



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTEGRADO EM ZOOTECNIA NOS
TRÓPICOS
CAMPUS PARAUAPEBAS**

CAIO OLIVEIRA SILVA

**ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A SISTEMA SILVIPASTORIL EM
CAPIM MOMBAÇA COM INOCULAÇÃO DE *Methylobacterium symbioticum* NA
AMAZÔNIA BRASILEIRA**

**PARAUPEBAS - PA
2023**

CAIO OLIVEIRA SILVA

ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A SISTEMA SILVIPASTORIL EM CAPIM
MOMBAÇA COM INOCULAÇÃO DE *Methylobacterium symbioticum* NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e Universidade Federal do Norte do Tocantins, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Integrado em Zootecnia nos Trópicos para obtenção do título de Mestre em Zootecnia nos trópicos.

Linha de pesquisa: Interface solo-planta-animal.

Orientador: Prof. Dr. Raylon Pereira Maciel

PARAUAPEBAS - PA
2023


CAIO OLIVEIRA SILVA

ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A SISTEMA SILVIPASTORIL EM CAPIM
MOMBAÇA COM INOCULAÇÃO DE *Methylobacterium symbioticum* NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA


Dissertação apresentada à Banca Examinadora, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Animal na Amazônia da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Zootecnia nos Trópicos.

Data de Aprovação: 26 de outubro de 2023


Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 RAYLON PEREIRA MACIEL
Data: 19/06/2024 15:33:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Raylon Pereira Maciel
(Orientador, UFRA)

Documento assinado digitalmente
 RICARDO SHIGUERU OKUMURA
Data: 20/06/2024 10:11:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Shigueru Okumura
(Avaliador Interno, UFRA)

Documento assinado digitalmente
 JONAHTAN CHAVES MELO
Data: 04/07/2024 16:33:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jonahtan Chaves Melo
(Avaliador Externo, Unifesspa)

Documento assinado digitalmente
 SHEILA VILARINDO DE SOUSA
Data: 04/07/2024 14:58:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Sheila Vilarindo de Sousa
(Avaliador Externo, UFPI)

Dedico inicialmente a DEUS. A meus pais, Ana e Carlos. Minha irmã, Carla.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por minha vida e agraciar-me com tantas bênçãos. Jesus por estar sempre ao meu lado, intercedendo por mim. Ao Espírito Santo por ir sempre à minha frente preparando meus caminhos.

Aos meus pais, Ana e Carlos, por acreditarem em meus sonhos e toda confiança depositada.

À minha grande amiga Dr. Elis Regina pelo apoio e ajuda nessa jornada.

À minha irmã Carla e minha namorada, por todo e confiança.

Ao meu orientador, Raylon Maciel, pelo exemplo de pessoa e pesquisador.

Aos professores e todos os integrantes, amigos do grupo de pesquisa NEFAR, pela troca de conhecimento.

À banca examinadora, pela enorme contribuição científica.

E tudo quanto fizerdes, fazei-o de todo o coração, como ao Senhor, e não aos homens.

Colossenses 3: 23

RESUMO

Objetivou-se com o estudo avaliar a associação da adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sobre a produção, composição bromatológica e degradabilidade do capim Mombaça inoculado com a bactéria *Methylobacterium symbioticum* na Amazônia brasileira. Foi utilizado um sistema silvipastoril formado por Mogno africano (*Khaya* spp) e capim Mombaça (*Megathyrsus maximus*) em dois experimentos simultâneos, 1- com inoculação de *Methylobacterium symbioticum* (via foliar com 0,33 kg ha⁻¹) na forrageira; 2- sem a inoculação na forrageira. Foi adotado um delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial (2x2), composto por dois níveis de adubação nitrogenada - N (0 e 150 kg. ha⁻¹) e dois níveis de luminosidade (sombra e sol), testados nos dois experimentos. Houve interação entre as doses de N e o nível de luminosidade para o IAF (índice de área foliar) e MSFT (massa seca de forragem total) no experimento não inoculado e para a clorofila do experimento inoculado. Sem inoculação, o IAF produzido a sol pleno foi superior com a adubação de 150 kg ha⁻¹, com incremento de 200% em relação ao tratamento sem adubação nitrogenada. Por outro lado, sem adubação com N, o ambiente sombreado apresentou maior IAF do que o a sol pleno. No ensaio com capim inoculado, a adubação com 150 kg ha⁻¹ de N em comparação ao sem N, influenciou positivamente o índice de clorofila no ambiente sombreado (+43%), já em sol pleno a adubação com N não influenciou. A MSFT foi influenciada pela interação entre os fatores adubação N e luminosidade no experimento sem inoculação. Observou-se um incremento de 416 kg ha⁻¹ de MSFT quando comparado ao tratamento sem N, a sol pleno. Com inoculação de *Methylobacterium symbioticum* e com a adubação nitrogenada (150 kg ha⁻¹), observou-se um aumento na DIVMS (+19,1 g kg⁻¹ MS) quando comparado ao tratamento sem adubação com N. Sem inoculação com *Methylobacterium symbioticum* a adubação nitrogenada interfere no IAF e nos parâmetros bromatológicos do capim Mombaça. Através do IQP foi possível perceber que o Mombaça apresenta melhor desempenho produtivo a sol pleno. A produção de biomassa vegetal do capim Mombaça em ambiente sombreado ou a sol pleno são semelhantes com inoculação de *Methylobacterium symbioticum*.

Palavras-chave: *Khaya* spp; *megathyrsus maximus*; microrganismos promotores de crescimentos de plantas; sistema integrado.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the combination of nitrogen fertilization and a silvopastoral system on the production, bromatological composition and digestibility of Mombasa grass inoculated with the bacterium *Methylobacterium symbioticum* in the Brazilian Amazon. A silvopastoral system consisting of African mahogany (*Khaya spp*) and Mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) was used in two simultaneous experiments, 1- with inoculation of *Methylobacterium symbioticum* (via foliar with 0.33 kg ha⁻¹) in the forage; 2- without inoculation in the forage. A randomized block design was adopted in a factorial arrangement (2x2), consisting of two levels of nitrogen fertilization (0 and 150 kg. ha⁻¹) and two light levels (shade and sun), tested in both experiments. There was an interaction between N doses and light level (p<0.05) for LAI (leaf area index) and TFDM (total forage dry mass) in the non-inoculated experiment and for chlorophyll in the inoculated experiment. Without inoculation, the IAF produced in full sun was higher with fertilization of 150 kg ha⁻¹, an increase of 200% in relation to the treatment without nitrogen fertilization. On the other hand, without nitrogen fertilization, the shaded environment presented a higher LAI than that in full sun. In the test with inoculated grass, fertilization with 150 kg ha⁻¹ of N compared to that without N, positively influenced the chlorophyll index in the shaded environment (+43%), while in full sun, fertilization with N did not influence it. The MSFT was influenced by the interaction between the factors nitrogen fertilization and light in the experiment without inoculation. An increase of 416 kg ha⁻¹ of MSFT was observed when compared to the treatment without N, in full sun. With the inoculation of *Methylobacterium symbioticum* and nitrogen fertilization (150 kg ha⁻¹), an increase in DIVMS (+19.1 g kg⁻¹ DM) was observed when compared to the treatment without nitrogen fertilization. Without inoculation with *Methylobacterium symbioticum*, nitrogen fertilization interfered with the IAF and bromatological parameters of Mombaça grass. Through the IQP it was possible to verify that Mombasa presents better productive performance in full sun. The production of plant biomass from Mombaça grass in a shaded or full sun environment is similar to inoculation with *Methylobacterium symbioticum*.

Keywords: *Khaya spp*; *megathyrsus maximus*; microorganisms that promote plant growth; Integrated system

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características químicas e granulométricas do Argissolo vermelho-amarelo (0-20 cm) da área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Tabela 2. Matrix de escores fatoriais (EF) dos quatro componentes principais determinados pela análise de componentes principais em capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril com ou sem inoculação de *Methylobacterium symbioticum* no setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Tabela 3. Resumo da análise de variância das características de produção, composição bromatológica e degradabilidade de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril com ou sem inoculação de *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados pluviométricos do período experimental no setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 2. Índice de área foliar (IAF) e teor de clorofila de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 3. Altura de plantas e densidade de perfilhos de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 4. Massa verde de forragem total (MVFT) e massa seca de forragem total (MSFT) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 5. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 6. Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 7. Degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 8. Correlação de Pearson de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Figura 9. Índice de qualidade de produção de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

RESUMO INTERPRETATIVO E RESUMO GRÁFICO

ADUBAÇÃO NITROGENADA ASSOCIADA A SISTEMA SILVIPASTORIL EM CAPIM Mombaça COM INOCULAÇÃO DE *Methylobacterium symbioticum* NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Elaborado por **Caio Oliveira Silva** e orientado por **Raylon Pereira Maciel**

A busca por estratégias mais sustentáveis na pecuária faz parte dos diversos objetivos de desenvolvimento sustentável, que visam garantir a produção suficiente de alimentos, mantendo a sustentabilidade. Assim, o uso da adubação nitrogenada associada a sistemas silvipastoris são importantes ferramentas que podem implementar maiores produtividades aos cultivos. Estudou-se a associação da adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sobre a produção e composição nutricional do capim Mombaça inoculado ou não com a bactéria *Methylobacterium symbioticum*. Foram realizados dois ensaios simultâneos, um com e outro sem inoculação com a bactéria em sistema silvipastoril sem e com adubação nitrogenada (0 e 150 kg ha⁻¹ de N) do capim Mombaça. Não foi possível a comparação entre os ensaios (com inoculação e sem inoculação). O IAF foi superior na presença de sol pleno e com adubação de 150 kg ha⁻¹ de N. O IAF é uma estimativa da biomassa de toda a parte vegetativa da planta e no estudo ficou claro a importância da adubação nitrogenada para a produtividade do capim Mombaça. Para a MSFT, observou-se um incremento de 416 kg ha⁻¹ na ausência de N, mas a sol pleno. Portanto, a luminosidade exerce grande influência sobre a MSFT. Com adubação com 150 kg ha⁻¹ de N o capim Mombaça apresentou maior o índice de clorofila no ambiente sombreado (+43%), já em sol pleno, a adubação com N não influenciou. Isso pode estar relacionado à presença da bactéria *Methylobacterium symbioticum* que pode ter atuado no desenvolvimento vegetal, equiparando os resultados. O capim inoculado sem adubação nitrogenada apresentou maior densidade de perfilhos, independentemente do ambiente. Com inoculação e com a adubação nitrogenada observou-se um aumento na degradabilidade da MS (DIVMS) do capim. Dessa forma, a adubação nitrogenada melhora a DIVMS e uso da *Methylobacterium symbioticum* parece reduzir as discrepâncias entre a produção com e sem sombra. A figura 1 mostra um resumo do experimento.

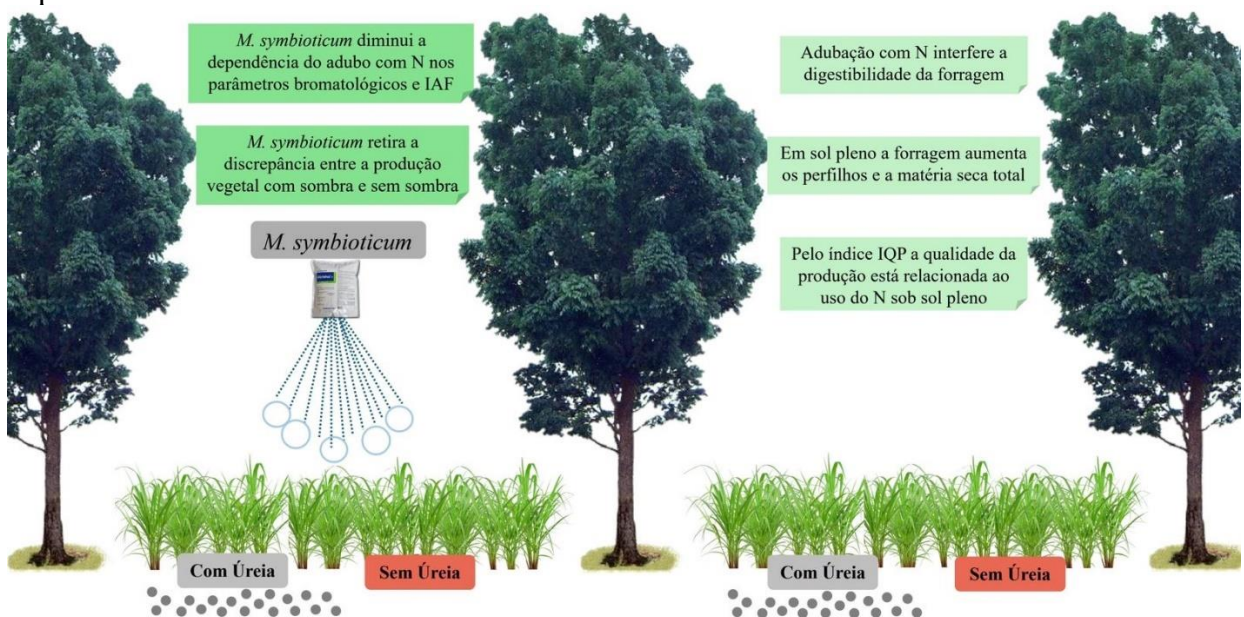


Figura 1. Associação da adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sobre características do capim Mombaça inoculado ou não com a bactéria *Methylobacterium symbioticum*.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Adubação de pastagens.....	10
2.2 Sistema silvopastoril.....	11
2.3 Bactérias promotoras de crescimento em plantas.....	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

CAPÍTULO II

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4. CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem o segundo maior rebanho bovino ocupando uma posição de destaque no cenário mundial. O crescimento do rebanho foi de cerca de 3,3% em 2022 estimando 202 milhões de cabeças, atrelado a uma redução na área de ocupação das pastagens em 5,7%, apresentando, portanto, um aumento na taxa de ocupação brasileira para 1,32 cabeças por hectare (ABIEC, 2023). As pastagens é o meio mais econômico e habitual para a alimentação do gado no Brasil, no entanto, a produtividade das pastagens brasileiras é considerada baixa, associada a manejos inadequados e degradação, com destaque para a falta de reposição de nutrientes ao solo (DIAS-FILHO, 2014; JANK et al., 2014).

Com o aumento da população atrelado ao aumento da demanda por alimentos e, conseqüentemente, a baixa disponibilidade de N para as culturas forrageiras tem aumentando uso de fertilizantes nitrogenados, entretanto, o problema com a utilização de fertilizantes nitrogenados reside na baixa eficiência de sua utilização pelas plantas em função da volatilização de amônia para o meio ambiente, lixiviação do nitrato e emissão de N_2 , N_2O e de outros óxidos de nitrogênio, além disso, outros aspectos estão atrelados a pontos negativos como eutrofização, acidificação e aquecimento global com fortes implicações na sustentabilidade dos agroecossistemas e na saúde humana.

Todavia, visando a melhoria do manejo de culturas através de populações microbiontes mais eficientes e mais adaptados aos diferentes tipos de solos, tem-se estudado o uso da inoculação de bactérias fixadoras de oxigênio (FREITAS et al., 2023).

As bactérias fixadoras de oxigênio mais conhecidas pertencem a ordem Rhizobiales, sendo de maior destaque os gêneros *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium* (Ensifer) e a *Methylobacterium* (DE MEYER., 2018; FEDERHEN et al., 2012).

Realizando um mapeamento da atividade enzimática do ciclo do nitrogênio de bactérias do gênero *Methylobacterium*, Rocha (2021) verificou atividade enzimática de bactérias do gênero *Methylobacterium* através da atividade da enzima Glutamina sintetase em quatro manejos: Mata Nativa, Pastagem Contínua, Integração Lavoura Pecuária e Plantio Convencional, catalizando a incorporação de amônio no glutamato, sendo que o manejo em pastagem contínua e integração lavoura pecuária apresentaram maior número de enzimas em atividade desse gênero.

Durante o processo de assimilação do nitrogênio, também conhecido como fixação biológica de nitrogênio, os microorganismos diazotróficos ou fixadores de nitrogênio são capazes de converter o N_2 em amônia e nitrato. É sabido que cerca de 65% do N produzido nos sistemas naturais e agrícolas é devido a fixação biológica de nitrogênio (DE MEYER et al., 2018).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Adubação de pastagens

As pastagens conseguem responder bem a um programa de adubação como qualquer outra cultura. A maioria das espécies do gênero *Megathyrus* apresentam elevado rendimento, mas requerem boa fertilidade do solo, principalmente em relação ao N para uma adequada produção vegetal (MISHRA et al., 2008; PACIULLO et al., 2017). Os dados de pesquisas e a experiência dos produtores mostram que a produtividade pode ser aumentada duas a três vezes com um adequado e planejado manejo de adubação de pastagens (USDA, 2012). No entanto, o produtor deve considerar a genética dos animais, as espécies forrageiras presentes, o nível de tecnologia adotado e os objetivos para a pastagem.

Dentre os diversos nutrientes minerais essenciais às forrageiras, o nitrogênio (N) é um dos mais limitantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Ao utilizar a adubação nitrogenada há uma promoção no aumento da massa de forragem e melhoria na porcentagem de proteína bruta da planta, tendo o N participação direta na molécula de clorofila, interferindo diretamente no processo fotossintético (GOMIDE et al., 2019).

O processo de mineralização da matéria orgânica e decomposição dos resíduos de origem vegetal e animal disponibiliza N para a planta, porém, a quantidade aportada não é suficiente para atender as exigências de N na planta, portanto, têm-se a necessidade da prática de adubação nitrogenada para a produção adequada (FAGUNDES et al., 2005).

A Organização das Nações Unidas prevê que serão necessários mais 52 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados e 165 milhões de hectares de novas áreas agrícolas para satisfazer a necessidade global de alimentos, alimentação animal, fibras e biocombustíveis até 2050 (FAO, 2018).

O nível adequado de N no solo é um fator associado ao aumento da produção forrageira, assim estratégias sustentáveis como a adubação nitrogenada garantem uma pecuária sustentável (SOUZA; FERNANDES, 2006). A adubação nitrogenada tem demonstrado resultados satisfatórios no aumento da produção e de diversos parâmetros bromatológicos e de degradabilidade das diversas cultivares de forrageiras (GOMIDE et al., 2019; PACIULLO et al., 2017).

Canto et al. (2016) Avaliando o uso de doses de N em pastagem de *Megathyrus maximus* cv. Mombaça verificou que a dose de 250 kg ha⁻¹ resultou em incremento (p<0,05) de biomassa fresca por m² se comparado com a dose de 0 kg ha⁻¹ de N, e a dose de 150 kg ha⁻¹ apresentou a maior eficiência agrônômica do ensaio. Em forrageira do gênero *Urochloa*, a

biomassa seca com a aplicação de 70 kg ha⁻¹ de N foi superior ($p < 0,05$) a dose 0 kg ha⁻¹ de N (GUENNI et al., 2008).

A adubação com N também aumenta a degradabilidade das forrageiras, tanto a degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) como a degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN). Assim, pode-se notar o impacto da adubação com N nesses parâmetros das forrageiras (MOREIRA et al., 2009; ALENCAR et al., 2014).

Já em relação aos teores das fibras, a fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA) apresentam correlação negativa com o aumento da dose de N em pastagens comerciais (REIS et al. 2013; FARIA et al., 2018). Sendo estes parâmetros importantes para a determinação da fração indigestível e fração total da parede celular das forrageiras.

2.2 Sistema Silvistoril

A perda da capacidade produtiva das pastagens tem impacto direto na produtividade pecuária e na eficiência do uso dos recursos naturais. Neste cenário, uma estratégia de produção que pode reverter essa degradação é o uso de sistemas silvistoris (SSPs) (SANTOS et al., 2018).

O sistema silvistoril é uma opção tecnológica de integração de árvores e forrageiras, contendo o pastoreio de gado e posteriormente o uso econômico da madeira, ou em benefício próprio para os animais (EMBRAPA, 2023). Os sistemas silvistoris exploram eficientemente os recursos naturais, controlam o processo erosivo, melhoram a estrutura do solo e equilibram a atividade dos microorganismos, promovem a formação de pastagens de melhor qualidade, além de que proporcionam ambiência animal em função do sombreamento das pastagens (CASTRO et al., 2008).

A aprovação da Lei 708 de abril de 2013 instituiu a política nacional de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF) no Brasil, e reforçou o crescente interesse na utilização de sistemas de produção sustentáveis. A partir dos SAFs surgiu o tema mais dinâmico e aplicado a iLPF, que é mais utilizado por produtores com áreas maiores, sendo uma estratégia de produção que integra diferentes sistemas produtivos, agrícolas, pecuários e florestais dentro de uma mesma área e sendo feito em cultivo consorciado, em sucessão ou em rotação, de forma que haja benefício mútuo para todas as atividades (EMBRAPA, 2023). A sigla IPF (integração pecuária-floresta) passou a ser sinônimo para sistema silvistoril, sobretudo com diversas políticas e instrumentos de implementação da iLPF em todo o território nacional.

Esta forma de sistema integrado busca otimizar o uso da terra, elevar os patamares de produtividade, diversificar a produção e gerar produtos de qualidade. Com isso a utilização de sistema silvipastoril apresenta-se como uma opção para reduzir o impacto causado pelo desmatamento das áreas utilizadas para a pecuária e reduz a pressão sobre a abertura de novas áreas (SCHEMBERGUE et al., 2017).

A utilização de sistema silvipastoril melhora a recuperação da fertilidade do solo, facilita a renovação das pastagens, aumenta o controle de pragas, doenças e plantas daninhas, aumenta a taxa de lotação por área, promove controle de erosão, aumenta a produtividade e o valor nutritivo da forragem e melhora o bem-estar animal, além das melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA et al., 2009). O solo e as plantas são os grandes beneficiários desse sistema, com incremento da matéria orgânica (MO), fixação biológica de N, maior ciclagem de nutrientes, atuação das raízes no intemperismo físico de rochas com liberação de nutrientes, redução da erosão, menor mineralização da MO, melhoria da estrutura, infiltração, porosidade do solo e manutenção da umidade com menores temperaturas do solo (BALBINO et al., 2019).

Os sistemas integrados como o silvipastoril promove recuperação destas áreas, além de possuir alta capacidade de fixação de CO₂, que é uma das moléculas responsáveis pelo efeito estufa. A mistura de plantas C3 e C4 (sistema silvipastoril) em uma mesma área apresentam fixação de carbono similar ou superior a áreas nativas amazônicas (STAHL et al., 2017).

O uso de árvores no sistema produtivo diminui a utilização de adubos minerais, pois o sistema radicular das árvores alcança volume considerável de solo, promove maior absorção de nutrientes e contribui para o equilíbrio ambiental do sistema, ao translocar nutrientes das camadas mais profundas e reciclar para as mais superficiais do solo. Além do mais, animais protegidos do calor pastam por períodos mais longos, o que reduz, em média, 20% o consumo de água e proporciona melhor conversão alimentar, elevando a produção de carne e leite (CASTRO et al., 2008).

Culturas agrícolas que são mais exigentes ao nível de nutrientes no solo respondem à integração com árvores no cultivo. Leite et al. (2019) avaliaram o sorgo forrageiro integrado com árvores leguminosas e encontraram que mesmo com menor área útil (devido ao espaço ocupado pelas árvores), o sorgo integrado teve a mesma produtividade ($p > 0,05$) quando comparado ao sorgo solteiro. A ciclagem de N realizada por árvores leguminosas, através da liteira depositada, contribui com cerca de 15,4 a 19,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, sem contar com a fixação biológica de nitrogênio (FBN) realizada, podendo influenciar na resposta das forrageiras (XAVIER et al. 2014).

A PB da forragem sob sombreamento tende a ser superior à da forragem sem sombreamento. A DIVMS dependendo do nível de sombreamento não é alterada quando comparada à forragem a sol pleno. O ganho médio diário (GMD) de bovinos pastejando sob capim Piatã sob sol pleno foi semelhante a utilização de sistema silvopastoril com Eucalipto em espaçamento entre linhas superior a 12m (SANTOS et al., 2018). O desempenho produtivo e o conforto térmico dos animais mantidos em sistema silvopastoril são superiores à média dos sistemas tradicionais por fornecer sombreamento e melhorar o conforto animal. Se bem manejado é uma alternativa relevante para diversificação da produção e traz incremento de renda ao produtor rural (CASTRO et al., 2008; SCHETTINI et al., 2021).

2.3 Bactérias promotoras de crescimento em plantas

A maioria dos solos brasileiros são responsivos ao N aplicado, mas a sua aplicação aumenta os custos de produção e os seus efeitos são de curta duração nos solos tropicais (CANTO et al., 2016). Além disso, os adubos com N são fabricados a partir de combustíveis fósseis (MORAIS et al. 2012), e há riscos associados a contaminação do solo e da água por adição de nitrato, perdas aceleradas devido à lixiviação e volatilização, bem como emissões de gases que causam o efeito estufa (PEDREIRA et al, 2017; SÁ et al., 2017).

Inicialmente as bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP) surgiram em pesquisas relacionadas à cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merr.), que são plantas leguminosas, no qual, essa família de plantas tem sua demanda por N atendida através de relações simbióticas com bactérias capazes de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico (FBN) nos nódulos radiculares (WANG et al., 2021). As BPCPs podem ser encontradas na rizosfera em associação com sistemas radiculares de plantas, tanto na superfície radicular e em associações endofíticas (NIU et al., 2018).

As BPCPs apresentam diversos efeitos positivos nas plantas, como suprimir patógenos de solo e promover o crescimento das plantas por meio da produção de fito-hormônios, mineralização e decomposição da matéria orgânica e melhoria da biodisponibilidade de diferentes nutrientes como ferro e fósforo (YANG et al., 2009; NUMAN et al., 2018).

O Brasil é tido como referência no tema, mas ainda apresenta uso modesto, especialmente em pastagens (MARTINS et al., 2018). Assim, na busca por resultados positivos e semelhantes aos alcançados com a inoculação de bactérias em plantas leguminosas com cepas que pode substituir parcial ou totalmente a fertilização com N, como em soja, estudos veem

sendo realizados com forrageiras em associação com bactérias (HUNGRIA et al., 2016; LEITE et al., 2018; LOPES et al., 2018; LEITE et al., 2019).

Em braquiária, foram confirmados aumentos na produção de biomassa e no teor de proteínas e o primeiro produto comercial foi lançado em 2018. Incrementos na produtividade e mitigação do stress pela seca também foram observados com uso de inoculante a base de *Azospirillum brasilense* (HUNGRIA et al., 2016; LEITE et al., 2018). Na ausência da adubação nitrogenada é possível aumentar a produção de forragem em até 36%, com inoculação de *Azospirillum brasilense* (LEITE et al., 2019). Além da capacidade de FBN, pode contribuir para a produção de fitohormônios e enzimas de solubilização de fosfato (HUNGRIA et al., 2016; FUKAMI et al., 2017; MARQUES et al., 2017; SOUZA et al., 2017).

O *Azospirillum* se destaca com potencial para promover maior tolerância das plantas a estresses bióticos e abióticos, como a seca (FUKAMI et al., 2017). Isto seria particularmente importante, devido ao ritmo de aumento da temperatura média nos últimos anos em diversas regiões do Brasil, onde o período de seca está se prolongando (LEITE et al., 2018).

A inoculação de *Pseudomonas fluorescens* e *Burkholderia pyrrocinia* em *Brachiaria brizantha* cv. Piatã foi eficaz para promover o desenvolvimento vegetal, aumentou a produção de nitratos, proteínas, concentração de N na planta, teor de clorofila, área foliar, número de perfilhos, fotossíntese líquida e biomassa total (LOPES et al., 2017). Na espécie *Megathyrsus maximus* cv. Zuri a *Pseudomonas fluorescens* foi responsável juntamente com a adubação nitrogenada em incrementos na matéria seca da raiz, parte aérea, produtividade e maior absorção de N, Mg e B do solo (SÁ et al., 2019). Na mesma forrageira o *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* também foram eficazes junto com a dose de 40 kg ha⁻¹ de N, no qual, aumentou o número de perfilhos em 33% e 25%, o N acumulado nos tecidos em 42% e 25%, respectivamente (FREITAS et al., 2023).

As espécies de bactérias como a *Methylobacterium symbioticum* são responsáveis pela fixação de N em plantas e apresentam resultados positivos para as culturas da alface, tomate e citros, no entanto, ainda necessita de pesquisa aplicada, visando estabelecer sua importância e viabilidade de aplicação em forrageiras (LIANG et al., 2019; SÁ, 2021; MARCHETTI, 2022).

O uso de BPCPs associados às culturas é menos dispendioso e mais sustentável do que a aplicação de fertilizantes nitrogenados (MALINICH; BAUER, 2018). Portanto, a associação com forrageiras surge como uma alternativa para reduzir o uso de insumos onerosos, com notáveis benefícios ambientais e econômicos (LOPES et al., 2017).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC, Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. 2023. Perfil pecuário no Brasil: relatório anual. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023-capitulo-04/.pdf> (Acesso em; 02 de janeiro de 2023).
- ALENCAR, C. A. B. de., MARTINS, C. E., OLIVEIRA, R. A. de., CÓSER, A. C., CUNHA, F. F. da., 2014. Bromatologia e digestibilidade de gramíneas manejadas por corte submetidas à adubações nitrogenadas e estações anuais. *Bioscience Journal*, v. 30, n.1, p. 8-15.
- BALBINO, L. C., KICHEL, A. N., BUNGENSTAB, D. J., ALMEIDA, R. G. 2019. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de., LAURA, V. A., BALBINO, L. C., FERREIRA, A. D.. (Eds.). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. 1ed.Brasília: Embrapa, v. 1, p. 31-48.
- CANTO, M. W., ALMEIDA, G. M., COSTA, A. C. S., BARTH NETO, A., SCALIANTE JÚNIOR, J. R., ORLANDINI, C. F., 2016. Seed production of “Mombasa” grass subjected to different closing cut dates and nitrogen rates. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 6, p. 766-775. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000600009>.
- CASTRO, A. C., LOURENÇO, J. D. B., DOS SANTOS, N. D. F. A., MONTEIRO, E. M. M., DE AVIZ, M. A. B., GARCIA, A. R., 2008. Sistema silvipastoril na Amazônia: Ferramenta para elevar o desempenho produtivo de búfalos. *Ciência Rural*, v. 38, n. 8, p. 2395–2402. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000800050>.
- DIAS-FILHO, M. B. Diagnóstico das pastagens brasileiras. Documentos 402. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/solucoes-tecnologicas/integracao-lavoura-pecuaria-floresta-ilpf> Acesso 22 de setembro de 2023.
- FAGUNDES, J. L., FONSECA, D. M., GOMIDE, J. A., JUNIOR, D. N., VITOR, C. M., MORAIS, R. V., MISTURA, C., REIS, G. C., MASTUSCELLO, J. A., 2005. Acúmulo de Forragem em Pastos de *Brachiaria decumbens* Adubados com Nitrogênio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 4 (40), p. 397- 403. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400012>.
- FARIA, B. M., MORENZ, M. J. F., PACIULLO, D. S. C., LOPES, F. C. F., GOMIDE, C. A. de M., 2018. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. *Revista Ciencia Agronomica*, v. 49, n. 3, p. 529–536. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180060>.
- FEDERHEN, Scott. The NCBI taxonomy database. *Nucleic acids research*, v. 40, n. D1, p. D136- D143, 2012.

FREITAS, G. da S., MOREIRA, A., PRUDÊNCIO, M. F., HEINRICHS, R., NOGUEIRA, M. A., HUNGRIA, M., SOARES FILHO, C. V., 2023. Foliar Spray Inoculation with Plant Growth Promoting Bacteria Associated with Nitrogen Doses in *Megathyrsus maximus* cv. BRS Zuri. *Agronomy*, v. 13, n. 4. <https://doi.org/10.3390/agronomy13041040>.

FUKAMI, J., OLLERO, F. J., MEGÍAS, M., HUNGRIA, M., 2017. Phytohormones and induction of plant-stress tolerance and defense genes by seed and foliar inoculation with *Azospirillum brasilense* cells and metabolites promote maize growth. *AMB Express*, 7, 153. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0453-7>.

HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., ARAUJO, R. S., 2016. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: An environmentfriendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. v. 221, p. 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>.

GOMIDE, C.A.M., PACIULLO, D.S.C., MORENZ, M.J.F., COSTA, I. A., LANZONI, C. L., 2019. Productive and morphophysiological responses of *Panicum maximum* Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity. *Grassland Science*, v.65, p.93-100. <https://doi.org/10.1111/grs.12226>.

GUENNI, O., SEITER, S., FIGUEROA, R., 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v. 42, n. 2, p. 75–87.

JANK, L. A. B., BARRIOS, S. C., VALLE, C. B., SIMEÃO, R. M., ALVES, G. F. 2014., The value of improved pastures to Brazilian beef production. *Crop & Pasture Science*. v. 65, n. 11, p. 1132–1137. <https://dx.doi.org/10.1071/CP13319>.

LEITE, R. da. C., SANTOS, J. G. D., SILVA, E. L., ALVES, C. R. C. R., HUNGRIA, M., LEITE, R. da. C., SANTOS, A.C., 2018. 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, n. 1. p. 61-67. <https://doi.org/10.1071/CP18105>.

LEITE, R. da. C., SANTOS, A. C., SANTOS, J. G. D., LEITE, R. da. C., OLIVEIRA, L. B. T., HUNGRIA, M., 2019. Mitigation of mombasa grass (*Megathyrsus maximus*) dependence on nitrogen fertilization as a function of inoculation with *Azospirillum brasilense*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 43: e0180234. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180234>.

LEITE, R. da. C., SANTOS, J. G. dos. D., LEITE, R. da. C., SOUSA, L. F.; SOARES, G. O. de. S., RODRIGUES, L. F.; CARNEIRO, J. S. da. S., SANTOS, A. C. dos., 2019. Leguminous alley cropping improves the production, nutrition, and yield of forage sorghum. *Agronomy*, v. 9, 636. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100636>.

LIANG, L., RIDOUTT, B. G., LAL, R., WANG, D., WU, W., PENG, P., HANG, S., WANG, L., & ZHAO, G. (2019). Nitrogen footprint and nitrogen use efficiency of greenhouse tomato production in North China. *Journal of Cleaner Production*, 208, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.149>.

LOPES, M. J. S., DIAS-FILHO, M. B., CASTRO, T. H. R., SILVA, G. B., 2017. Light and plant growth-promoting rhizobacteria effects on *Brachiaria brizantha* growth and phenotypic plasticity to shade. *Grass and Forage Science*, v. 73, n.2, p. 1–7. <https://doi.org/10.1111/gfs.12336>.

LOPES, M. J. S., DIAS-FILHO, M. B., CASTRO, T. H. R., FILIPPI, M. C. C., SILVA, G. B., 2018. Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth improvement and physiological responses in *Brachiaria brizantha*. *American Journal of Plant Sciences*. v. 9, n. 2, p. 250-265. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.92021>.

MALINICH, E. A., BAUER, C. E., 2018. The plant growth promoting bacterium *Azospirillum brasilense* is vertically transmitted in *Phaseolus vulgaris* (common bean). *Symbiosis*, v. 76, n. 2, p. 97-108. <https://doi.org/10.1007/s13199-018-0539-2>.

MARTINS, M. R., JANTALIA, C. P., REIS, V. M., DÖWICH, I., POLIDORO, J. C., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M., URQUIAGA, S., 2018. Impact of plant growth-promoting bacteria on grain yield, protein content, and urea-15N recovery by maize in a Cerrado Oxisol. *Plant and Soil*. v. 422, n. 1-2, p. 239–250. <https://doi.org/10.1007/s11104-017-3193-1>.

MARQUES, A. C. R., OLIVEIRA, L. B., NICOLOSO, F. T., JACQUES, R. J. S., GIACOMINI, S. J., QUADROS, F. L. F., 2017. Biological nitrogen fixation in C4 grasses of different growth strategies of South America natural grasslands. *Applied Soil Ecology*, 113, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.01.011>.

MARCHETTI, Juliana Aparecida. **Efeito de microrganismos fixadores de nitrogênio que habitam a filosfera na nutrição da alfaca.** 2022. Dissertação (Mestrado em agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná) - Escola Superior Agrária de Bragança, Bragança, Portugal, 2022.

MORAIS, R. F., QUESADA, D. M., REIS, V. M., URQUIAGA, S., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M., 2012. Contribution of biological nitrogen fixation to elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, v. 356, n. 1-2, p. 23-34. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0944-2>.

MOREIRA, L. de. M., MARTUSCELLO, J. A., FONSECA, D. M. da., MISTURA, C., MORAIS, R. F., QUESADA, D. M., REIS, V. M., URQUIAGA, S., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M., 2012. Contribution of biological nitrogen fixation to elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.). *Plant and Soil*, v. 356, n. 1-2, p. 23-34. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0944-2>.

MOREIRA, L. de. M., MARTUSCELLO, J. A., FONSECA, D. M. da., MISTURA, C., MORAIS, R. V. de., RIBEIRO JÚNIOR, J. I., 2009. Perfilhamento, acúmulo de forragem e

composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. Revista Brasileira de Zootecnia, v.38, n.9, p.1675-1684. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900006>.

MISHRA, S., SHARMA, S., VASUDEVAN, P., 2008. Comparative effect of biofertilizers on fodder production and quality in guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.). Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 88, n. 8, p. 1667-1673. <https://doi.org/10.1002/jsf>.

NUMAN, M., BASHIRA, S., KHAN, Y., MUMTAZ, R., SHINWARI, Z. K., KHAN, A. L., KHAN, A., AL-HARRASI, A., 2018. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. Microbiological Research. v. 209, p. 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-FAO. 2018. The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. Rome, Italy: FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf> (acesso em 21 de agosto de 2023).

PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. D. M., CASTRO, C. D., MAURÍCIO, R. M., FERNANDES, P. B., MORENZ, M. J. F., 2017. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. Grass and forage Science, 72 (3), 590-600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>.

PEDREIRA, B. C., BARBOSA, P. L., PEREIRA, L. E. T., MOMBACH, M. A., DOMICIANO, L. F., PEREIRA, D. H., FERREIRA, A., 2017. Tiller density and tillering on *Brachiaria brizantha* cv. Marandu pastures inoculated with *Azospirillum brasilense*. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 69, n. 4, p. 1039-1046. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9034>.

REIS, G. L., LANA, A. M. EMERENCIANO NETO, J. V., LEMOS FILHO, J. P. de., BORGES, I., LONGO, R. M., 2013. Produção e composição bromatológica do capim-marandu, sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. Bioscience journal, v. 29, Supplement 1, p. 1606-1615.

SÁ, G. C. R., HUNGRIA, M., CARVALHO, C. L. M., MOREIRA, A., NOGUEIRA, M., HEINRICH, R., SOARES FILHO, C. V., 2019. Nutrients Uptake in Shoots and Biomass Yields and Roots and Nutritive Value of Zuri Guinea Grass Inoculated with Plant Growth-promoting Bacteria. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 50, n. 22, p. 2927–2940. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1689256>.

SÁ, Francisco Eduardo Silva Costa e. **Estratégias sustentáveis para o aumento da eficiência do uso da água e de azoto em tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**. 2021. Dissertação (Mestrado em engenharia agrônoma) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.

SANTOS, D. de C., GUIMARÃES JÚNIOR, R., VILELA, L., MACIEL, G. A., FRANÇA, A. F. de S., 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 266, n. July, p. 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>.

SANTOS, D. de C., GUIMARÃES JÚNIOR, R., VILELA, L., MACIEL, G. A., FRANÇA, A. F. de S., 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 266, n. July, p. 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>.

SCHETTINI, B. L. S., OLIVEIRA NETO, S. N., JACOVINE, L. A. G., TORRES, C. M. M. E., VILLANOVA, P. H., ROCHA, S. J. S. S., 2021. Viabilidade econômica de um sistema silvipastoril na zona da mata de minas gerais. Scientia Forestalis, 49(130), e3463. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n130.04>.

SCHEMBERGUE, A., CUNHA, D. A. DA., CARLOS, S. DE. M., PIRES, M. V., FARIA, R. M., 2017. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. Revista de economia e sociologia rural, v. 55, 1, p. 009-030. <https://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>.

SOUZA, R. S., FERNANDES M. S., 2006. Nitrogênio In: Fernandes M. S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos. p. 216.

SOUZA, M. S. T., BAURA, V. A., SANTOS, S. A., FERNANDES-JÚNIOR, P. I., REIS, F.B., JUNIOR MARQUES, M. R., PAGGI, G. M., SILVA, B. M., 2017. *Azospirillum* spp. from native forage grasses in Brazilian Pantanal floodplain: biodiversity and plant growth promotion potential. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 33, 81. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2251-4>.

SILVA, V. P. da., MEDRADO, M. J. S., NICODEMO, M. L. F., DERETI, R. M., 2009. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2009. 48 p. ISBN 978-85-89281-35-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132912/1/2014-reimp-Cartilha-Arborizacao-2014.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

STAHL, C., FONTAINE, S., KLUMPP, K., PICON-COCHARD, C., GRISE, M. M., DEZÉCACHE, C., PONCHANT, L., FREYCON, V., BLANC, L., BONAL, D., BURBAN, B., SOUSSANA, J. F., BLANFORT, V., 2017. Continuous soil carbon storage of old permanent pastures in Amazonia. Global Change Biology, v. 23, n. 8, p. 3382–3392. <https://doi.org/10.1111/gcb.13573>.

USDA, United States department of agriculture. 2012. Illinois Grazing Manual Fact Sheet. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Pasture-Fertilization.pdf>. Acesso em: 07 de setembro de 2023.

WANG, T., GUO, J., XIANGGUANG LYU, Y. P., LIU, B., SUN, S., WANG, X., 2021. Light-induced mobile factors from shoots regulate rhizobium-triggered soybean root nodulation. Science. v. 374, n. 6563, p. 65-71. <https://doi.org/10.1126/science.abh2890>.

XAVIER, D. F., LEDO, F. J. da. S., PACIULLO, D. S. de. C., URQUIAGA, S., ALVES, B. J., BODDEY, R. M., 2014. Nitrogen cycling in a Brachiaria-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.99, p.45-62. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9617-x>.

YANG, J., KLOEPPER, J. W., RYU, C. M., 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*. v.14, n.1. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004>.

CAPÍTULO II

1. INTRODUÇÃO

O uso de sistemas agroflorestais, utilização racional de adubos, principalmente nitrogenados, e uso de bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCPs) são estratégias sustentáveis que seguem a linha de produção mais eficiente, ocasionando maiores produtividades e reduzindo a abertura de novas áreas para a produção (FREITAS JÚNIOR; BARROS, 2021).

A utilização de sistema silvipastoril apresenta-se como uma opção para reduzir o impacto causado pelo desmatamento das áreas utilizadas para a pecuária (SCHEMBERGUE et al., 2017). E em escala maior de produção, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) também é uma opção sustentável (BALBINO et al., 2019). Estratégias que visam contribuir com o aumento da produtividade animal, garantia de maior retorno econômico e sustentabilidade ambiental.

O uso extensivo das pastagens sem manejo adequado e reposição da fertilidade tem causado o seu processo de degradação, com posterior danos erosivos aos solos. A fertilidade do solo é um fator diretamente relacionado ao aumento da produção das pastagens, devido à pobreza nutricional e a degradação encontrada nos solos brasileiros. Dentre os nutrientes utilizados na produção vegetal, o nitrogênio (N) têm destaque especial pelo rápido incremento na produtividade das pastagens (SOUZA; FERNANDES, 2006). A adubação nitrogenada tem demonstrado resultados satisfatórios no aumento da produção das forrageiras, mesmo em sistemas com diferentes níveis de luminosidade (GOMIDE et al., 2019; PACIULLO et al., 2016).

Como alternativa para reduzir a alta dependência de fertilizantes nitrogenados, tem-se utilizado de microorganismos capazes de promover o crescimento vegetal pela fixação de N no solo. As BPCPs vem sendo testadas com sucesso na agricultura, inclusive em plantas não leguminosas (BARBOSA et al., 2022), sendo importante o uso destas em pastagens cultivadas, para reduzir as taxas de fertilizantes nitrogenados e melhorar a qualidade nutricional das pastagens e do solo.

A degradação do solo é o ponto focal para a segurança alimentar do Brasil e do mundo. Em apenas 1% dos municípios brasileiros está concentrado cerca de 25% das pastagens degradadas (FELTRAN-BARBIERI; FÉRES, 2021). Com o foco na recuperação dessas áreas

e o emprego de sistemas integrados, adubação e uso de BPCPs neste pequeno grupo de municípios poderia gerar benefícios consideráveis (FELTRAN-BARBIERI; FÉRES, 2021).

Dessa forma, o objetivou-se com o presente estudo avaliar a associação da adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sobre a produção, composição bromatológica e degradabilidade do capim Mombaça inoculado com a bactéria *Methylobacterium symbioticum* Amazônia brasileira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em condições de campo entre dezembro de 2022 e abril de 2023 na área experimental do setor de Forragicultura da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Parauapebas – PA, sob solo classificado como Argissolo vermelho-amarelo (EMBRAPA, 2018), localizado sob as coordenadas Lat. 06° 04' 27,4"S; Long. 049° 49' 09,24"W na altitude de 245 m. As características físico-químicas do solo está disposta na tabela 1.

O clima da região é classificado como Aw–Tropical com período seco de maio a outubro e período úmido bastante acentuado, com chuvas intensas de novembro a abril (ALVARES et al., 2013). A média de precipitação pluviométrica do período experimental está disposta na Figura 1 e foi obtida na estação meteorológica (Estação Betânia) localizada em Parauapebas-PA.

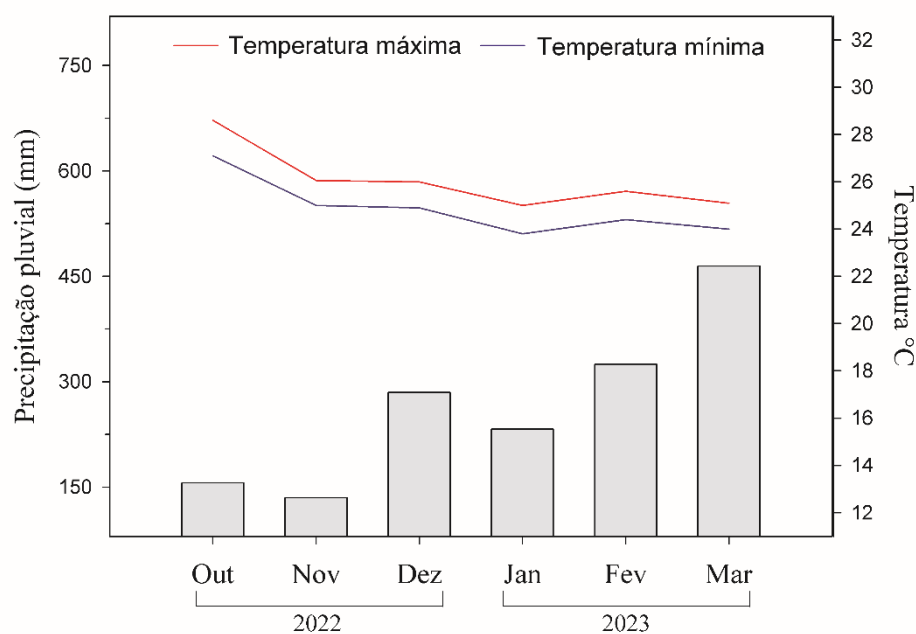


Figura 1. Dados pluviométricos de temperatura do período experimental no setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Foi utilizado um sistema silvipastoril formado por *Megathyrus maximus* cv. Mombaça, implantado em janeiro de 2018 e Mogno Africano (*Khaya spp.*), em espaçamento de 10 metros entre linhas e seis metros entre plantas. O Mogno Africano foi plantado no sentido Leste-Oeste, de forma que o capim localizado nas entrelinhas do Mogno fica a sol pleno ao longo do dia e o capim localizado entre plantas de Mogno recebeu sombreamento (aferido de 12,5%) da copa das árvores. O sombreamento foi determinado por luxímetro LD-200 Digital Lux Meter Instrutherm®.

Foram conduzidos dois experimentos simultâneos na área experimental; 1- com inoculação via foliar de *Methylobacterium symbioticum* (0,33 kg ha⁻¹) na forrageira; 2- sem a inoculação na forrageira. Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados em arranjo fatorial (2x2), composto por dois níveis de adubação nitrogenada (0 e 150 kg ha⁻¹) e dois níveis de luminosidade (sol e sombra), em parcelas de 4x3m com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais para cada experimento.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do Argissolo vermelho-amarelo (0-20 cm) da área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

pH	P Melich	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al	H+Al	CTC	Soma bases	MO	Argila	Silte	Areia	V%
CaCl ₂	mg dm ⁻³		-----cmolc dm ⁻³ -----							%			
4,8	1,1	134	1,5	0,4	0,1	2,6	4,94	2,24	2,0	20	6,0	74	45,3

Fósforo (P); Potássio (K); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Alumínio (Al); Hidrogênio + Alumínio (H+Al); Saturação por bases (V%); Capacidade de troca de cátions (CTC); Matéria orgânica (MO); Cloreto de cálcio (CaCl₂).

Antes da implantação dos ensaios, realizou-se o corte de uniformização do capim, deixando-o a 40 cm de altura do solo. Após o corte, foi realizada aplicação de 200 kg ha⁻¹ de calcário (CaO 33,57% e MgO 13,27%), 120 kg ha⁻¹ de K₂O, e 225 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, seguindo as recomendações da análise de solo (LIMA; MARIA, 2020). Para o fator adubação nitrogenada (0 e 150 kg ha⁻¹), utilizou-se a ureia dividida ao longo de três ciclos (50 kg N ha⁻¹/corte) de produção da forrageira.

As coletas de dados da altura das plantas (AP) de capim foram realizadas com auxílio de uma régua graduada, durante as medições acompanhou-se o momento ideal para o corte da forragem aos 90 cm de altura. Quando se verificava a altura adequada, no momento do corte era realizada a determinação do teor de clorofila (CLOR) em dez plantas aleatórias, utilizando um aparelho portátil Clorofilometro AtLeaf®, com leituras no terço médio da lâmina foliar. O

índice de área foliar (IAF) foi coletado com uso do instrumento Accupar ALP-80® e as medições também foram realizadas antes do corte em cinco pontos de cada parcela e os dados expressos em m² de folha por m² de solo.

Para a determinação da densidade populacional de perfilho m² (DP), utilizou-se uma moldura de ferro com dimensões de 1m x 0,15m (0,15 m²) ajustada no meio da parcela e realizado a contagem do número de perfilhos, ao final de cada ciclo de corte. Para a avaliação da produção, utilizou-se outra moldura retangular de ferro de 1m x 0,6m (0,6 m²) para coleta da massa verde, sendo que na coleta era deixado um resíduo de 40 cm. Para a determinação da massa seca de forragem (MSFT), as amostras da forrageira foram secas em estufa de ventilação forçada a 55 °C durante 72 horas.

Para análise bromatológica as amostras secas foram moídas em moinho tipo “Willey” com peneira de crivo de 1 mm, e analisadas quanto aos teores de matéria seca (MS – método G-0003/1), matéria mineral (MM – método M-001/2) e proteína bruta (PB – método N-001/2), em metodologia descrita por Detmann et al. (2021). A determinação da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) seguiu recomendações de Van Soest et al. (1991), com modificações propostas no manual do dispositivo Ankom (Ankom 200, Technology Corporation, Macedon, New York, US).

A avaliação da degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) foi realizada em duplicata e utilizou-se do método proposto por Tilley e Terry (1963), adaptado por Camacho et al. (2023). Para a avaliação da degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN), utilizou-se dos cadinhos remanescentes da DIVMS, e seguiu-se as recomendações propostas em Mertens (2002) e Detmann et al. (2021).

Foi estimado um índice de qualidade (IQ) através dos parâmetros avaliados, produção vegetal, análise bromatológica e degradabilidade do capim (IAF, Clor, AP, DP, MVFT, MSFT, MS, MM, PB, FDN, FDA, DIVMS e DIVFDN). Para isso todas as variáveis foram submetidas a análise multivariada, que foi realizada usando a análise de componentes principais (ACP) como método de extração, foram extraídas 4 componentes representadas por autovalores > 1, que juntas explicam 71,6% dos dados (ARCOVERDE et al., 2015).

Todas as práticas de manejo animal seguiram as recomendações da comissão de ética no uso de animais em experimentação – CEUA, da Universidade Federal Rural da Amazônia (Permissão número: 6826010823, registrado em 01 de agosto de 2023).

O modelo para o IQ, nomeado como índice de qualidade da produção (IQP) utilizou-se da matriz de escores fatoriais (EF) após a rotação ortogonal Varimax da estrutura fatorial dos componentes selecionados (tabela 2) (SANTANA, 2007).

Tabela 2. Matrix de escores fatoriais (EF) dos quatro componentes principais determinados pela análise de componentes principais em capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril com ou sem inoculação de *Methylobacterium symbioticum* no setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Tratamentos repetições	Não inoculado				Inoculado			
	EF 1	EF 2	EF 3	EF 4	EF 1	EF 2	EF 3	EF 4
0 N-sombra	-0,645	-0,598	-1,204	0,689	-0,979	0,124	-1,202	-0,675
0 N-sombra	-1,414	-0,524	-0,420	-0,044	0,446	-1,509	-1,054	0,065
0 N-sombra	-1,491	-0,800	-0,338	-0,529	-0,830	-1,004	-0,398	-0,500
0 N-sombra	-0,869	0,513	-0,524	-0,670	-0,913	-1,054	-0,003	-1,245
0 N-sombra	0,161	0,606	0,181	-0,532	0,648	-1,904	-0,486	-0,196
0 N-sol	-0,312	0,850	0,058	-2,495	-0,408	-0,152	0,745	1,033
0 N-sol	0,915	-0,931	-0,654	-0,955	-0,728	-0,327	0,149	0,303
0 N-sol	1,392	0,318	0,107	-0,887	-0,565	0,454	-0,144	0,307
0 N-sol	-0,198	0,273	-0,749	-0,760	0,280	0,392	-0,203	0,416
0 N-sol	2,737	0,618	-0,938	-0,924	1,229	-1,442	-1,517	2,350
150 N-sombra	-1,119	1,357	0,281	-1,039	-0,889	0,037	-1,189	0,903
150 N-sombra	-0,764	-0,323	-0,569	-0,987	0,226	-1,031	0,031	0,716
150 N-sombra	0,375	-2,143	3,944	-1,525	-1,065	0,386	0,260	0,154
150 N-sombra	1,135	-0,125	0,381	1,003	-0,085	1,460	1,030	-0,204
150 N-sombra	1,576	-1,091	1,021	-0,399	0,195	1,205	-0,862	-0,521
150 N-sol	-0,101	-0,049	0,069	-0,836	-0,062	-0,509	-0,392	0,877
150 N-sol	-1,051	2,156	0,894	1,073	-0,509	0,245	0,823	0,948
150 N-sol	-0,447	0,743	1,241	2,024	-0,876	0,039	0,546	1,206
150 N-sol	0,426	-0,474	0,828	1,515	1,369	1,696	-0,834	-0,190
150 N-sol	1,881	1,216	-0,739	-0,019	1,330	1,304	1,831	0,548

0 N: 0 kg ha⁻¹ de Nitrogênio; 150 N: 150 kg ha⁻¹ de Nitrogênio. EF: Escore fatorial

Em cada fator, determinou-se o máximo e o mínimo e os escores foram padronizados (FP) para obtenção de valores positivos dos escores originais, seguindo a equação (1):

$$FP = (EF - EF_{min}) / (EF_{max} - EF_{min}) \quad (1)$$

Em que, EF são os valores observados pelos escores fatoriais e EF_{min} e EF_{max} são os valores máximo e mínimo, respectivamente.

Os pesos de cada fator extraído (P_n) foram determinados pela equação (2) e o IQP foi determinado pela equação (3):

$$P_n = SR_n / \sum SR_n \quad (2)$$

$$IQP = \sum (Fp_1 \times P_{n1}) + (Fp_2 \times P_{n1}) \dots \quad (3)$$

Em que SR_n é a soma da rotação dos quadrados de cada componente extraída.

Todos os parâmetros avaliados foram realizados nos três ciclos de corte da forrageira, assim os valores apresentados referem-se a média dos cortes. Os resultados foram submetidos à análise de variância e considerou-se como fontes de variação, a adubação nitrogenada, o nível de luminosidade e a interação entre a adubação nitrogenada e o nível de luminosidade, nos dois experimentos (com inoculação de *Methylobacterium symbioticum* e sem inoculação). Para o teste de média aplicou-se o teste de SNK ($p < 0,05$) através do programa Sisvar® v. 5.6 (Ferreira, 2011). Na análise multivariada aplicou-se o teste de Kaiser-Meyer-olkin (KMO) e o teste de Bartlett para significância, através do RStudio® v. 4.1.1 (R Core Team, 2019). E para a confecção dos gráficos utilizou-se do programa SigmaPlot® v.10.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre as doses de N e o nível de luminosidade ($p < 0,05$) em alguns parâmetros avaliados, tanto na ausência de inoculação como na presença de inoculação com *Methylobacterium symbioticum*. O resultado da análise de variância das características de produção, composição bromatológica e degradabilidade do capim Mombaça dos dois experimentos estão dispostos na Tabela 3.

Foi observada interação ($p < 0,05$) entre as doses de N e o nível de luminosidade para o índice de área foliar (IAF) no experimento sem inoculação, no qual o IAF produzido a sol pleno foi superior ($p < 0,05$) com a adubação de 150 kg ha^{-1} , com incremento de 200% em relação ao tratamento sem adubação nitrogenada. O ambiente sombreado nos níveis de adubação não apresentou diferenças ($p > 0,05$) quando comparado para o IAF. Entretanto, sem adubação com N o ambiente sombreado apresentou maior ($p < 0,05$) IAF do que o a sol pleno (figura 2a). O fluxo e o padrão de alocação de fotoassimilados são modificados pela planta quando submetida ao sombreamento (PACIULLO et al., 2008), especialmente sem a interferência de N no sistema. O N apresenta funções importantes na planta, principalmente na síntese de clorofila, então quando presente, ele regula o crescimento e o alongamento da planta (PRIMAVESI et al., 2006).

No experimento com inoculação de *Methylobacterium* não houve interação ($p > 0,05$) entre doses de N e nível de luminosidade. O IAF foi superior ($p < 0,05$) na presença de sol pleno e com adubação de 150 kg ha^{-1} de N (figura 2b). O IAF não diferiu entre forragem a sol pleno e em sistema silvopastoril com Eucalipto espaçado entre linhas de 22m, porém o adensamento do

Eucalipto impacta no menor IAF da forragem, assim a proporção de sombreamento interferi no IAF (SANTOS et al., 2016).

Tabela 3. Resumo da análise de variância das características de produção, composição bromatológica e degradabilidade de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril com ou sem inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA.

Variáveis	Não inoculado						
	Quadrado médio				P-Valor		
	Nitrogênio	Luminosidade	N x L	Erro	N	L	N x L
IAF, m ² /m ²	3,8	0,03	7,24	0,2	0,005*	0,703	0,001*
Clorofila, mg cm ²	66,1	125,8	122,2	44,1	0,238	0,111	0,115
Altura, cm	36,9	71,2	2,9	49,8	0,402	0,249	0,809
DP, m ²	117,6	478,4	2,79	55,4	0,164	0,009*	0,825
MVFT, kg ha ⁻¹	1,1x10 ⁵	3,6x10 ⁶	4,4x10 ⁶	1,8x10 ⁶	0,802	0,177	0,136
MSFT, kg ha ⁻¹	322,7	7,4x10 ⁴	4,3x10 ⁵	7,0x10 ⁴	0,946	0,317	0,024*
MS, g kg ⁻¹	31,4	3079,1	572,6	627,8	0,825	0,061	0,353
MM, g kg ⁻¹ MS	20,4	86,6	6,2	130,2	0,697	0,426	0,829
PB, g kg ⁻¹ MS	822,6	761	262,4	260,5	0,094	0,106	0,330
FDN, g kg ⁻¹ MS	1389,2	0,4	5,0	181,5	0,013*	0,961	0,869
FDA, g kg ⁻¹ MS	1504,7	50,2	565,1	411,2	0,073	0,731	0,258
DIVMS, g kg ⁻¹	71,5	7365,8	0,3	769,2	0,764	0,007*	0,928
DIVFDN, g kg ⁻¹ MS	5409,7	617,2	120,0	586,7	0,007*	0,320	0,657
IQP	0,04	0,12	0,001	0,01	0,11	0,01*	0,778
Inoculado							
IAF, m ² /m ²	1,69	7,11	0,01	0,25	0,019*	0,001*	0,809
Clorofila, mg cm ²	77,5	69,9	114,3	20,8	0,071	0,085	0,032*
Altura, cm	42,5	20,0	3,16	32,2	0,267	0,441	0,758
DP, m ²	281,1	0,13	19,3	46,9	0,026*	0,957	0,530
MVFT, kg ha ⁻¹	1,8x10 ⁶	4,2x10 ⁶	6,7x10 ⁵	1,3x10 ⁵	0,259	0,100	0,495
MSFT, kg ha ⁻¹	3,3x10 ⁴	1,6x10 ⁵	7,1x10 ⁴	5,1x10 ⁴	0,434	0,095	0,255
MS g kg ⁻¹	381,5	897,9	19,2	299,1	0,275	0,102	0,803
MM g kg ⁻¹ MS	17,1	45,6	37,8	79,5	0,649	0,460	0,500
PB g kg ⁻¹ MS	1480,7	740,9	213,7	392,1	0,069	0,188	0,471
FDN g kg ⁻¹ MS	0,3	312	202,6	136,2	0,959	0,149	0,240
FDA g kg ⁻¹ MS	0,02	619,6	317,1	216,4	0,991	0,110	0,243
DIVMS g kg ⁻¹	1821,7	456,2	416,4	361,7	0,039*	0,278	0,299
DIVFDN g kg ⁻¹ MS	9216,2	1434,3	392	830,7	0,004*	0,207	0,501
IQP	0,14	0,10	0,007	0,01	0,005*	0,01*	0,46

*Significativo (p<0,05); N*L: Interação entre o nitrogênio e luminosidade; IAF: índice de área foliar; CLOR: clorofila; DP: densidade de perfílios; MVFT: massa verde de forragem total (kg-ha); MSFT: massa seca de forragem total; MS: matéria Seca; MM: matéria Mineral; PB: Proteína Bruta; FDN: fibra em Detergente Neutro; FDA: fibra em Detergente Ácido; DIVMS: degradabilidade *in vitro* da MS; DIVFDN: degradabilidade *in vitro* da FDN; IQP: índice de qualidade da produção. Letras minúsculas diferentes nas linhas comparam dentro das doses de nitrogênio e nos ambientes pelo teste F (p<0,05).

O índice de clorofila do capim sem inoculação não apresentou interação e não teve efeito dos fatores isolados (doses de N e luminosidade) (figura 2c). Condições de sombreamento moderado pode não afetar as forrageiras, ou seja, até 20% de sombreamento não há interferência

no índice de clorofila (LOPES et al., 2017a). Entretanto, no capim inoculado houve interação entre as doses de N e a luminosidade. A adubação com 150 kg ha⁻¹ de N em comparação a dose 0 de N só influenciou (p<0,05) positivamente em ambiente sombreado (+43%), já em sol pleno a adubação com N não influenciou, resultado que pode estar relacionado à presença da bactéria *Methylobacterium symbioticum* que pode ter atuado no desenvolvimento vegetal, equiparando os resultados. Sem adubação com N a clorofila aumentou (p<0,05) 45% em sol pleno, comparado ao ambiente sombreado (figura 2d). Logo, mesmo com estímulo da bactéria para compensar a falta de luz, a clorofila só vai incrementar se tiver N presente.

O sombreamento pode ser um fator limitante para a fotossíntese das plantas, podendo ter redução do potencial produtivo (TAIZ; ZEIGER, 2017). No entanto, as bactérias promotoras de desenvolvimento vegetal com presença de adubação nitrogenada ou não, podem favorecer o incremento no teor de clorofila das forrageiras, ocasionado pela assimilação de N, oriundo da fixação biológica (SÁ et al., 2019).

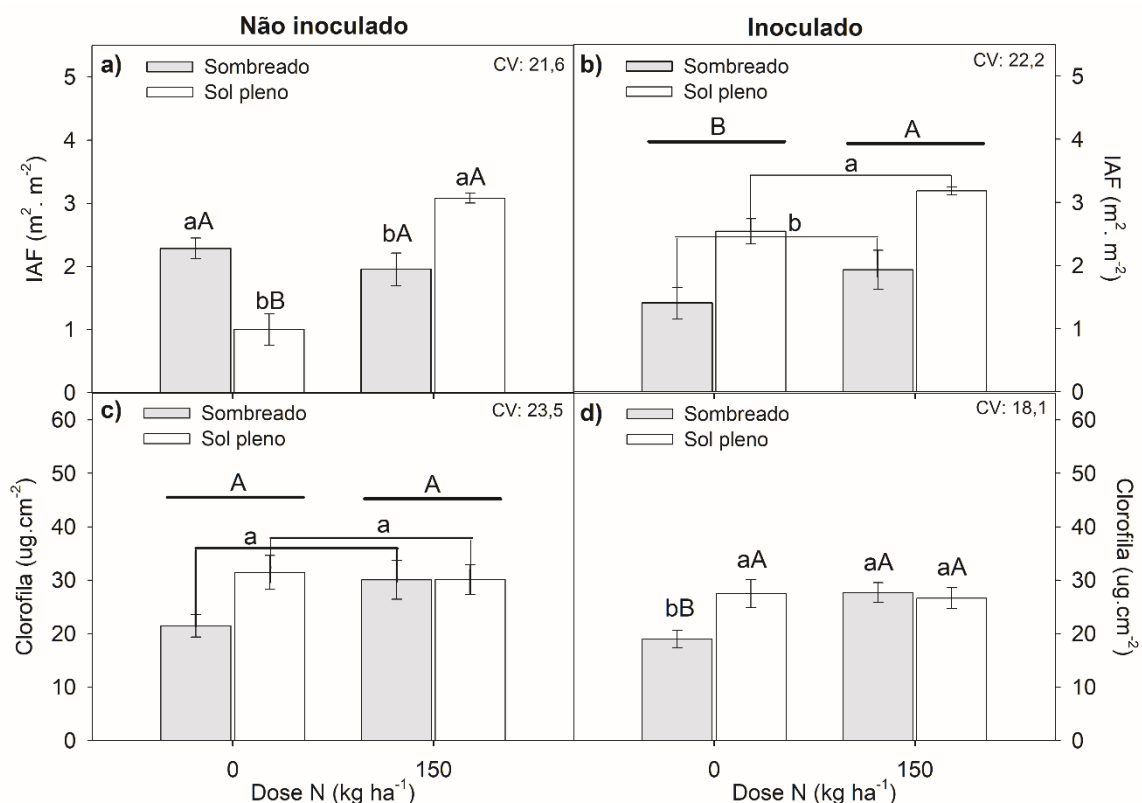


Figura 2. Índice de área foliar (IAF) e teor de clorofila de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) índice de área foliar (IAF) sem inoculação; (b) índice de área foliar (IAF) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK (p<0,05).

A altura de plantas (AP) e densidade de perfilhos (DP) não apresentaram interação ($p > 0,05$) entre os fatores (doses de N e luminosidade) e nem entre os fatores isolados em nenhuma situação (com inoculação e sem inoculação) (figura 3). A adubação com 150 kg ha^{-1} de N diminuiu ($p < 0,05$) a DP em 17% em relação à dose 0 de N na presença de inoculação com *Methylobacterium symbioticum* (figura 3d).

A presença dessa espécie de microrganismo promotor de desenvolvimento vegetal (*Methylobacterium symbioticum*) afetou a DP neste trabalho. Ao avaliar a produtividade do capim Marandu (*Urochloa brizantha*) inoculado com *Azospirillum brasilense*, Leite *et al.* (2018) observaram que a inoculação promoveu aumento tanto na altura da planta quanto na densidade de perfilhos, independente da adubação nitrogenada. No entanto, a redução ocasionada na DP pode estar relacionada à priorização da produção de matéria seca em relação ao perfilhamento da forrageira.

A redução da DP em ambiente sombreado tem relação direta com a redução da massa seca da forragem, com influência direta na produção da forragem (LOPES *et al.*, 2017a). Em trabalho que avaliou a morfologia e acúmulo de Braquiária sob adubação e regimes de luminosidade, a adubação com N só exerceu influência sob ambiente a sol pleno (LOPES *et al.*, 2017b). Em geral, as gramíneas quando submetidas ao sombreamento priorizam o crescimento das plantas existentes, em detrimento da produção de novos perfilhos (PACIULLO; GOMIDE, 2019). Há redução da relação vermelho-vermelho distante, em condições de sombreamento natural, ocasionando importantes efeitos sobre a morfogênese das plantas e diminuindo, principalmente, o perfilhamento (PACIULLO *et al.*, 2011).

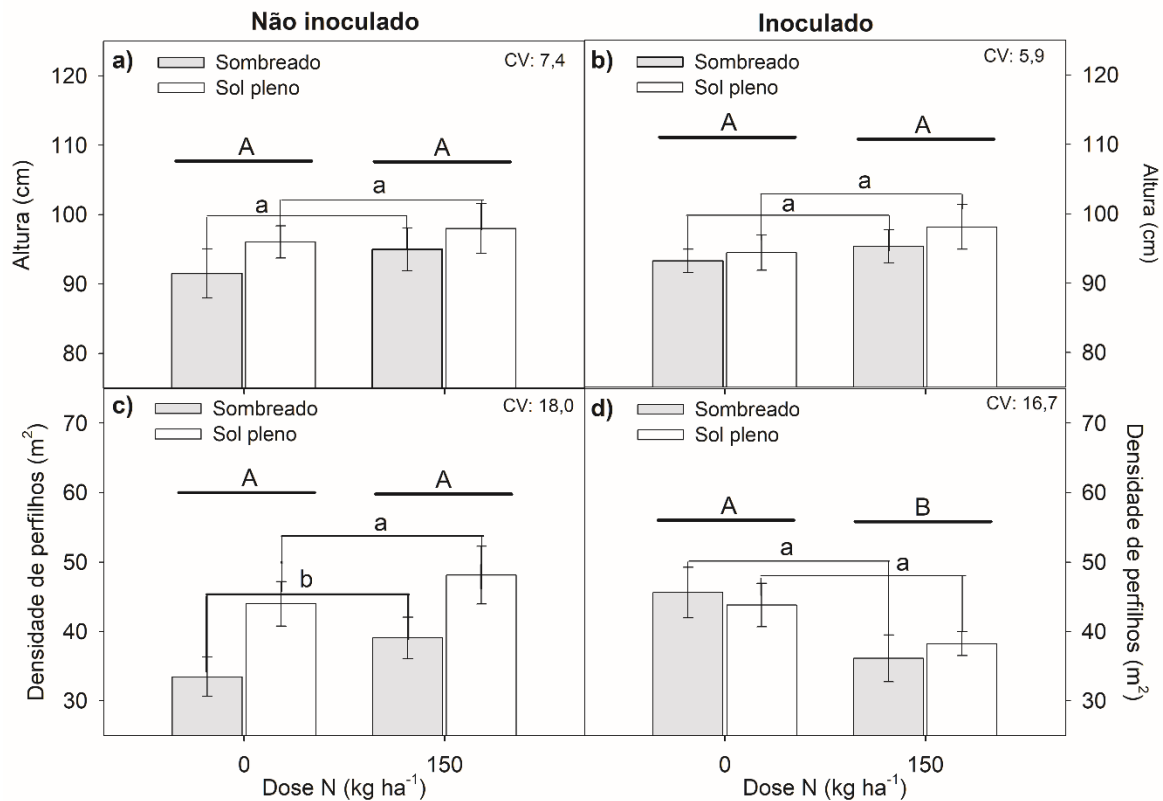


Figura 3. Altura de plantas e densidade de perfilhos de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) altura de plantas (AP) e densidade de perfilhos (DP) sem inoculação; (b) altura de plantas (AP) e densidade de perfilhos (DP) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK ($p < 0,05$).

A massa verde de forragem total (MVFT) não apresentou interação ($p > 0,05$) entre as doses de N e a luminosidade, assim como para os fatores isolados, tanto na ausência como na presença de inoculação com *Methylobacterium symbioticum* (Figura 4a e 4b). Faria et al. (2018) também não encontraram efeito do sombreamento (54%) sob MVFT dos capins *Brachiaria decumbens* e *ruziziensis*.

A MSFT foi influenciada pela interação entre os fatores adubação N e luminosidade, no experimento sem inoculação ($p < 0,05$). Observando-se um incremento de 416 kg ha⁻¹ de MSFT na ausência de N, a sol pleno (figura 4c). Entretanto, com a adubação de 150 kg ha⁻¹ de N não interferem ($p > 0,05$) na MSFT. O experimento sem inoculação representou de forma acurada a influência que a luminosidade exerce sobre a MSFT. Além disso, percebe-se também a influência da adubação, sendo que, na sombra onde não adubou houve redução da MSFT.

A MSFT depende prioritariamente do nível de sombreamento em relação à adubação nitrogenada. A ciclagem de N em sistema silvipastoril, realizada por árvores leguminosas,

através da liteira depositada, contribui com 15,4 a 19,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, influenciando a resposta das forrageiras (XAVIER et al. (2014). Entretanto, sob sombreamento intenso, esse aumento de N no tecido da forrageira não corresponde à maior produção de biomassa (GENNI et al., 2008). No capim Mombaça foi estabelecido que sombreamento superior a 38% reduz significativamente a altura e a produção de biomassa da forrageira (SANTOS NETO et al., 2023).

Com nível de sombreamento de até (20%) não há decréscimos na produção de biomassa total, pelo contrário, pode trazer benefícios como manutenção da umidade do solo, maior absorção de água pela planta e ciclagem de nutrientes (LOPES et al., 2017a).

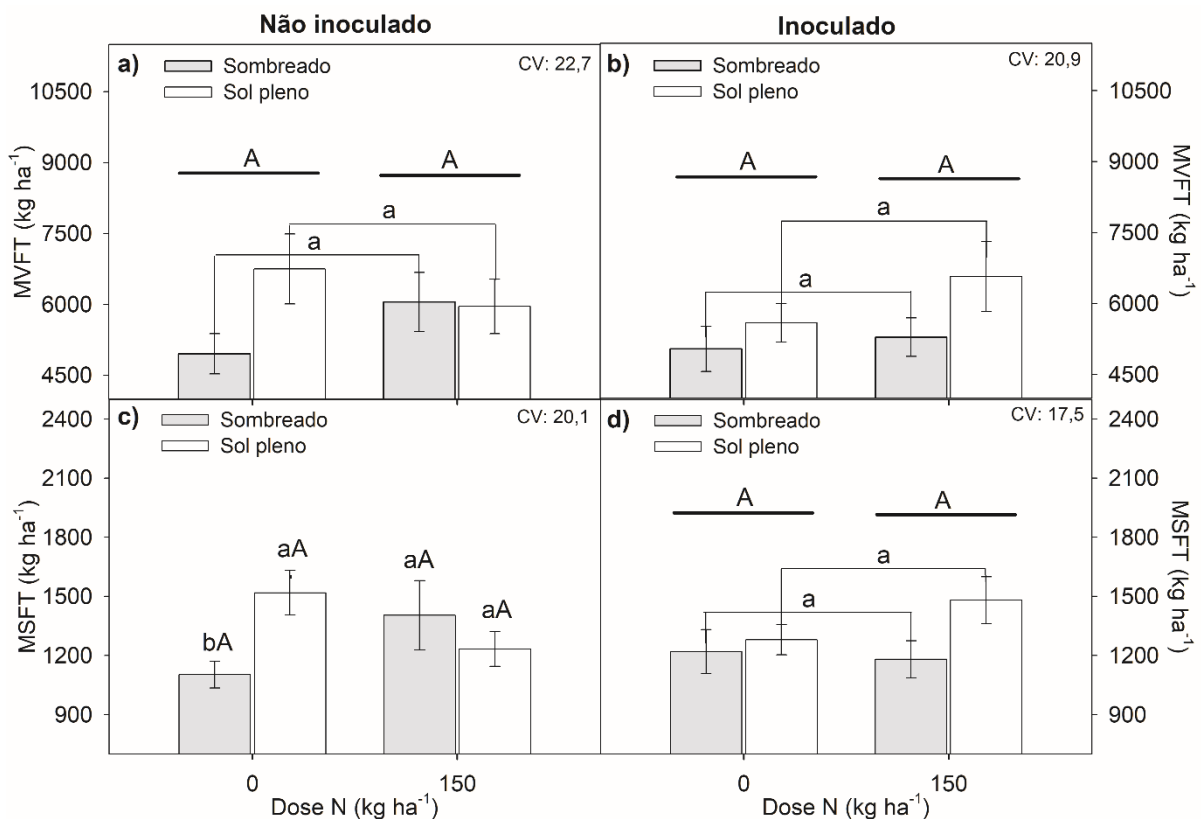


Figura 4. Massa verde de forragem total (MVFT) e massa seca de forragem total (MSFT) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) massa verde de forragem total (MVFT) sem inoculação: (b) massa verde de forragem total (MVFT) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK ($p < 0,05$).

A matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) não tiveram interação ($p > 0,05$) entres os fatores avaliados nos dois experimentos. Os fatores isolados (doses de N e nível de luminosidade) também não influenciaram esses parâmetros (figura 5).

A adubação com N pode não ter influenciado devido a imobilização do N pela biomassa microbiana na decomposição da matéria orgânica depositada no solo pela liteira das árvores (ANDRADE et al., 2001).

O acúmulo de MS varia de forma quadrática, de acordo com a distância entre as gramíneas e as árvores que fazem o sombreamento nas parcelas, enquanto maior o sombreamento menor a taxa de MS. No entanto, até determinado nível de sombreamento a MS supera a do ambiente sob sol pleno (PACIULLO et al., 2011).

Apesar de observarmos maiores teores de PB em sol pleno comparado ao ambiente sombreado, principalmente sem a adubação nitrogenada, essa superioridade é insignificante ($p > 0,05$). Em outros trabalhos com gramíneas, o sombreamento ocasionou aumento na PB, dessa forma plantas submetidas ao sombreamento reduzem seu crescimento e apresentam um desbalanço na assimilação de C e N (MISHRA et al., 2010; PACIULLO et al., 2014; SANTOS et al., 2018). Pode ocorrer resposta linear positiva para o incremento de PB em níveis de até 54% de sombreamento, mas com resposta em função da presença de N. Se observarmos o incremento que ocorre no ambiente sombreado da dose 0 comparada a dose de 150 kg ha⁻¹ de N (figura 5e, 5f), entende-se a função do N em aumentar a PB, especialmente em ambiente sombreado devido a maior fixação de N pela planta. Todavia, as principais hipóteses relacionadas ao aumento de conteúdo protéico são creditadas às boas condições de mineralização da matéria orgânica proporcionada pelas boas condições térmicas e hídricas do ambiente sombreado e tamanho menor das células.

Segundo Ribaski et al. (1998) a redução da fotossíntese no sombreamento causa uma maior eficiência de conversão da energia solar em energia química. Ocorre também uma elevação de clorofila, aumento do N e incremento da área foliar, que contribuem com o aumento da proteína bruta. E isso pode ser atribuído à maior quantidade de N nas folhas das forrageiras sombreadas que se acumula para obter uma maior quantidade de energia fotossintética e compostos ativos para uma melhor utilização da luz incidente (FARIA et al., 2018).

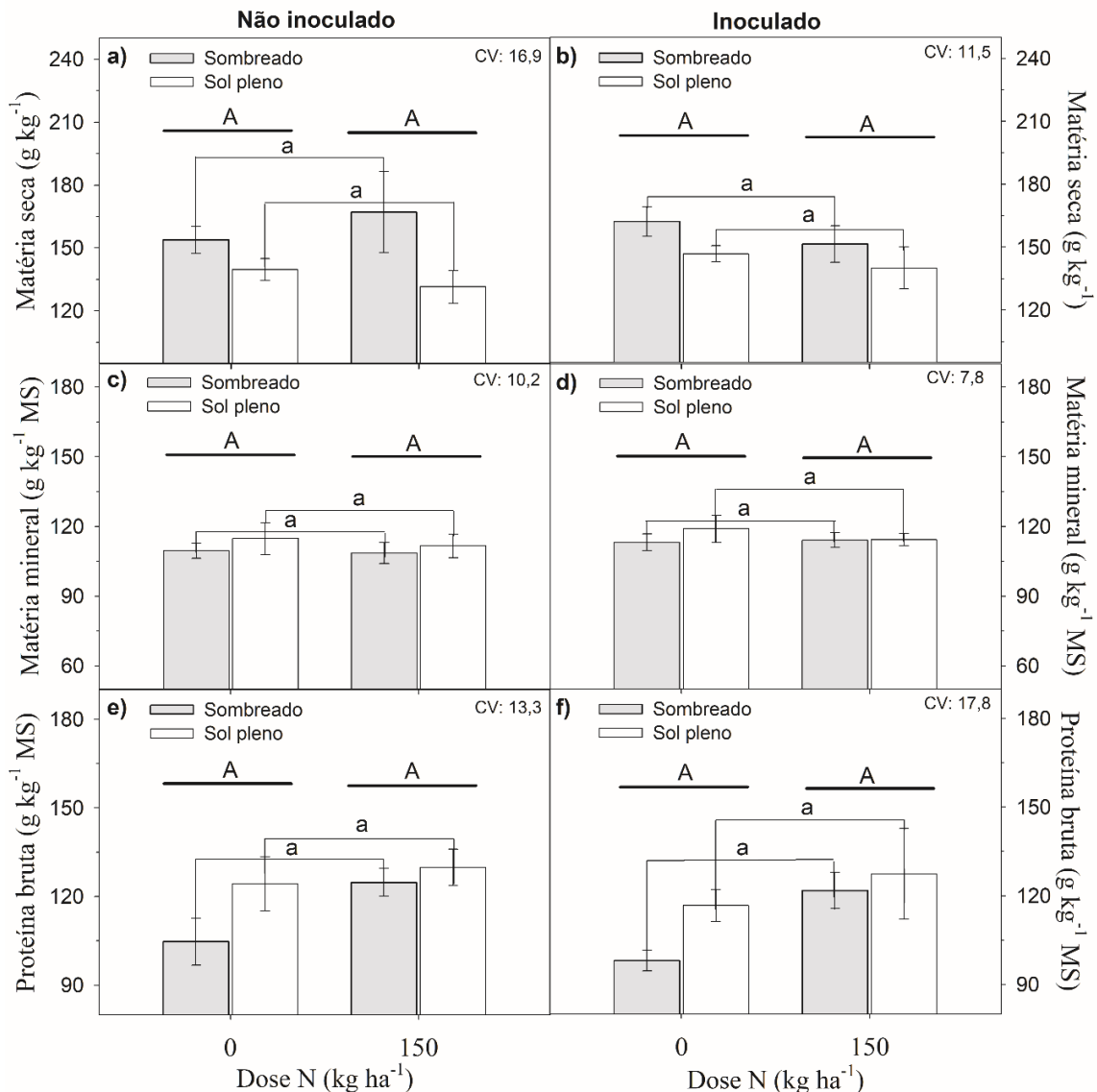


Figura 5. Matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) Matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) sem inoculação; (b) Matéria seca (MS), matéria mineral (MM) e proteína bruta (PB) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK ($p < 0,05$).

A fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) não apresentaram interação ($p > 0,05$) entre as doses de N e níveis de luminosidade, em nenhuma situação de inoculação (figura 6).

As pastagens sombreadas podem conter maior concentração de fibras, principalmente FDA (SOUSA et al., 2007). Segundo Castro et al. (1999) isso pode ser explicado em função da massa de material morto de pastagens sombreadas dobrar com o sombreamento, causado pelo alongamento do colmo e consequente senescência das folhas basilares.

Em trabalho que avaliou diferentes adubações e níveis de sombreamento, a adubação nitrogenada não obteve influência para a FDN e FDA, mas houve interferência do sombreamento ($p < 0,05$) (LOPES et al., 2017a). Os resultados apresentados na literatura são muito variados, com relato de redução no teor de FDN em forrageiras sombreadas (Paciullo et al. (2007) ou também nenhuma alteração no teor de FDN como em Sousa et al. (2007).

Neste trabalho as doses de N e os níveis de luminosidade não influenciaram na FDN e FDA, com exceção da FDN do experimento não inoculado, no qual, a adubação com 150 kg ha⁻¹ de N teve um decréscimo ($p < 0,05$) de 16,7 g kg⁻¹ MS em comparação a dose 0 de N (figura 6a). A adubação com N pode favorecer a redução dos teores das fibras (FDA) em pastagens (REIS et al. (2013). Em *Brachiaria decumbens* essa informação é aceita para a FDN, pois dependendo do aumento da dose de N, há uma maior redução no teor da FDN (FARIA et al., 2018). A FDN é um bom parâmetro para a avaliação do consumo animal (VAN SOEST et al., 1991).

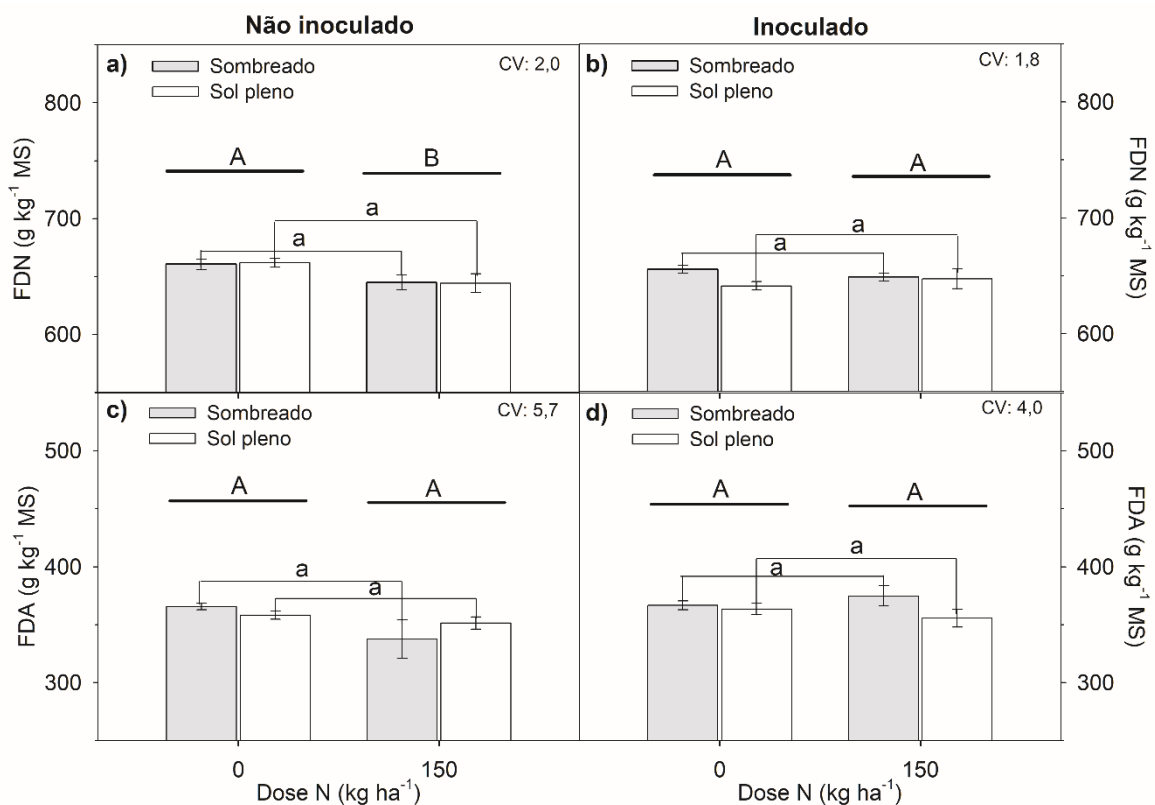


Figura 6. Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) sem inoculação; (b) Fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido

(FDA) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK ($p < 0,05$).

Quanto a degradabilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e a degradabilidade *in vitro* da fibra em detergente neutro (DIVFDN), não foram verificados efeito da interação dos fatores avaliados, tanto sem inoculação como com presença de inoculação com *Methylobacterium symbioticum* (figura 7).

No experimento com inoculação de *Methylobacterium symbioticum*, a adubação nitrogenada (150 kg ha^{-1}) promoveu um aumento na DIVMS ($+19,1 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$) quando comparado ao tratamento sem adubação com N (Figura 7b). Da mesma forma aconteceu para Alencar et al. (2014) com *Urochloa brizantha* cv. Marandú, no qual, a DIVMS foi maior em parcelas adubadas com N e relacionadas com a menor FDN das parcelas, apesar de que, no nosso trabalho sem inoculação com *Methylobacterium symbioticum* esse parâmetro não obteve diferença em relação à presença ou ausência de adubação com N.

A DIVMS do capim Mombaça sem inoculação teve influência ($p < 0,05$) da luminosidade, sendo que, a sol pleno o incremento foi de $38,4 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$ em comparação ao ambiente sombreado (figura 7a). O efeito do sombreamento apresenta resultados distintos na literatura, existem pesquisas que não encontraram efeitos do sombreamento sob a DIVMS (PACIULLO et al., 2014; LOPES et al., 2017a), porém em outros trabalhos encontraram aumento da DIVMS com o sombreamento nas forrageiras (PACIULLO et al., 2007; BARRO et al., 2008). É evidente que se deve levar em consideração o nível de sombreamento, que são distintos nos diversos trabalhos publicados.

A DIVFDN foi influenciada pela adubação nitrogenada ($p < 0,05$) nos experimentos com e sem inoculação com *Methylobacterium symbioticum* (figura 7c e 7d). A DIVFDN da dose 150 kg ha^{-1} de N incrementou em $32,9$ e $43,0 \text{ g kg}^{-1} \text{ MS}$, comparada a dose 0 de N, sem inoculação e com inoculação, respectivamente. Assim, pode-se notar o impacto da adubação com N nesse parâmetro da forrageira (MOREIRA et al., 2009). O parâmetro DIVFDN pode ter atuado sobre os resultados da FDN e FDA, e impossibilitado a ação dos tratamentos sob essas características, uma vez que correlação negativa ($p < 0,05$) foi registrada (figura 8).

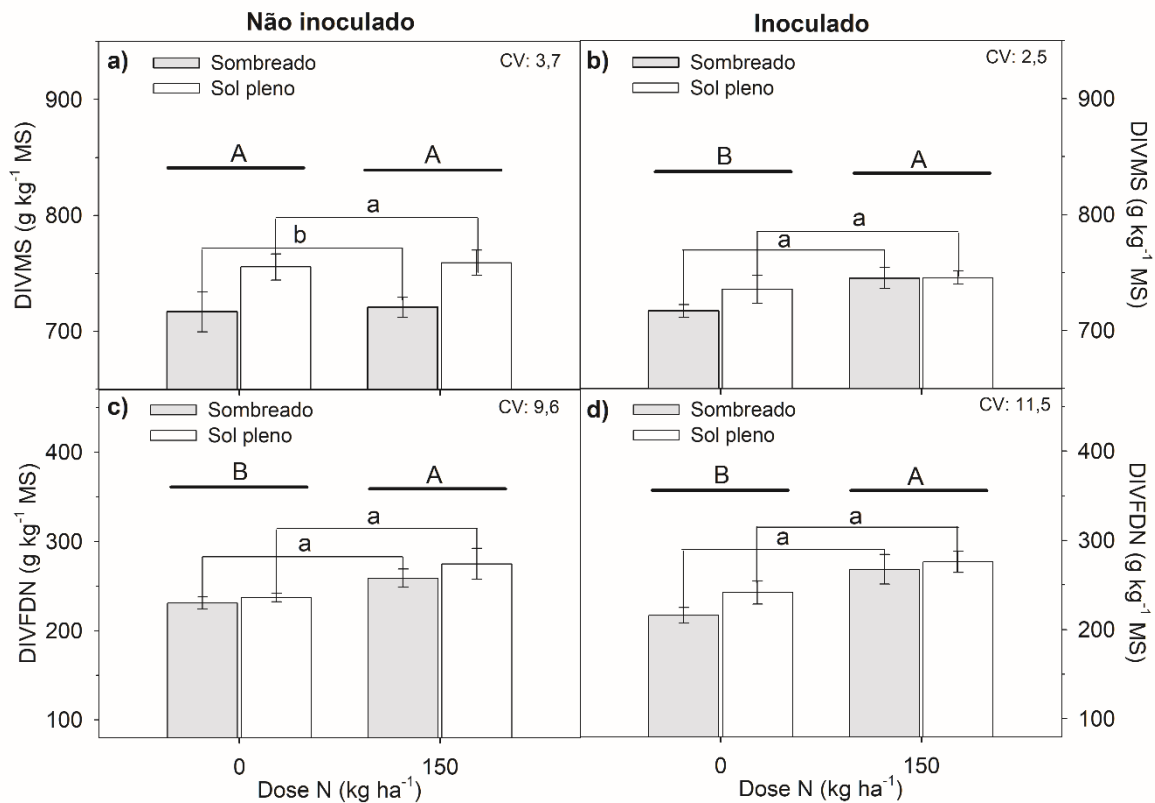


Figura 7. Degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) Degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN) sem inoculação; (b) Degradabilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e degradabilidade in vitro da fibra em detergente neutro (DIVFDN) com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

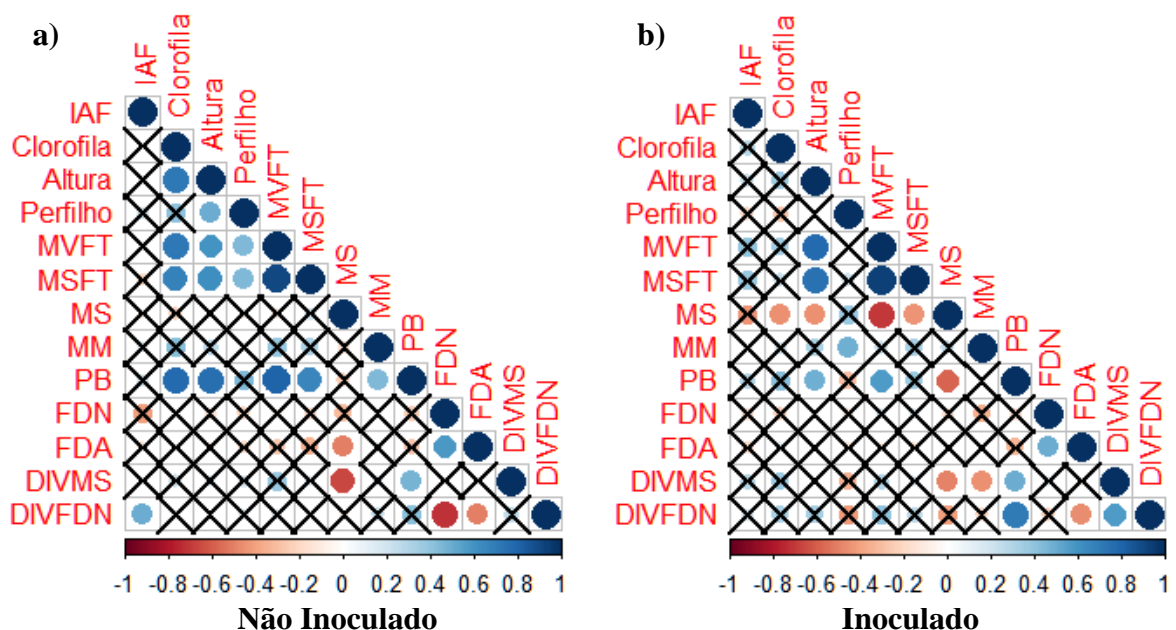


Figura 8. Correlação de Pearson de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. O X marca as correlações insignificantes ($p>0,05$).

Considerando a estimativa realizada através do índice de qualidade da produção (IQP), as parcelas localizadas em sol pleno tiveram maior ($p<0,05$) IQP do que em ambiente sombreado, tanto sem inoculação como com a presença da bactéria *Methylobacterium symbioticum* (figura 9a e 9b). A adubação com N (150 kg ha^{-1}) só influenciou com a presença de inoculação, onde houve uma elevação do IQP (+42%) em relação à dose 0 de N (figura 9b).

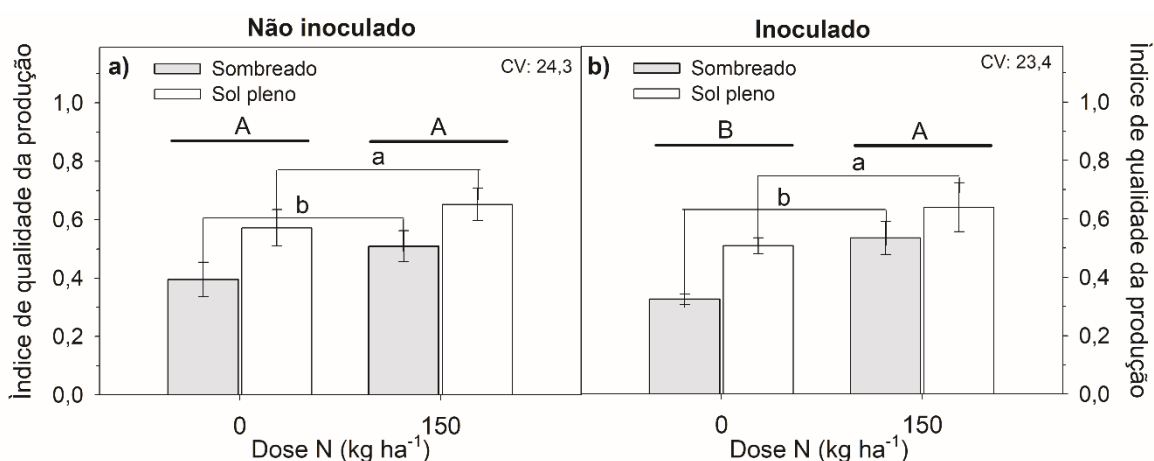


Figura 9. Índice de qualidade de produção de capim Mombaça associado a adubação nitrogenada e sistema silvipastoril sem inoculação e com inoculação com *Methylobacterium symbioticum* na área experimental do setor de forragicultura da UFRA, Parauapebas-PA. (a) Índice de qualidade de produção sem inoculação (b) Índice de qualidade de produção com inoculação. O erro padrão da média está alocado no centro das barras; letras minúsculas comparam a luminosidade e as letras maiúsculas comparam as doses de N pelo teste SNK ($p<0,05$).

Não houve comparação entre o experimento com inoculação e sem inoculação, mas aparentemente não há distinção nos parâmetros quanto ao uso da inoculação com *Methylobacterium symbioticum*.

É possível observar que alguns parâmetros apresentaram influência do sombreamento e outros da adubação e poucos apresentaram interferência da interação desses fatores. Contudo, há necessidade de mais estudos para elucidar a influência desses fatores no capim Mombaça. Não há como inferir sobre a utilização da bactéria *Methylobacterium symbioticum* em comparação a não utilização da inoculação. Assim, nos próximos experimentos deve-se priorizar a utilização de doses mais altas de N e a incorporação da inoculação no experimento fatorial.

4. CONCLUSÕES

Sem inoculação com *Methylobacterium symbioticum* a adubação nitrogenada interfere no IAF e nos parâmetros bromatológicos do capim Mombaça. Através do IQP foi possível perceber que o Mombaça apresenta melhor desempenho produtivo a sol pleno. A produção de biomassa vegetal do capim Mombaça em ambiente sombreado ou a sol pleno são semelhantes com inoculação de *Methylobacterium symbioticum*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, C. A. B. de., MARTINS, C. E., OLIVEIRA, R. A. de., CÓSER, A. C., CUNHA, F. F. da., 2014. Bromatologia e digestibilidade de gramíneas manejadas por corte submetidas à adubações nitrogenadas e estações anuais. *Bioscience Journal*, v. 30, n.1, p. 8-15.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONCALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE, C. M. S. de., GARCIA, R., COUTO, L., PEREIRA, O. G., 2001. Fatores Limitantes ao Crescimento do Capim-Tanzânia em um Sistema Agrossilvipastoril com Eucalipto, na Região dos Cerrados de Minas Gerais. *Revista brasileira de zootecnia*. 30 (4): 1178-1185.
- ANDREWS, S. S., KARLEN, D. L., MITCHELL, J. P. A., 2002. Comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90. 1, 25–45. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8).
- ARCOVERDE, N. S., SALVIANO, A. M., OLSZEWSKI, N., MELO, S. B. DE., CUNHA, T. J. F., GIONGO, V., PEREIRA, J. DE S., 2015. Qualidade física de solos em uso agrícola na região semiárida do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39. 5, 1473–1482. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140282>.
- BALBINO, L. C., KICHEL, A. N., BUNGENSTAB, D. J., ALMEIDA, R. G. 2019. Sistemas de integração: conceitos, considerações, contribuições e desafios. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de., LAURA, V. A., BALBINO, L. C., FERREIRA, A. D.. (Eds.). *ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta*. 1ed. Brasília: Embrapa, v. 1, p. 31-48.
- BARBOSA, J. Z., ROBERTO, L. de. A., HUNGRIA, M., CORRÊA, R. S., MAGRI, E., CORREIA, T. D., 2022. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. *Applied soil ecology*, v. 170, p. 104276. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104276>.
- BARRO, R. S., SAIBRO, J. C. de., MEDEIROS, R. B. de., SILVA, J. L. S. da., VARELLA, A. C., 2008. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.37, n.10, p.1721-1727. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001000002>.
- CAMACHO, L. F., SILVA, T. E. da., FRANCO, M. de. O., DETMANN, E. 2023. Can Associative Effects Affect In Vitro Digestibility Estimates Using Artificial Fermenters. *Ruminants*, 3, p. 100–110. <https://doi.org/10.3390/ruminants3020009>.
- CASTRO, C. R. T.: GARCIA, R.; CARVALHO, M. M. COUTO, L. Produção Forrageira de Gramíneas Cultivadas sob Luminosidade Reduzida. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 919-927, 1999.

DETMANN, E., SILVA, L. F. C., ROCHA, G. C., PALMA, M. N. N., R. J. P. P., 2021. Métodos para análise de alimentos – 2. ed. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema. 2 ed. 350 p.

DE MEYER, S. E. et al. *Mesorhizobium calcicola* sp. nov., *Mesorhizobium waitakense* sp. nov., *Mesorhizobium sophorae* sp. nov., *Mesorhizobium newzealandense* sp. nov. and *Mesorhizobium kowhahi* sp. nov. isolated from Sophora root nodules. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, v. 66, n. 2, p. 786-795, 2016.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.,2018. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

FARIA, B. M., MORENZ, M. J. F., PACIULLO, D. S. C., LOPES, F. C. F., GOMIDE, C. A. de M., 2018. Growth and bromatological characteristics of *Brachiaria decumbens* and *Brachiaria ruziziensis* under shading and nitrogen. *Revista Ciencia Agronomica*, v. 49, n. 3, p. 529–536. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180060>.

FELTRAN-BARBIERI, R., FÉRES, J. G., 2021. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal society open science*, 8: 201854. <https://doi.org/10.1098/rsos.201854>.

FERREIRA, D.F., 2011. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência Agrotecnologica*. 35, 1039–1042.

GUENNI, O., SEITER, S., FIGUEROA, R., 2008. Growth responses of three *Brachiaria* species to light intensity and nitrogen supply. *Tropical Grasslands*, v. 42, n. 2, p. 75–87.

GOMIDE, C. A., PACIULLO, D. S., MORENZ, M. J., COSTA, I. A., LANZONI, C. L. (2019). Productive and morphophysiological responses of *Panicum maximum* Jacq. cv. BRS Zuri to timing and doses of nitrogen application and defoliation intensity. *Grassland Science*, 65(2), 93-100. <https://doi.org/10.1111/grs.12226>.

JANUSCKIEWICZ, E. R., PAIVA, L. M., FERNANDES, H. J., FLEITAS, A. C., DUARTE, C. F. D., BISERRA, T. T., GOMES, P. dos. S., 2021. Structure and nutritional value of BRS Zuri grass under shading. *Revista Brasileira de saúde e produção animal*, v.22, 01 - 15, e2122122021. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402122122021>.

LEITE, R. da C., SANTOS, J. G. dos., SILVA, E. L., ALVES, C. R., HUNGRIA, M., LEITE, R. da C., SANTOS, A. C. dos. 2019. Productivity increase, reduction of nitrogen fertiliser use and drought-stress mitigation by inoculation of Marandu grass (*Urochloa brizantha*) with *Azospirillum brasilense*. *Crop e Pasture Science*, 70, 61–67. <https://doi.org/10.1071/CP18105>.

LIMA, E. do V., MARIA, B. G. de, 2020. Pastagem cultivada. In: BRASIL, E. C., CRAVO, M. da S., VIÉGAS, I. de J. M. (Eds.), *Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Para*, Embrapa, Brasília, DF, pp. 383–390.

LOPES, C. M., PACIULLO, D. S. C., ARAÚJO, S. A. C., GOMIDE, C..D. M., MORENZ, M. J. F., VILLELA, S. D. J., 2017a. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo

de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 69 (1): 225-233. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>.

LOPES, C. M., PACIULLO, D. S. C., ARAÚJO, S. A. do C., MORENZ, M. J. F., GOMIDE, C. A. de M., MAURÍCIO, R. M., BRAZ, T. G. dos S., 2017b. Plant morphology and herbage accumulation of signal grass with or without fertilization, under different light regimes. *Ciência Rural*, v. 47, n. 2, p. 1–7. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160472>.

LU, Q., MA, H., ZHOU, Y., LIU, J., SHEN, Y., 2023. Restoration of soil quality of degraded grassland can be accelerated by reseeded in an arid area of Northwest China. *Frontiers in plant science*. v. 14:1101295. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1101295>.

MASTO, R. E., CHHONKAR, P. K., SINGH, D., PATRA, A. K., 2008. Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environmental Monitoring e Assessment*. 136, 1–3, 419–435. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9697-z>.

MISHRA, A. K., TIWARI, H. S., BHATT, R. K., 2010. Growth, biomass production and photosynthesis of *Cenchrus ciliaris* L. under *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne based silvopastoral systems in semi-arid tropics. *Journal of Environmental. Biology*. v.31, p.987- 993.

MOREIRA, L. de M., MARTUSCELLO, J. A., FONSECA, D. M. da., MISTURA, C., MORAIS, R. V. de., RIBEIRO JÚNIOR, J. I., 2009. Perfilhamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.9, p.1675-1684. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000900006>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-FAO. 2018. The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. Rome, Italy: FAO. Disponível em: <https://www.fao.org/3/CA1553EN/ca1553en.pdf> (acesso em 21 de agosto de 2023).

PACIULLO, D. S. C., CARVALHO, C. A. B. de., AROEIRA, L. J. M., MORENZ, M. J. F., LOPES, F. C. F., ROSSIELLO, R. O. P., 2007. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 4, p. 573-579. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>.

PACIULLO, D. S. C., CAMPOS, N. R., GOMIDE, C. D. M., CASTRO, C. R. T. de., TAVELA, R. C., ROSSIELLO, R. O. P., 2008. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa agropecuária Brasileira*. v.43, n.7, p.917-923.

PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. D. M., CASTRO, C. D., FERNANDES, P. B., MÜLLER, M. D., PIRES, M. DE. F. A., FERNANDES, E. N., XAVIER, D. F., 2011. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa agropecuária brasileira*, v.46, n.10, p.1176-1183. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>.

PACIULLO, D. S. C., PIRES, M. F. A., AROEIRA, L. J. M., [Morenz](#), M. J. F. MAURICIO, R. M., GOMIDE, C. A. M., [Silveira](#), S. R., 2014. Sward characteristics and performance of dairy cows in organic grasslegume pastures shaded by tropical trees. *Animal*, v.8, p.1264-1271, 2014. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000767>.

PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. D. M., CASTRO, C. D., MAURÍCIO, R. M., FERNANDES, P. B., MORENZ, M. J. F., 2016. Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under different shade levels and fertilizer nitrogen rates. *Grass and forage Science*, 72 (3), 590-600. <https://doi.org/10.1111/gfs.12264>.

PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. A. de M. Manejo de pastagens tropicais em sistemas silvipastoris. In: BUNGENSTAB, D. J., FERREIRA, A. D., BALBINO, L. C., LAURA, V. A., ALMEIDA, R. G. de. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019, p. (389-403).

LAURA, V. A., ALMEIDA, R. G. de. ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa, 2019, p. (389-403).

PRIMAVESI, A. C., PRIMAVESI, O., CORRÊA, L. A., SILVA, A. G., CANTARELLA, H. 2006. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 3, p. 562-568. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000300024>.

RAHMANIPOUR, F., MARZAIOLI, R., BAHRAMI, H. A., FERREIDOUNI, Z., BANDARABADI, S. R., 2014. Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40, 19–26. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.003>.

R Core Team, 2019. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Found. Stat. Comput. Disponível em: <https://www.R-project.org/> Acesso 22 de agosto de 2023.

REIS, G. L., LANA, A. M. EMERENCIANO NETO, J. V., LEMOS FILHO, J. P. de., BORGES, I., LONGO, R. M., 2013. Produção e composição bromatológica do capim-marandu, sob diferentes percentuais de sombreamento e doses de nitrogênio. *Bioscience journal*, v. 29, Supplement 1, p. 1606-1615.

RIBASKI, J.; INOUE, M.G.; LIMA FILHO, J.M.P. Influência da algaroba (*Prosopis juliflora*) sobre alguns parâmetros ecofisiológicos e seus efeitos na qualidade de uma pastagem de capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), na região semi-árida do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 2., 1998, Belém. *Anais...* Belém: EMBRAPA – CPATU, 1998. p.219-220.

SÁ, G. C. R., CARVALHO, C. L. M., MOREIRA, A., HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., HEINRICHS, R., SOARES FILHO, C. V., 2019. Biomass Yield, Nitrogen Accumulation and Nutritive Value of Mavuno Grass Inoculated with Plant Growth-promoting Bacteria, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50:15, 1931-1942. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1648498>.

SANTANA, A. C. de., 2007. Índice de desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 45. 3. 749-775. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032007000300009>.

SANTOS, D. de C., GUIMARÃES JÚNIOR, R., VILELA, L., PULROLNIK, K., BUFON, V. B., FRANÇA, A. F. de S., 2016. Forage dry mass accumulation and structural characteristics

of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 233, p. 16–24. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.026>.

SANTOS, D. de C., GUIMARÃES JÚNIOR, R., VILELA, L., MACIEL, G. A., FRANÇA, A. F. de S., 2018. Implementation of silvopastoral systems in Brazil with *Eucalyptus urograndis* and *Brachiaria brizantha*: Productivity of forage and an exploratory test of the animal response. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 266, n. July, p. 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.017>

SANTOS NETO, C. F. dos., SILVA, R. G. da., MARANHÃO, S. R., CAVALCANTE, A. C. R., MACEDO, V. H. M., CÂNDIDO, M. J. D., 2023. Shading effect and forage production of tropical grasses in Brazilian semi-arid silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, v. 1, p. 995–1005. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00843-1>.

SCHEMBERGUE, A., CUNHA, D. A. DA., CARLOS, S. DE. M., PIRES, M. V., FARIA, R. M., 2017. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. *Revista de economia e sociologia rural*, v. 55, 1, p. 009-030. <https://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790550101>.

SILVA, V. P. da., MEDRADO, M. J. S., NICODEMO, M. L. F., DERETI, R. M., 2009. Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2009. 48 p. ISBN 978-85-89281-35-5. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/132912/1/2014-reimp-Cartilha-Arborizacao-2014.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

SOUZA, R. S., FERNANDES M. S., 2006. Nitrogênio In: Fernandes M. S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos. p. 216.

SOUSA, L. F., MAURÍCIO, R. M., GONÇALVES, L. C., SALIBA, E. O. S. MOREIRA, G. R., 2007. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em um sistema silvipastoril. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, n.4, p.1029-1037.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888 p.

TILLEY, J. M. A., TERRY, R. A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, v. 18, n. 2, p. 104-111.

VAN SOEST, P. V., ROBERTSON, J. B., LEWIS, B. A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74 (10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)

XAVIER, D. F., LEDO, F. J. da. S., PACIULLO, D. S. de. C., URQUIAGA, S., ALVES, B. J., BODDEY, R. M., 2014. Nitrogen cycling in a *Brachiaria*-based silvopastoral system in the Atlantic forest region of Minas Gerais, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.99, p.45-62. <https://doi.org/10.1007/s10705-014-9617-x>.