CARACTERIZAÇÃO BROMATOLÓGICA DE FORRAGENS BIOINOCULADAS COM *Azospirillum* E *Bacillus* SOB DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

Pedro Lucas Batista Pereira Almeida[1], Alana Saúde Pereira[1], Cíntia Rocha Santos[2] Iara dos Santos Pereira[2], Wagner Silva dos Santos[2], Eliane Macedo Sobrinho Santos[3]

[1] Graduandos em Engenharia Agrícola e Ambiental no IFNMG-campus Araçuaí, Araçuaí-MG, Brasil (plbpa@aluno.ifnmg.edu.br)

[2] Graduados em Engenharia Agrícola e Ambiental no IFNMG-campus Araçuaí, Araçuaí-MG, Brasil.

[3] Docente no IFNMG-campus Araçuaí, Araçuaí-MG, Brasil.

Resumo: Objetivou-se avaliar a bromatologia de milho e sorgo sob bioinoculação (*Azospirillum* e *Bacillus*) e adubação química e/ou orgânica no semiárido. O ensaio DBC, realizado no IFNMG, testou doses de NPK e esterco. A ANOVA/Tukey ($P<0,05$) não indicou diferença significativa entre tratamentos. Contudo, houve estabilidade nutricional e a dose reduzida (50%) com bioinoculantes manteve a qualidade equivalente à adubação integral. Conclui-se que os bioinsumos são viáveis para manter o valor nutritivo poupando fertilizantes.

Palavras-chave: Azotrop®, BiomaPhos®, Nutrição Animal, Semiárido, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O ambiente semiárido é caracterizado por restrição hídrica, ocorrência de solos de baixa fertilidade natural e elevadas temperaturas médias anuais. A convergência desses fatores edafoclimáticos impõe severas limitações ao cultivo de gramíneas destinadas à nutrição pecuária. Nesse cenário, o emprego de estratégias alternativas de adubação surge como uma ferramenta estratégica para alavancar a produção de forragem de forma sustentável, mitigando custos e reduzindo a degradação ambiental. Sob essa perspectiva, o interesse por tecnologias de base biológica tem sido impulsionado pela busca por soluções ambientalmente responsáveis, destacando-se o uso de bioinoculantes capazes de otimizar a eficiência de uso de nutrientes e arrefecer a dependência de fertilizantes químicos convencionais (dos Reis, 2025).

Dentre as forrageiras utilizadas, a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) destaca-se pelo elevado potencial de produção de matéria seca (MS) e, fundamentalmente, por sua superior adaptabilidade a regiões com distribuição irregular de precipitação e solos rasos ou de baixa fertilidade, atributos intrínsecos às regiões semiáridas (Rocha Júnior *et al*., 2000). Paralelamente, o milho (*Zea mays*) ocupa uma área cultivada expressiva no território brasileiro, exercendo papel socioeconômico relevante na geração de empregos no setor agrícola. Além de sua relevância no consumo humano direto e na indústria de transformação (amido, óleo, biocombustíveis e insumos alimentares), a cultura é vital para a produção animal, segmento que absorve cerca de 80% da produção interna do grão para a confecção de rações e concentrados (Souza e Braga, 2004).

No entanto, Christofidis (2008) ressalta que a produção de alimentos no semiárido constitui um grande desafio técnico, o qual demanda manejo integrado e cultivares adaptadas, sobretudo considerando que à agricultura irrigada consome atualmente a maior parcela da água doce disponível nos países em desenvolvimento, com estimativas entre 60 e 80%. Frente à escassez hídrica e à baixa pluviosidade regional, a otimização do aporte de fertilizantes torna-se uma abordagem estratégica, permitindo diluir e mitigar os elevados custos operacionais associados aos sistemas de irrigação.

Como alternativa ao manejo convencional, os adubos orgânicos fornecem macro e micronutrientes essenciais (como nitrogênio, fósforo e potássio), além de promoverem melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, o que pode auxiliar na supressão de fitopatógenos e pragas rizosféricas, como os nematoides (Caetano, 2008). Adicionalmente, o uso de insumos biológicos na agricultura tem despontado como uma alternativa promissora para a atenuação do estresse hídrico, contribuindo para o aumento da eficiência do uso da água pelas plantas, notadamente em formulações que contêm microrganismos benéficos em sua composição (Lin *et al.*, 2018).

Embora o uso sistemático de bioinoculantes represente uma inovação em constante investigação na agricultura contemporânea, sabe-se que a indução do metabolismo vegetal e de suas funções fisiológicas primárias pode maximizar o potencial genético das culturas. Esse estímulo resulta no incremento do crescimento radicular e parte aérea, maior tolerância a estresses bióticos e abióticos e na otimização dos insumos aplicados no manejo, culminando em maior produtividade e qualidade do produto colhido, associadas à redução dos custos de produção (Pascholati *et al.*, 2005).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi realizar a caracterização químico-bromatológica de plantas de milho e sorgo bioinoculadas com *Azospirillum brasilense* (Azotrop®) e *Bacillus* spp. (BiomaPhos®), submetidas ou não a diferentes fontes de adubação (química ou orgânica), a fim de verificar a interferência desses manejos sobre a composição nutricional das forragens.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo em questão trata-se de uma pesquisa experimental, já que buscou-se determinar, observar e definir variáveis de controle que influenciaram de alguma forma os resultados obtidos. Durante todo o andamento desse estudo, realizou-se ainda pesquisas bibliográficas, a fim de verificar artigos, livros, teses e dissertações com relevância para o tema e as variáveis estudadas. Esses, foram selecionados quando era identificado que de alguma forma o material poderia contribuir para o presente estudo. Ambas as pesquisas mencionadas, são definidas por Gil (2002).

2.1 Experimento em campo

Este trabalho trata-se de uma análise bromatológica de plantas de milho e sorgo cultivadas na nas condições edafoclimática do Médio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil, durante a safra 2021/2022, na área do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – Campus Araçuaí. O local de realização dos experimentos, situado em Araçuaí-MG, de acordo com a classificação de Koppen, é do tipo AW, apresentando clima seco, temperatura média anual superior a 22º, e uma precipitação anual que dificilmente passa de 800mm (Pacheco, 2021).

Para preparo da área experimental realizou-se a análise de solo, as amostras foram coletadas nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade, e os resultados estão sendo apresentados a seguir (Quadro 1).

Quadro 1 - Caracterização do solo da área experimental (Laboratório de solos da UFMG adaptada pelos autores).

ATRIBUTOS DO SOLO	VALOR	ATRIBUTOS DO SOLO	VALOR
pH em água	4,80	m (%)	3
P Mehlich (mg dm^{-3})	10,51	T (cmolc dm^{-3})	7,66
P remanescente (mg L^{-1})	33,83	V (%)	78,55
K (mg dm^{-3})	105	Mat. Org. (dag kg^{-1})	1,07
Ca (cmolc dm^{-3})	3,27	Carbono Org. (dag kg^{-1})	0,62
Mg (cmolc dm^{-3})	2,48	Areia grossa (dag kg^{-1})	1,80
Al (cmolc dm^{-3})	0,18	Areia fina (dag kg^{-1})	48,20
H + Al (cmolc dm^{-3})	1,64	Silte (dag kg^{-1})	24,00
SB (cmolc dm^{-3})	6,02	Argila (dag kg^{-1})	26,00
t (cmolc dm^{-3})	6,20	-	-

O quadro 1 é uma análise realizada de acordo com o PROFERT-MG: pH em água (acidez ativa). Carbono orgânico – Método Walkley & Black; Cálcio e Magnésio trocáveis – Método KCl 1 mol/L e titulação com EDTA. Alumínio (acidez trocável) – Método KCl 1 mol/L e titulação com NaOH; H+Al (acidez potencial) – Método Ca (OAc)2 0,5 mol/L. Fósforo disponível – Método Mehlich-1 e colorimetría; Fósforo remanescente – Método do P em solução de equilíbrio e colorimetria; Potássio disponível – Método Mehlich-1 e fotometria de chama. Textura (granulometria) – método da pipeta.

As plantas utilizadas foram oriundas de um experimento em blocos casualizados realizado em

parceria com a EMBRAPA - Milho e Sorgo, que forneceu as sementes de milho 3046, sorgo BRS Ponta Negra, capim tamani, capim paiaguás e os bioinoculantes BiomaPhos® e Azotrop®. Os tratamentos utilizados no experimento foram constituídos de 2 tipos de bioinoculantes (BiomaPhos® e Azotrop® na dosagem de 0,2 g para cada 20 sementes), 2 tipos de adubação (química – NPK: 4/14/8; e orgânica – composto de esterco bovino: 43 $t.ha^{-1}$ e 21,5 $t.ha^{-1}$) e 2 doses de adubação química (300/ha e 150/ha). Cada tratamento contou com duas repetições.

O milho teve seu cultivo realizado em consórcio com capim tamani, as sementes do milho foram submetidas a dois diferentes bioinoculantes e no plantio submetidos a duas diferentes adubações e dosagens, os tratamentos podem ser observados no quadro 2. Já o sorgo, teve um plantio realizado em consórcio com capim paiaguás, as sementes de sorgo também foram submetidas a duas diferentes bioinoculações e no plantio submetido a duas diferentes adubações e dosagens, os tratamentos podem ser observados no quadro 1.

Quadro 2 – Componentes do delineamento experimental para as plantas de milho e sorgo (AUTORES, 2026).

Tratamentos	**Identificação**	**Tratamentos**	**Identificação**
MILHO			
Controle (consórcio milho-capim tamani sem adubação e sem inoculantes)	T0	Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T7
Adubação química (dose completa) + inoculante Azotrop®	T1	Adubação química (1/2 da dose) + Sem inoculantes	T8
Adubação química (dose completa) + inoculante Biomaphos®	T2	Adubação orgânica + inoculante Azotrop®	T9
Adubação química (dose completa) + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T3	Adubação orgânica + inoculante Biomaphos®	T10
Adubação química (dose completa) + Sem inoculantes	T4	Adubação orgânica + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T11
Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Azotrop®	T5	Adubação orgânica + Sem inoculantes	T12
Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Biomaphos®	T6	_____	_____
SORGO			
Controle (consórcio sorgo-capim paiaguás sem adubação e sem inoculantes)	T0	Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T7
Adubação química (dose completa) + inoculante Azotrop®	T1	Adubação química (1/2 da dose) + Sem inoculantes	T8
Adubação química (dose completa) + inoculante Biomaphos®	T2	Adubação orgânica + inoculante Azotrop®	T9
Adubação química (dose completa) + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T3	Adubação orgânica + inoculante Biomaphos®	T10
Adubação química (dose completa) + Sem inoculantes	T4	Adubação orgânica + inoculante Biomaphos® e Azotrop®	T11
Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Azotrop®	T5	Adubação orgânica + Sem inoculantes	T12
Adubação química (1/2 da dose) + inoculante Biomaphos®	T6	_____	_____

2.2 Análise bromatológica

Para a realização das análises, coletaram-se os grãos de milho e sorgo de 10 plantas por tratamento. As amostras foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de secagem a 65°C até o peso constante. Por fim, processou-se a moagem dos grãos em um moinho de facas e acondicionados em potes de plásticos até o momento das análises laboratoriais.

As análises químico-bromatológicas conduziram-se nas dependências do Laboratório de Nutrição Animal do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - Campus Salinas. As análises seguiram a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2005), submetidos a verificação dos componentes quanto a Matéria Seca (MS), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra em Detergente Ácido (FDA), Proteína Bruta (PB), Extrato Etéreo (EE), Matéria Mineral (Cinzas), Lignina e Hemicelulose.

2.3 Análise estatística

Os dados obtidos nas análises químicas foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para verificação dos pressupostos de normalidade dos resíduos e homocedasticidade, respectivamente por meio da ferramenta Epitools para análise de dados numéricos disponível no link https://epitools.ausvet.com.au/numeric, e analisados por Análise de Variância (ANOVA). Quando significativos no Teste F da ANOVA (P<0,05), os valores médios nos grupos de tratamento procederam-se pelo teste de diferença honestamente significativa (HSD) de Tukey em P <0,05. Essas análises foram realizadas utilizando-se o software PSPP versão 1.3 (GNU PSPP *Statistical Analysis Software. Release* 1.6.2-g78a33a).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desafios da adubação convencional e dinâmica da matéria seca

Segundo Souza (2018), a elevada demanda global por alimentos exige o uso intensivo de fertilizantes para suprir as necessidades populacionais. Dentre os insumos disponíveis, os fertilizantes químicos minerais destacam-se como os mais utilizados na agricultura contemporânea. Contudo, o elevado potencial de perdas por lixiviação e volatilização, aliado ao risco de toxicidade em organismos biológicos, pode resultar na contaminação de lençóis freáticos e águas superficiais de rios, lagos e represas, comprometendo a integridade dos ecossistemas (Gomes *et al.*, 2021). Diante disso, torna-se necessária a busca por alternativas sustentáveis que atenuem os impactos ambientais e reduzam os custos operacionais de produção.

Quando a fração aquosa de uma amostra de forragem é removida por meio do processo de secagem em estufa, resta apenas a fração sólida, a qual concentra os nutrientes do vegetal. Essa fração é denominada Matéria Seca (MS), parâmetro fundamental sobre o qual todas as comparações de produtividade entre plantas forrageiras devem ser realizadas (Jayme *et al.*,2022). A obtenção de índices zootécnicos satisfatórios em áreas de pastejo depende diretamente tanto da quantidade quanto da qualidade da forragem disponível. Sob essa óptica, cultivares que apresentam maior acúmulo de MS possuem, tecnicamente, capacidade para suportar uma maior taxa de lotação por unidade de área (Embrapa gado de corte, 1980).

No presente estudo, conforme os dados apresentados nas planilhas de caracterização nutricional (Tabela 1 e Tabela 2), o tratamento 6 com adubação química (1/2 dose) + *Bacillus* spp. (BiomaPhos®)] demonstrou maior eficiência numérica para o acúmulo de MS em ambas as gramíneas. Em contrapartida, o tratamento 7 com adubação química (1/2 dose) + *Bacillus* spp. + *Azospirillum brasilense* (Azotrop®)], cuja inoculação combinada utilizou proporções equivalentes de cada produto, apresentou os menores índices de MS. Esse comportamento infere uma provável inviabilidade competitiva da associação bacteriana nas condições avaliadas ou a ocorrência de antagonismo biológico entre os microrganismos presentes na rizosfera, o que comprometeu o desempenho inicial do inóculo misto (Melo, 2021).

Tabela 1: Médias e Erro Padrão da Média (E±) para composição bromatológica do sorgo (n=2) (AUTORES, 2026).

Trat.	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	MM (%)
T0	60,14 ± 2,45	6,01 ± 0,41	43,41 ± 6,72	10,38 ± 2,82	7,73*	3,59 ± 1,37
T1	52,41 ± 2,68	6,49 ± 1,25	58,75 ± 0,46	18,16 ± 1,62	7,32 ± 0,22	8,19 ± 3,54
T2	55,23 ± 2,77	7,88 ± 0,94	52,94 ± 1,40	12,86 ± 0,53	6,45 ± 1,06	7,71 ± 3,36
T3	60,94 ± 0,99	8,15 ± 1,06	58,55 ± 4,62	14,28 ± 1,28	6,27 ± 0,97	4,07 ± 1,27
T4	57,95 ± 3,93	6,60 ± 0,04	46,39 ± 7,21	9,93 ± 3,38	8,04 ± 0,61	4,87 ± 0,93

Trat.	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	EE (%)	MM (%)
T5	54,72 ± 1,48	6,82 ± 0,20	45,94 ± 6,88	15,97 ± 1,57	12,38 ± 3,20	3,14 ± 0,42
T6	62,28 ± 1,15	4,87 ± 2,14	55,03 ± 7,13	12,36 ± 0,26	8,19 ± 0,12	7,17 ± 4,26
T7	47,21 ± 5,29	8,01 ± 0,04	63,67 ± 3,05	17,71 ± 2,49	7,94 ± 1,33	9,55 ± 4,97
T8	58,38 ± 5,93	6,85 ± 0,88	71,19 ± 12,74	16,07 ± 1,87	5,48 ± 1,47	2,95 ± 0,32
T9	54,87 ± 2,52	8,18 ± 0,16	61,87 ± 5,08	13,10 ± 2,05	10,44 ± 2,17	6,59 ± 2,59
T10	52,85 ± 7,82	4,73 ± 2,00	54,96 ± 0,16	13,93 ± 1,06	6,87 ± 0,39	2,42 ± 0,31
T11	53,44 ± 5,49	7,05 ± 0,39	66,02 ± 1,47	13,18 ± 0,14	6,36 ± 0,72	6,13 ± 2,24
T12	57,24 ± 2,97	3,93 ± 1,45	59,95 ± 0,61	15,93 ± 1,64	10,63*	4,10 ± 1,00

**Onde há apenas um valor ou inconsistência na repetição, o E± não foi calculado.*

Tabela 2: Médias e E± para Composição Bromatológica do Milho (n=2) (AUTORES, 2026).

Trat.	MS (%)	PB (%)	FDN (%)	FDA (%)	LIG (%)	MM (%)
T0	53,73*	4,98*	40,48*	6,10*	3,53*	1,43*
T1	54,57 ± 0,07	6,79 ± 1,61	46,17 ± 6,68	7,10 ± 1,06	4,34 ± 0,21	8,92 ± 7,36
T2	52,95 ± 1,00	5,57 ± 0,46	40,59 ± 3,16	5,97 ± 0,40	3,00 ± 0,31	1,48 ± 0,03
T3	55,28 ± 0,05	6,29 ± 1,15	42,53 ± 4,35	7,19 ± 0,23	4,67 ± 0,22	1,24 ± 0,30
T4	55,18 ± 3,86	4,20 ± 0,02	32,74 ± 0,50	5,03 ± 0,35	3,07 ± 0,40	1,09 ± 0,06
T5	52,32 ± 3,17	4,91 ± 0,26	46,45 ± 1,89	6,38 ± 0,03	3,76 ± 1,00	1,26 ± 0,26
T6	59,74 ± 7,93	4,89 ± 0,73	43,30 ± 7,50	7,27 ± 1,08	3,53 ± 0,64	7,70 ± 5,99
T7	43,97 ± 5,66	4,40 ± 0,19	34,08 ± 3,98	5,19 ± 0,47	5,34 ± 2,95	5,05 ± 3,63
T8	50,85 ± 0,92	4,63 ± 1,39	45,34 ± 3,92	6,56 ± 0,48	4,13 ± 0,29	6,88 ± 4,55
T9	48,62*	7,43*	39,65*	5,62*	3,63*	1,58*
T10	55,56*	4,62*	40,78*	5,72*	2,01*	1,21*
T11	46,04*	4,21*	47,30*	4,87*	2,30*	1,14*
T12	51,73 ± 0,21	4,46 ± 0,75	35,49 ± 0,01	5,84 ± 1,09	2,19 ± 0,37	1,22 ± 0,04

**Tratamentos com apenas uma repetição válida ou ausência de dados secundários.*

3.2. Composição mineral e fisiologia das frações fibrosas no sorgo

De acordo com as diretrizes de nutrição animal, as pastagens constituem a principal fonte de minerais para os rebanhos (Costa *et al.*, 2004). No entanto, a concentração desses elementos nos tecidos vegetais é, frequentemente, insuficiente para atender às exigências de animais em pastejo. Os teores minerais nas forrageiras são regulados por múltiplos fatores, incluindo a espécie vegetal, a idade fenológica da planta e o nível de fertilidade do solo (Oliveira e Gonçalves, 2021). A deficiência crônica de minerais em ruminantes pode desencadear quadros de hipogalactia, retardo no desenvolvimento ponderal, distúrbios reprodutivos, fraturas ósseas, abortos e redução generalizada da imunidade orgânica (Embrapa soja, 1999).

No cultivo do sorgo (*Sorghum bicolor*), cujos valores médios estão consolidados na Tabela 1, o maior teor de matéria mineral (MM) foi observado no tratamento 7 (Adubação química 1/2 dose + BiomaPhos® + Azotrop®), totalizando 9,55%, enquanto o menor índice ocorreu no tratamento 8 (Adubação química 1/2 dose + Sem inoculante), com apenas 2,95%. Nesse cenário específico, a associação dos inóculos mostrou-se benéfica, indicando que, apesar do possível antagonismo para acúmulo de biomassa, os microrganismos atuaram de forma sinérgica na solubilização e absorção de minerais do solo. O fato foi corroborado pela queda drástica de MM no tratamento testemunha sem inoculação. O tratamento 1 (Adubação química dose completa + Azotrop®) também apresentou valores numéricos expressivos (8,19%), porém, por demandar o dobro do aporte químico mineral, eleva os custos de produção e os riscos de impacto ecológico.

No que tange à digestibilidade, a lignina desempenha papel central na nutrição de ruminantes. Trata-se de um polímero fenólico complexo incrustado na parede celular dos vegetais, considerado indigestível e reconhecido como o principal fator limitante da digestão da celulose e hemicelulose, cuja ação inibidora é acentuada com o avanço da maturidade fisiológica da planta (Fukushima *et al.*, 2000).

Os teores de Proteína Bruta (PB) no sorgo demonstraram resposta positiva à interação entre adubação e bioinoculação (Tabela 1). O destaque para os tratamentos 3 (Química integral + Mix) e 9 (Orgânica + Azotrop®), com médias superiores a 8% (8,15% e 8,18%, respectivamente), sugere que o *Azospirillum brasilense* desempenhou função essencial na fixação e disponibilização de nitrogênio para o vegetal. Na literatura especializada, constata-se que o sorgo cultivado sob condições de estresse tende a elevar os teores de frações fibrosas como mecanismo de adaptação e suporte mecânico contra o estresse hídrico (Embrapa, 2019). Contudo, a manutenção da PB acima de 7%, que é o nível crítico mínimo para garantir a atividade microbiana ruminal (Oliveira *et al*., 2004), nos tratamentos bioinoculados, mesmo sob restrição de fertilizante químico (T7, com 8,01%), indica que os bioinsumos mitigaram os efeitos estressores do ambiente Bwa do Médio Jequitinhonha.

Ademais, o elevado teor de Fibra em Detergente Neutro (FDN) observado no tratamento 8 (71,19%), desprovido de inoculação, reforça a premissa de que a ausência do estímulo radicular provocado pelos bioinsumos induz a planta a priorizar o desenvolvimento estrutural fibroso em detrimento da expansão foliar sob condições de baixa fertilidade (Embrapa, 2011).

3.3. Dinâmica nutricional do milho e eficiência dos bioinsumos

No milho (*Zea mays*), as respostas e tendências bromatológicas estão discriminadas na Tabela 2. O tratamento 1 (Adubação química dose completa + Azotrop®) destacou-se por concentrar os maiores teores de cinzas (8,92%). Na fração proteica, a resposta à bioinoculação refletiu-se de maneira mais evidente na eficiência de utilização da adubação mineral. O tratamento 1 promoveu um incremento proteico expressivo (6,79%) em comparação ao tratamento 4 (Química integral sem inoculante, com 4,20%). Esse resultado corrobora a teoria de que o *Azospirillum* atua não somente na fixação biológica de nitrogênio (N_2), mas primordialmente na síntese de fitormônios promotores de crescimento (como as auxinas), os quais expandem a área superficial do sistema radicular e otimizam a capacidade absortiva do N aplicado via NPK (Ferreira *et al.*, 2022).

Os teores de FDN e Fibra em Detergente Ácido (FDA) no milho foram, de modo geral, inferiores aos registrados no sorgo (Tabela 3), comportamento que constitui uma característica intrínseca da espécie (Bertipaglia *et al.*, 2008). A estabilidade dos teores de lignina (2% a 5%) entre os manejos avaliados sugere que a colonização bacteriana não induz alterações negativas na parede celular que comprometam a digestibilidade biológica da forragem (Oliveira e Gonçalves, 2021), preservando o valor energético do alimento.

Em solos com baixos teores de matéria orgânica (1,07%) e reação ácida (pH 4,80), como o avaliado em Araçuaí-MG, a bioinoculação atua como um catalisador de nutrientes. Sob condições de escassez de fósforo disponível (10,51 $mg.dm^{-3}$), as bactérias solubilizadoras de fosfato (*Bacillus* spp.) funcionam como um diferencial fisiológico para a manutenção do vigor vegetativo nas parcelas associadas (Santos *et al.*, 2021). Simultaneamente, o gênero *Azospirillum* torna-se fundamental para a translocação de compostos nitrogenados para a parte aérea, o que repercute de forma direta nos teores de PB (Ferreira *et al.*, 2022) aspecto crítico para o manejo nutricional do milho.

3.4. Interpretação estatística e tendências biológicas

Os resultados obtidos por meio da análise de variância (ANOVA) estão sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3 – Significância obtida no teste F da ANOVA para as variáveis respostas avaliadas em função dos tratamentos aplicados nas plantas de sorgo e milho (AUTORES, 2025).

Parâmetros	P valor	
	Sorgo	Milho
Matéria seca	0,8667	0,1300
Matéria mineral	0,9372	0,5730
FDN	0,4659	0,1580
FDA	0,5290	0,1190
Hemicelulose	0,4328	0,1280
Lignina	0,8290	0,3780
Extrato etéreo	0,3804	-
Proteína bruta	0,6463	0,1290

- Análise não realiza

Constata-se que nenhum dos parâmetros avaliados apresentou valor de *P* inferior a 0,05, indicando que os tratamentos não exerceram efeito estatisticamente significativo sobre as variáveis respostas em nenhuma das duas culturas. No entanto, o elevado rigor estatístico do teste de comparação de médias de Tukey, associado ao baixo grau de liberdade do resíduo decorrente do número de repetições (n=2), pode ter ressaltado o erro tipo II, mascarando respostas biológicas sutis que seriam validadas em experimentos conduzidos em maior escala (Silva e Ferreira, 2003).

Apesar da equivalência estatística observada na Tabela 1, argumenta-se que a bioinoculação viabilizou uma economia de 50% no uso de fertilizantes minerais mantendo o mesmo padrão qualitativo na forragem. Diante do panorama atual de elevados custos de insumos agrícolas, a similaridade matemática de composição expressa na Tabela 1 e na Tabela 2 válida a eficiência técnica e a aplicabilidade prática dos bioestimulantes.

Embora inexistam diferenças significativas ao nível de 5%, as tendências aritméticas sugerem que a associação entre bioinoculantes e adubação reduzida (T7) garantiu um padrão bromatológico equivalente ao manejo químico integral (T4). Sob o ponto de vista prático e econômico, essa aproximação numérica indica um aproveitamento otimizado dos nutrientes mediados pelos microrganismos (Sandini *et al.*,2024), permitindo reduzir o aporte de adubos sintéticos pela metade sem penalizar o valor nutritivo das plantas no semiárido.

Outra tendência relevante indica que a inoculação com *Azospirillum brasilense* potencializou o acúmulo de compostos nitrogenados, evidenciado pelo incremento numérico superior a 60% na PB do milho ao comparar os tratamentos 1 e 4 na Tabela 2. Esse ganho biológico ratifica que, apesar de a alta variabilidade residual ter limitado a significância na ANOVA, a presença da bactéria promoveu uma melhor eficiência de uso do nitrogênio.

Por fim, os dados consolidados das frações de fibra sugerem que os bioinoculantes podem ter exercido efeito modulador sobre as estruturas de suporte vegetal em resposta ao estresse hídrico (Lima, 2023). A manutenção dos teores de FDN e FDA dentro de limites recomendáveis na nutrição animal (Costa *et al.*, 2008), inclusive nos manejos sob restrição química ou orgânica, indica que a colonização radicular por *Bacillus* spp. e *A. brasilense* minimizou os impactos causados pela severidade climática do Médio Jequitinhonha, retardando a lignificação precoce típica de gramíneas forrageiras sob ambiente climático do tipo AW (Abdelmajeed *et al.*, 2019). Essa dinâmica corrobora dados clássicos da literatura científica, que apontam que os benefícios decorrentes do uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal frequentemente se expressam na estabilidade produtiva e na resiliência do ecossistema forrageiro, superando os limites estritos de detecção dos testes estatísticos em condições de campo (Souza, 2024).

A bioinoculação conferiu resiliência adaptativa às plantas, impedindo o declínio acentuado nos teores de PB e mantendo níveis de FDN equilibrados no solo ácido e de baixa fertilidade de Araçuaí. No milho (Tabela 2), a diferença biológica entre o T1 (6,79% de PB) e o T4 (4,20% de PB), embora não suportada pela significância estatística da Tabela 3, possui alta relevância prática para o nutricionista animal no momento da formulação de dietas e balanceamento de rações.

Além disso, presume-se que as severas condições edafoclimáticas locais exerceram uma forte pressão de seleção que nivelou o desempenho geral das plantas. O teor de alumínio trocável (0,18 $cmolc.dm^{-3}$) somado à acidez ativa (pH 4,80) pode ter restringido a

velocidade de colonização e estabelecimento das colônias bacterianas na rizosfera (Lima e Simões, 2015), sugerindo que as respostas benéficas aos bioinsumos seriam maximizadas caso o experimento contasse com uma correção prévia do solo por meio da calagem.

CONCLUSÃO

É possível que a bioinoculação com *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* spp. tenha interferido positivamente na composição nutricional, permitindo que doses reduzidas de adubação química ou o uso de adubação orgânica mantivessem padrões bromatológicos similares ou superiores à adubação química convencional integral.

Com base nos resultados obtidos nas condições edafoclimáticas do Médio Jequitinhonha, sugere-se que a ausência de diferença estatística ($P > 0,05$) entre os tratamentos com adubação química integral e aqueles submetidos à bioinoculação (Azotrop® e BiomaPhos®) com dose reduzida de fertilizantes demonstra que os bioinsumos são capazes de manter o padrão bromatológico das plantas de milho e sorgo.

No contexto de eficiência nutricional, aponta-se que a bioinoculação associada à adubação orgânica ou à metade da dose química promoveu a manutenção de níveis de Proteína Bruta e frações fibrosas (FDN e FDA) compatíveis com as exigências da produção animal, evidenciando o potencial dessas bactérias (FBN e solubilizadoras de P) em otimizar o aproveitamento de nutrientes no solo.

O uso de bioinsumos pode apresentar-se como uma estratégia técnica e economicamente viável para o Médio Jequitinhonha, permitindo a produção de forragem de qualidade com menor dependência de fertilizantes minerais sintéticos, o que reduz o impacto ambiental e o custo de produção.

Tanto o milho quanto o sorgo demonstraram estabilidade nutricional sob o efeito dos bioinoculantes, sugerindo que o estímulo ao sistema radicular promovido por esses microrganismos pode auxiliar na resiliência das culturas frente às limitações nutricionais e hídricas características da região de Araçuaí-MG.

Embora o teste de Tukey seja conservador e não tenha acusado diferença estatística devido ao baixo número de repetições, observa-se uma tendência biológica clara de manutenção da qualidade, o que válida a hipótese de que podemos produzir com menos adubo químico utilizando bioinsumos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos: 441482/2024-4; 102187/2024-0), à FAMPEMIG, ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), à Embrapa Milho e Sorgo, ao Programa de Mestrado em Produção Animal da UFMG/ICA.

Durante a preparação deste estudo, foram utilizadas ferramentas de IA para aprimorar a linguagem do manuscrito, garantir a correção gramatical e melhorar a legibilidade.

REFERÊNCIAS

ABDELMAJEED, N. A. et al. Screening of drought tolerance in some wheat (Triticum aestivum L.) genotypes. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 7, p. 1475-1481, 2019. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.04.004. Disponível em: doi.org.

BERTIPAGLIA, Liandra Maria Abaker *et al*. Alterações bromatológicas em soja e milho processados por extrusão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 11, p. 2023-2030, nov. 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008001100016.

CAETANO, Davi et al. Comparação de adubo orgânico e adubo químico da cultura da alface Trabalho de conclusão de curso em técnico em agropecuária. 2020.

CHRISTOFIDIS, D. Água, irrigação e segurança alimentar. ***Revista Item***, Brasília, n.77, p.16-21, 2008.

COSTA, K. A. P. et al. Produção de massa seca e composição bromatológica da Brachiaria brizantha cv. Marandu sob doses de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 6, p. 986-995, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000600006. Disponível em: doi.org.

COSTA, Newton de Lucena *et al*. **Fisiologia e manejo de plantas forrageiras**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004. 27 p. (Documentos / Embrapa Rondônia, ISSN 0103-9865, 85). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/916005/1/doc85plantasforrageiras.pdf. Acesso em: 25 maio 2026.

DOS REIS, Fidelino de Jesus et al. RELAÇÃO SOLO-PLANTA: INFLUÊNCIA DA FERTILIDADE DO SOLO E DE BIOINOCULANTES NO DESENVOLVIMENTO DO MILHO NA AMAZÔNIA MERIDIONAL. **Geoambiente On-line**, n. 52, 2025.

EMBRAPA. **Cultivares de sorgo tolerantes ao estresse hídrico em pós-florescimento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. (Folhetos). Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1107936/cultivares-de-sorgo-tolerantes-ao-estresse-hidrico-em-pos-florescimento.

EMBRAPA. **Teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido de cinco gramíneas tropicais irrigadas e adubadas em**

Parnaíba, Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455; 100). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/958561/1/Boletim100Teoresdeproteinabrutafibra.pdf.

EMBRAPA GADO DE CORTE. **Produção animal. Campo Grande, MS**, []. Disponível em: https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/ct/ct01/08producao.html 1980.

EMBRAPA SOJA. **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja 1998**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 247 p. (Documentos / Embrapa Soja, n. 114). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/325204/1/DOC114.pdf.

FERREIRA, Natália. Dos Santos *et al.* Genome-based reclassification of Azospirillum brasilense Az39 as the type strain of Azospirillum argentinense sp. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 72, n. 8, 2022.

FUKUSHIMA, Masakazu *et al*. Structure and activity of specific inhibitors of thymidine phosphorylase to potentiate the function of antitumor 2′-deoxyribonucleosides. **Biochemical Pharmacology**, [s. l.], v. 59, n. 10, p. 1227-1236, 15 maio 2000. DOI: https://doi.org/10.1016/S0006-2952(00)00253-7. Disponível em: sciencedirect.com.

GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. Disponível em:https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio carlos_gil.pdf.

GOMES, M. A. F.; CERDEIRA, A. L.; SPADOTTO, C. A. **Dinâmica**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica.

JAYME, Diogo Gonzaga *et al*. **Gramíneas forrageiras tropicais**. 1. ed. Belo Horizonte: FEPE, 2022. 327 p. Disponível em: https://vet.ufmg.br/wp-content/uploads/2023/02/livro_gramineas_forrageiras_tropicais.pdf.

LIMA, Eliana. **Bioinsumo da Embrapa para combater estresse hídrico nas plantas estará na Tecnoshow**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 24 mar. 2023. Notícias. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79305964/bioinsumo-da-embrapa-para-combater-estresse-hidrico-nas-plantas-estara-na-tecnoshow.

LIMA, Paulo César de; SIMÕES, Juliana Carvalho (ed. tecn.). **Agricultura orgânica e agroecologia**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2015. 124 p. (Informe Agropecuário, v. 36, n. 287). ISSN 0100-3364. Disponível em: https://www.livrariaepamig.com.br/wp-content/uploads/2023/02/IA-287.pdf.

LIN, Y. et al. Influence of plant growth promoting rh izobacteria on corn growth under different fertility sources. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.49, p.1239–1255, 2018.

MELO, Itamar Soares de. **Rizobactérias**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/manejo/controle-alternativo/rizobacterias.

OLIVEIRA, Alan Figueiredo de; GONÇALVES, Lúcio Carlos. **Produção de ruminantes em sistemas integrados**. 1. ed. Belo Horizonte: FEPE, 2021. 494 p.Disponível em:https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/372fedbb-8e79-487b-84c9-72a118b83630/content.

OLIVEIRA, A. S. *et al*. Parâmetros ruminais e eficiência de síntese de proteína microbiana em vacas alimentadas com dietas contendo diversos níveis de substituição do farelo de soja por ureia e extrusado de ureia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 56, n. 6, p. 744-752, dez. 2004. Disponível em: [insira aqui o link de onde você baixou o arquivo].

PACHECO, Dhiego Gonçalves. Análise das mudanças do uso e ocupação do solo no município de Araçuaí, Minas Gerais por meio de técnicas de sensoriamento remoto nos anos de 2000 e 2019. **Cerrados**, v. 19, n. 2, p. 303-322, 2021.

PASCHOLATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMERO, L.S. Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos. Piracicaba: FEALQ, 2005. Pg 125 – 138.

ROCHA JÚNIOR, V.R. et al. Avaliação de sete genótipos de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) para produção de silagem: I. Padrão de fermentação. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v.52, n.5, p.506-511, 2000. Disponível em: doi: 10.1590/S0102-09352000000500018.

SANDINI, Itacir Eloi *et al.* Bacterial consortium of Azospirillum brasilense and Pseudomonas fluorescens on the stimulation of growth of corn culture. **Ciencia rural**, v. 54, n. 9, 2024.

SANTOS, M. V. G. et al. **Resultados do Teste de Progênie e do Programa de Melhoramento Genético da Raça Gir Leiteira**: Maio/2021. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2021. 76 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 49). Disponível em: embrapa.br.

SILVA, Dirceu Jorge; QUEIROZ, Augusto César de. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 235 p. ISBN 9788572691055.

SILVA, R. B. V.; FERREIRA, D. F. Alternativas para o teste t com variâncias heterogêneas avaliadas por meio de simulação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, n. 1, p. 145-153, 2003. DOI: 10.1590/S1413-70542003000100023. Disponível em: doi.org.

SOUZA, Ana. MORASSUTI, Claudio. DEUS, Warley. Poluição do ambiente por metais pesados e utilizados de vegetais como Bioindicadores. Acta Biomedica Brasiliensia / Volume 9/ nº 3/ dezembro de 2018.

SOUZA, M. J. de et al. *Azospirillum brasilense* and *Bacillus* spp. associated with reduced nitrogen fertilization in the production of ryegrass and Tifton 85 forage. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 4, e3713449540, 2024. DOI: 10.33448/rsd-v13i4.49540. Disponível em: https://rsdjournal.org/rsd/article/view/49540.

SOUZA, P.M. de; BRAGA, M.J. Aspéctos econômicos da produção e comercialização do milho no Brasil. In: GALVÃO, J.C.C.; MIRANDA, G.V. (Eds) Tecnologia de produção do milho. 20. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, v.1, p.13-53, 2004.