Plantas inoculadas com *A. brasilense* e *Rhizophagus intraradices* produziram maior número de cladódios e apresentaram melhores indicadores de crescimento quando comparadas ao controle sem microrganismos. O uso da adubação, nas quantidades utilizadas no presente estudo, não superou, em aspectos produtivos, o uso dos microrganismos, sendo recomendado o uso desses microrganismos para que uma maior produção de palma forrageira seja alcançada.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CRUZ, E. R. T.; TEIXEIRA, F. A.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; CRUZ, N. T.; ROSSA, F.; SANTOS, A. P. S.; PORTO, E. M. V.; SILVA, H. S. Yield and morphology of *Nopalea cochenillifera* under N fertilization and biological inoculation. **Agronomy Research**. v. 21, Special Issue 3, p. 1464–1472. 2023

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C. .; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVADO, J. A. G. **Métodos para análise de alimentos**. 2012

FROTA, M. N. L. Da; CARNEIRO, M. S. de S.; CARVALHO, G. M. C.; NETO, R. B. de A. **Palma Forrageira na alimentação animal**. Teresina. 2015

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**. v. 463, 1–2, p. 171–186. 2021

KORASICK, D. A.; ENDERS, T. A.; STRADER, L. C. Auxin biosynthesis and storage forms. **Journal of Experimental Botany**. v. 64, 9, p. 2541–2555. 2013

PIMENTEL, R. R.; MACHADO, S. R.; ROCHA, J. F. Estruturas secretoras de *Pavonia alnifolia* (Malvaceae), uma espécie ameaçada de extinção. **Rodriguésia**. v. 62, 2, p. 253–262. 2011

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. Da; DINIZ, W. J. da S.; CARVALHO, H. F. de S.; MOURA, M. S. B. De. Indirect methods for determining the area index of forage cactus cladodes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 45, 2, p. 163–171. 2015

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

PORTO, E. M. V. **Microrganismos promotores de crescimento de plantas mitigam o estresse hídrico durante a rebrotação do capim- buffel**. : Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. 2022

REYES ROUSEAUX, R.; GONZÁLEZ CAÑIZARES, P. J.; RAMÍREZ PEDROSO, J. F. Biofertilization with *Azospirillum brasilense* and *Rhizoglosum irregulare* and reduction of nitrogen fertilization in *Urochloa* hybrid cv. Mulatto II. **Cuban Journal of Agricultural Science**. v. 54, 4, p. 611–620. 2020

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. De. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG. 2002

SILVA, J. A. Da; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. dos S.; PADILHA JÚNIOR, M. C.; SILVA JUNIOR, A. A. e. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 20, 6, p. 564–569. 2016

SNIFFEN, C. J.; O’CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**. v. 70, 11, p. 3562–3577. 1992

SPAEPEN, S.; DOBBELAERE, S.; CROONENBORGH, A.; VANDERLEYDEN, J. Effects of *Azospirillum brasilense* indole-3-acetic acid production on inoculated wheat plants. **Plant and Soil**. v. 312, 1–2, p. 15–23. 2008

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6°. 2017

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994

WANDERLEY, W. L.; FERREIRA, M. de A.; BATISTA, Â. M. V.; VÉRAS, A. S. C.; BISPO, S. V.; SILVA, F. M. Da; SANTOS, V. L. F. Dos. Consumo, digestibilidade e parâmetros ruminais em ovinos recebendo silagens e feno em associação à Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v. 13, 2, p. 444–456. 2012

WEISS, W. P. Energy prediction equations for ruminant feeds. *In*: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS 1999, Rochester.

YANG, L.; ZOU, Y. N.; TIAN, Z. H.; WU, Q. S.; KUČA, K. Effects of beneficial endophytic fungal inoculants on plant growth and nutrient absorption of trifoliate orange seedlings. **Scientia Horticulturae**. v. 277, October 2020. 2021

ZHAO, L.; DENG, Z.; YANG, W.; CAO, Y.; WANG, E.; WEI, G. Diverse rhizobia associated with *Sophora alopecuroides* grown in different regions of Loess Plateau in China. **Systematic and Applied Microbiology**. v. 33, 8, p. 468–477. 2010