

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS URUTAÍ**



RENAN BERNARDES RIBEIRO

**INTEGRAÇÃO DE BIOESTIMULANTES E ADUBAÇÃO
MINERAL NA MODULAÇÃO DA BIOLOGIA DO SOLO E
NO DESEMPENHO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*)**

**URUTAÍ – GOIÁS
2026**

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS URUTAÍ**



RENAN BERNARDES RIBEIRO

**Integração de bioestimulantes e adubação mineral na
modulação da biologia do solo e no desempenho do feijoeiro
(*Phaseolus vulgaris*)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia do
Instituto Federal Goiano – Campus
Urutaí, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz
Lima

**URUTAÍ – GOIÁS
2026**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

R484	Ribeiro, Renan Bernardes Integração de bioestimulantes e adubação mineral na modulação da biologia do solo e no desempenho do feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i>) / Renan Bernardes Ribeiro. Urutai 2026. 62f. il. Orientador: Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima. Tcc (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de 0120024 - Bacharelado em Agronomia - Urutai (Campus Urutai). I. Título.
------	---

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese (doutorado) | ☐ Artigo científico |
| ☐ Dissertação (mestrado) | ☐ Capítulo de livro |
| ☐ Monografia (especialização) | ☐ Livro |
| ☒ TCC (graduação) | ☐ Trabalho apresentado em evento |

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Renan Bernardes Ribeiro

Matrícula:

2021101200240190

Título do trabalho:

Integração de bioestimulantes e adubação mineral na modulação da biologia do solo e no desempenho do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☐ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 1 / 0 / 202

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Documento assinado digitalmente
gov.br RENAN BERNARDES RIBEIRO
Data: 14/03/2026 19:43:46-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Urutai, GO

Local

1 / 3 / 202

Data

14/03/2026

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Documento assinado digitalmente
gov.br MILTON LUIZ DA PAZ LIMA
Data: 14/03/2026 19:22:53-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

ATA DE DEFESA



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 13/2026 - CCBA-URT/GE-UR/DE-UR/CMPURT/IFGOIANO

INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutai - Código INEP: 52063909

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, CEP 75790-000, Urutai (GO)
CNPJ: 10.651.417/0002-59 - Telefone: (64) 3465-1900

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **Integração de bioestimulantes e adubação mineral na modulação da biologia do solo e no desempenho do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*)**, sob orientação de Milton Luiz da Paz Lima, apresentada pelo aluno **Renan Bernardes Ribeiro (2021101200240190)** do Curso **Bacharelado em Agronomia (Campus Urutai)**. Os trabalhos foram iniciados às 13:30h pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Milton Luiz da Paz Lima** (Presidente)
- **Melina Korres Raimundi** (Examinadora Interna)
- **Rejane de Araújo Guimarães** (Examinadora Externa)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição do candidato. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

[X] Aprovado

[] Reprovado

Nota (quando exigido): 9,0 pontos

Observação / Apreciações:

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Milton Luiz da Paz Lima** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

URUTAI / GO, 27 de fevereiro de 2026

Dr. Milton Luiz da Paz Lima

Dra. Melina Korres Raimundi

Dra. Rejane de Araújo Guimarães

Documento assinado eletronicamente por:

- **Milton Luiz da Paz Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 27/02/2026 14:57:45.
- **Rejane Araujo Guimaraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 27/02/2026 14:59:40.
- **Melina Korres Raimundi, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO - VISITANTE** , em 27/02/2026 15:00:09.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 793920

Código de Autenticação: 25274ef410



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Urutai

Rodovia Geraldo Silva Nascimento, Km 2.5, SN, Zona Rural, URUTAI / GO, CEP 75790-000

(64) 3465-1900

FICHA DE AVALIAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAI
CURSO DE AGRONOMIA

Ficha de avaliação de TC – Curso de Agronomia

Aluno(a): Renan Bernardes Ribeiro

Examinador(a): Melina Korres Raimundi

Data: 27/02/2026

TRABALHO ESCRITO	NOTA (0 a 1,0)
1. Observa-se uma padronização na formatação do trabalho?	0,9
2. A redação é clara e organizada?	0,9
3. Há especificação clara dos objetivos a serem alcançados?	1,0
4. É feita uma relação deste estudo com outros trabalhos realizados na área? O número e natureza destes trabalhos são adequados?	0,7
5. A metodologia é adequada ao propósito do trabalho? Permite alcançar os objetivos?	1
6. A apresentação e discussão dos resultados são realizadas de forma organizada? Está articulada com a teoria e/ou com outros estudos?	0,7
7. A conclusão é clara e coerente com os objetivos?	0,9
APRESENTAÇÃO	
8. A apresentação segue uma sequência adequada? Permite a compreensão do trabalho?	1
9. O aluno conseguiu expressar as principais ideias do trabalho?	1
10. Existiu uma compreensão dos questionamentos propostos e clareza nas respostas do aluno?	1
Nota final (soma das notas dos itens anteriores)	9,1

Assinatura do Examinador: _____

Melina Raimundi



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAI
CURSO DE AGRONOMIA

Ficha de avaliação de TC – Curso de Agronomia

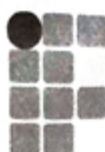
Aluno(a): Renan Bernardes Ribeiro

Examinador(a): Milton Luiz da Paz Lima

Data: 27 / 02 / 2026

TRABALHO ESCRITO	NOTA (0 a 1,0)
1. Observa-se uma padronização na formatação do trabalho?	1,0
2. A redação é clara e organizada?	0,9
3. Há especificação clara dos objetivos a serem alcançados?	1,0
4. É feita uma relação deste estudo com outros trabalhos realizados na área? O número e natureza destes trabalhos são adequados?	1,0
5. A metodologia é adequada ao propósito do trabalho? Permite alcançar os objetivos?	1,0
6. A apresentação e discussão dos resultados são realizadas de forma organizada? Está articulada com a teoria e/ou com outros estudos?	0,9
7. A conclusão é clara e coerente com os objetivos?	1,0
APRESENTAÇÃO	
8. A apresentação segue uma sequência adequada? Permite a compreensão do trabalho?	1,0
9. O aluno conseguiu expressar as principais ideias do trabalho?	1,0
10. Existiu uma compreensão dos questionamentos propostos e clareza nas respostas do aluno?	1,0
Nota final (soma das notas dos itens anteriores)	9,8

Assinatura do Examinador: _____



INSTITUTO FEDERAL
GOIANO
Campus Urutai

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS URUTAI
CURSO DE AGRONOMIA

Ficha de avaliação de TC – Curso de Agronomia

Aluno(a): Renan Bernardino Ribeiro
Examinador(a): Regiane Cruz Guimarães
Data: 27/02/2026

TRABALHO ESCRITO	NOTA (0 a 1,0)
1. Observa-se uma padronização na formatação do trabalho?	0,5
2. A redação é clara e organizada?	0,7
3. Há especificação clara dos objetivos a serem alcançados?	1,0
4. É feita uma relação deste estudo com outros trabalhos realizados na área? O número e natureza destes trabalhos são adequados?	0,5
5. A metodologia é adequada ao propósito do trabalho? Permite alcançar os objetivos?	1,0
6. A apresentação e discussão dos resultados são realizadas de forma organizada? Está articulada com a teoria e/ou com outros estudos?	0,5
7. A conclusão é clara e coerente com os objetivos?	1,0
APRESENTAÇÃO	
8. A apresentação segue uma sequência adequada? Permite a compreensão do trabalho?	1,0
9. O aluno conseguiu expressar as principais ideias do trabalho?	1,0
10. Existiu uma compreensão dos questionamentos propostos e clareza nas respostas do aluno?	1,0
Nota final (soma das notas dos itens anteriores)	8,2

Assinatura do Examinador: Regiane Cruz Guimarães

“A nação que destrói o seu solo destrói a si mesma.”

Franklin D. Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, pelo apoio, incentivo e suporte em todos os momentos, desde o início desta jornada para realizar meu sonho de conseguir um diploma em uma universidade federal.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Milton Luiz da Paz Lima por sua orientação, paciência e por compartilhar seus conhecimentos que foram de grande ajuda para concluir esta defesa.

Agradeço a mãe do meu filho por acreditar em mim e me ajudar nos momentos mais difíceis da minha vida, sem ela eu não seria prestigiado com o papel de ser pai e nem estaria onde estou hoje.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial o Otávio Tomazini, pelo companheirismo durante todo o curso, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio mútuo nas horas difíceis e alegres que passamos.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha instituição de ensino IF Goiano Campus Urutaí, aos membros do laboratório de Fitopatologia, que forneceram seu conhecimento para realização desta defesa, e aos professores que participaram da minha jornada no curso de Agronomia e contribuíram para minha formação acadêmica e profissional.

A todos vocês, o meu muito obrigado!

RESUMO

RIBEIRO, R. B. Integração de bioestimulantes e adubação mineral na modulação da biologia do solo e no desempenho do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). Trabalho de Conclusão de Curso. 2026. 61 p.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de melaço + aminoácidos sobre enzimas do solo e aspectos produtivos do feijoeiro comum. No experimento, foram utilizadas plantas de feijão cv. Pérola, submetidas aos seguintes tratamentos: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril contendo 100% de adubação mineral; T3 – solo estéril contendo 50% de adubação mineral; T4 – solo estéril contendo 100% de adubação mineral + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril contendo 50% de adubação mineral + melaço e aminoácidos. A atividade enzimática do solo foi avaliada por meio da quantificação de enzimas indicadoras da ciclagem de nutrientes, utilizando amostras coletadas na rizosfera e analisadas em laboratório segundo protocolos colorimétricos padronizados. Os aspectos produtivos foram avaliados por variáveis agronômicas, como estande final, altura de plantas, número de vagens, massa de grãos e produtividade estimada. A relação entre atividade enzimática e desempenho produtivo foi analisada estatisticamente, buscando compreender a influência do manejo na dinâmica biológica do solo e no rendimento da cultura. O tratamento T2 (100% de adubação mineral) promoveu os maiores incrementos de biomassa aérea e radicular aos 30 e 90 dias após o plantio, evidenciando forte resposta do feijoeiro ao manejo nutricional adequado. O tratamento T5 (50% de adubação mineral + bioestimulante) apresentou desempenho radicular equivalente ou superior à adubação integral, indicando potencial de redução de fertilizantes químicos. Os tratamentos T4 e T5 demonstraram maior atividade enzimática do solo (arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase), refletindo maior intensidade de ciclagem de nutrientes e atividade biológica. A germinação inicial foi mais acelerada no tratamento T3 (50% de adubação), atingindo 75% aos 3 DAS e 100% aos 7 DAS. A integração entre adubação mineral e bioestimulantes demonstrou ser possível manter elevado desempenho agrônomo, ao mesmo tempo em que se estimula a atividade biológica do solo.

PALAVRAS CHAVES: Melaço; Aminoácidos; Atividade enzimática do solo; Ciclagem de nutrientes; Rizosfera; Produtividade agrícola.

ABSTRACT

RIBEIRO, R. B. Integration of biostimulants and mineral fertilization in the modulation of soil biology and common bean (*Phaseolus vulgaris*) Performance. 2026, 61 p.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effect of molasses + amino acids on soil enzyme activity and productive aspects of common bean. The experiment was conducted using common bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Pérola, subjected to the following treatments: T1 – sterile soil; T2 – sterile soil with 100% mineral fertilization; T3 – sterile soil with 50% mineral fertilization; T4 – sterile soil with 100% mineral fertilization + molasses and amino acids; T5 – sterile soil with 50% mineral fertilization + molasses and amino acids. Soil enzymatic activity was evaluated by quantifying enzymes indicative of nutrient cycling, using rhizosphere samples analyzed in the laboratory according to standardized colorimetric protocols. Productive performance was assessed through agronomic variables such as final stand, plant height, number of pods, grain mass, and estimated yield. The relationship between enzymatic activity and productive performance was statistically analyzed to understand the influence of management practices on soil biological dynamics and crop yield. Treatment T2 (100% mineral fertilization) promoted the greatest increases in shoot and root biomass at 30 and 90 days after planting, demonstrating a strong response of common bean to adequate nutritional management. Treatment T5 (50% mineral fertilization + biostimulant) showed root performance equivalent to or superior to full fertilization, indicating potential for reducing chemical fertilizer use. Treatments T4 and T5 exhibited higher soil enzymatic activity (arylsulfatase, acid phosphatase, and β -glucosidase), reflecting greater nutrient cycling intensity and biological activity. Initial germination was faster in treatment T3 (50% fertilization), reaching 75% at 3 days after sowing (DAS) and 100% at 7 DAS. The integration of mineral fertilization and biostimulants demonstrated that it is possible to maintain high agronomic performance while stimulating soil biological activity.

KEYWORDS: Molasses; Amino acids; Soil enzymatic activity; Nutrient cycling; Rhizosphere; Agricultural productivity.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	Erro! Indicador não definido.
ATA DE DEFESA	4
FICHA DE AVALIACAO	7
EPÍGRAFE.....	Erro! Indicador não definido.
AGRADECIMENTOS	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
SUMÁRIO.....	13
ÍNDICE DE FIGURAS	14
ÍNDICE DE TABELAS.....	15
INTRODUÇÃO	16
REVISÃO DE LITERATURA.....	18
Feijoeiro e uso de Bioestimulantes.....	18
Aminoácidos	18
Bioestimulante à base de extratos vegetais.....	19
Melaço como fonte de carbono	20
Arilsulfatase.....	21
Fosfatase Ácida.....	21
β -glicosidase	22
Massa fresca e seca da parte aérea.....	22
MATERIAL E MÉTODOS	24
Efeito nos tratamentos na produção da enzima arilsulfatase.....	27
Efeito nos tratamentos na produção da enzima fosfatase ácida.....	29
Efeito nos tratamentos na produção da enzima beta-glicosidase	31
CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52
ANEXOS.....	57
Anexo 1. Laudo de atividades enzimáticas emitido por laboratório especializado, contendo os resultados de arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase em amostras de solo submetidas aos diferentes tratamentos experimentais, utilizados para avaliar a dinâmica biológica e a ciclagem de nutrientes no sistema estudado.	57
Anexo 2. Laudo de análise química de solo emitido por laboratório credenciado, contendo os resultados de fertilidade (pH, macro e micronutrientes, CTC, saturação por bases, matéria orgânica e textura), utilizados para caracterização físico-química do solo e interpretação agronômica dos tratamentos avaliados no experimento.....	58
Anexo 3. Quantificação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co e Mo), além de Al e Na, em amostras de solo	

submetidas aos diferentes tratamentos experimentais (T1 a T5), expressos em unidades adequadas, evidenciando a caracterização nutricional e a disponibilidade de elementos essenciais para o desenvolvimento do feijoeiro. 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Demonstração de como o experimento foi realizado.....	24
Figura 2. Atividade de Arilsufatase ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.....	28
Figura 3. Atividade de fosfatase ácida ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.....	31
Figura 4. Atividade de beta glucosidase ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.	32
Figura 5. Percentual de germinação (%) de feijoeiro aos 3 e 7 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos.	34
Figura 6: Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 30 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$)......	37
Figura 7: Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 90 dias após o plantio (DAP) submetido a diferentes manejos nutricionais em solo autoclavado. T1 = testemunha; T2 = 100% adubação; T3 = 50% adubação; T4 = 100% adubação + Melaço + aminoácidos; T5 = 50% adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).	39
Figura 8: Massa fresca (g) e massa seca (g) de raiz de feijoeiro aos 30 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Barras seguidas por letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos ($p \leq 0,05$).	40

Figura 9: Massa fresca (g) e massa seca (g) da raiz de feijoeiro aos 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).	42
Figura 10: Número de plantas emergidas na 1ª avaliação (1º AVL) e na 2ª avaliação (2º AVL) em feijoeiro cultivado sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação ($p \leq 0,05$).	46
Figura 11: Altura de plantas (cm) de feijoeiro aos 7, 14, 21 e 40 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).	50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Listagem de tratamentos utilizados durante o experimento.....	25
Tabela 2. Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 30 e 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$). ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade... 36	36
Tabela 3. Massa fresca (g) e massa seca (g) da raiz de feijoeiro aos 30 e 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$). ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade.	43
Tabela 4: Médias do número de engalhamento aos 30 dias após o plantio (E 30 DAP), número de engalhamento aos 90 dias após o plantio (E 90 DAP) e área abaixo da curva de progresso do engalhamento (AACPE) dos diferentes tratamentos de adubação e Melaço + aminoácidos aplicados no solo.	45
Tabela 5: Altura de plantas (cm) de feijoeiro em quatro diferentes dias de avaliação e área abaixo da curva de progresso da altura de plantas (ACPPAP) dos diferentes tratamentos de adubação e Melaço + aminoácidos aplicados no solo.....	48

INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), considerando suas diferentes tipologias comerciais e as três safras anuais, mantém, em 2025, elevada relevância no sistema agropecuário brasileiro, articulando segurança alimentar, dinâmica regional e eficiência produtiva. Segundo o Boletim de Safras 1º Levantamento de 2025, o Brasil destinou aproximadamente 2,74 milhões de hectares à cultura, resultando em uma produção estimada de 3,26 milhões de toneladas, com produtividade média de 1.189 kg ha⁻¹. Esses valores refletem a natureza heterogênea do cultivo nacional, no qual coexistem sistemas de baixa e alta tecnologia, além de expressiva variabilidade entre safras e regiões (CONAB, 2026).

No recorte regional, o Centro-Oeste apresentou padrão produtivo distinto. A região cultivou cerca de 332,6 mil hectares, alcançando produção aproximada de 643,2 mil toneladas, com produtividade média de 1.934 kg ha⁻¹, valor substancialmente superior à média nacional. Esse desempenho evidencia o caráter intensivo da produção regional, sustentado pelo uso de irrigação, elevado nível de mecanização e inserção do feijão como cultura estratégica de segunda e terceira safras em sistemas empresariais altamente tecnificados (CONAB, 2026).

Nesse contexto, o Estado de Goiás consolidou-se como um dos principais polos nacionais da cultura em 2025. O estado destinou aproximadamente 189,1 mil hectares ao cultivo do feijão, alcançando produção estimada de 373,6 mil toneladas, com produtividade média de 1.975 kg ha⁻¹. Esses indicadores colocam Goiás em patamar de elevada eficiência produtiva, superando a média brasileira e reforçando sua posição estratégica no abastecimento nacional (CONAB, 2026).

Embora o Brasil sustente a cultura do feijão em uma base ampla e socialmente estratégica, marcada por produtividades moderadas, o Centro-Oeste, de forma ainda mais expressiva, Goiás apresenta modelo produtivo intensivo e tecnicamente consolidado. Tal diferença evidencia que o principal desafio da cultura, em escala nacional, não reside na expansão de área, mas na difusão de tecnologias capazes de elevar a produtividade média, tomando como referência regiões de maior eficiência produtiva (CONAB, 2026).

Assim, os dados de área, produção e produtividade demonstram que o feijão permanece central para o Brasil, ao mesmo tempo em que indicam caminhos para o aumento da eficiência produtiva por meio da integração entre tecnologia, manejo e organização regional do sistema agrícola.

Nas últimas décadas, observou-se significativa evolução na cultura do feijão, impulsionada pela implementação de técnicas compatíveis com os diferentes sistemas de produção, com destaque para o uso de cultivares de elevado potencial produtivo (CARBONELL *et al.*, 2003) e adaptadas às condições locais de cultivo (CARBONELL; POMPEU *et al.*, 2000). A utilização de cultivares produtivas, aliada ao manejo adequado de insumos orgânicos e minerais, além de características culinárias desejáveis, constitui fator determinante para a consolidação da cadeia produtiva do feijão (RAMOS JUNIOR *et al.*, 2005).

Devido ao ciclo relativamente curto e ao sistema radicular pouco profundo, o feijoeiro exige manejo nutricional preciso. Para a produção de 1.000 kg de grãos, a cultura demanda aproximadamente 35,5 kg de nitrogênio (N), 4 kg de fósforo (P), 15,3 kg de potássio (K), 3,1 kg de cálcio (Ca), 2,6 kg de magnésio (Mg) e 5,4 kg de enxofre (S) (PEREZ *et al.*, 2013). Esse elevado requerimento nutricional reforça a necessidade de estratégias que aumentem a eficiência do uso de fertilizantes, especialmente em sistemas intensivos.

O melaço, subproduto da indústria sucroalcooleira, pode ser utilizado como insumo agrícola com potencial bioestimulante. Estudos indicam que sua aplicação favorece o crescimento vegetal e estimula a microbiota do solo, uma vez que o carbono solúvel presente no melaço atua como fonte energética para microrganismos edáficos (COSTA; PEREIRA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021). Além disso, pode contribuir para a formação de compostos húmicos, melhorando atributos físicos, químicos e biológicos do solo, tais como estrutura, retenção de água e fertilidade (FERNANDES *et al.*, 2019). Há evidências de que o fornecimento de carbono estimula a diversidade microbiana e favorece a liberação de nutrientes na matriz coloidal do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2022; LIMA *et al.*, 2020).

Os aminoácidos, por sua vez, desempenham papel fundamental no metabolismo vegetal, atuando como precursores de proteínas, reguladores osmóticos e sinalizadores fisiológicos. Sua aplicação pode promover crescimento vegetal, maior absorção de nutrientes e aumento da tolerância ao estresse abiótico (CARVALHO *et al.*, 2021). No solo, também contribuem para estimular a atividade microbiana e intensificar a ciclagem de nutrientes (MOURA; LIMA *et al.*, 2019). No Brasil, os aminoácidos são usados de forma extensiva pela agricultura, crescendo continuamente no mercado de bioestimulantes, impulsionado pela busca por maior eficiência nutricional e sustentabilidade.

Diante desse contexto, a integração entre adubação mineral e bioestimulantes à base de melão e aminoácidos surge como estratégia promissora para potencializar a eficiência nutricional, estimular a atividade biológica do solo e promover maior desempenho agrônômico da cultura.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de melão associado a aminoácidos na atividade enzimática do solo e nos aspectos produtivos do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.).

REVISÃO DE LITERATURA

Feijoeiro e uso de Bioestimulantes

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das leguminosas mais cultivadas e consumidas no Brasil, destacando-se por seu valor nutricional e importância socioeconômica. Apesar disso, sua produtividade ainda é considerada instável devido à dependência de condições edafoclimáticas e manejo adequado (RAMOS JUNIOR *et al.*, 2005). Avanços recentes no melhoramento genético e nas práticas de manejo, como o uso de cultivares adaptadas e adubação equilibrada, têm contribuído para aumentar o desempenho agrônômico da cultura (CARBONELL *et al.*, 2003; CARBONELL; POMPEU *et al.*, 2000).

O uso de bioestimulantes em sistemas agrícolas tem ganhado destaque como alternativa sustentável para maximizar o crescimento vegetal e a saúde do solo. Bioestimulantes são substâncias ou microrganismos aplicados às plantas ou ao solo com o objetivo de estimular processos naturais que aumentem a absorção de nutrientes, a eficiência do metabolismo e a tolerância a estresses abióticos (DU JARDIN *et al.*, 2015). Entre os bioestimulantes amplamente utilizados, destacam-se produtos à base de aminoácidos e extratos vegetais, além de fontes de carbono como o melão.

Aminoácidos

Os aminoácidos são compostos orgânicos fundamentais para a vida, pois constituem as unidades estruturais das proteínas e participam diretamente de diversas rotas metabólicas essenciais nas plantas. Quando aplicados via solo ou foliar, aminoácidos livres podem atuar como bioestimulantes, promovendo o crescimento vegetal e contribuindo para o aumento da produtividade das culturas (DU JARDIN *et al.*, 2015).

Entre suas principais funções fisiológicas destacam-se: a regulação osmótica, a sinalização hormonal (alguns aminoácidos como o triptofano são precursores de auxinas), a quelação de micronutrientes e a proteção contra estresses abióticos como seca, salinidade e temperaturas extremas (KASIM *et al.*, 2017). A aplicação exógena de aminoácidos pode facilitar a assimilação de nutrientes ao modular o transporte ativo através das membranas celulares e favorecer a biossíntese de proteínas e enzimas envolvidas no crescimento vegetal (COLLA *et al.*, 2015).

No solo, aminoácidos também exercem importante papel como fonte de nitrogênio orgânico assimilável para microrganismos edáficos. Ao favorecer a atividade e diversidade microbiana, os aminoácidos contribuem para o aumento da mineralização da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes. Essa maior atividade biológica do solo se reflete no aumento da produção de enzimas como a arilsulfatase, fosfatase e beta-glicosidase, importantes indicadores de qualidade e fertilidade do solo (SILVA *et al.*, 2021; SOBUCKI *et al.*, 2024).

Além disso, a sinergia entre aminoácidos e outras fontes de carbono, como o melão, pode potencializar os efeitos dos bioestimulantes. Essa combinação favorece a multiplicação de microrganismos benéficos e o equilíbrio da microbiota do solo, o que pode resultar em maior resiliência da cultura frente a estresses bióticos e abióticos (BORSOI *et al.*, 2022).

Bioestimulante à base de extratos vegetais

Os bioestimulantes à base de extratos vegetais têm se destacado na agricultura por promoverem efeitos benéficos sobre o crescimento, produtividade e resiliência das culturas. Esses produtos são obtidos a partir da extração de compostos bioativos presentes em diferentes partes de plantas como folhas, sementes, raízes e caules os quais contêm uma ampla gama de substâncias fisiologicamente ativas, incluindo fitormônios naturais (auxinas, giberelinas, citocininas), aminoácidos, vitaminas, fenóis e flavonoides (CALVO *et al.*, 2014).

Quando aplicados às plantas, esses extratos atuam como sinalizadores metabólicos, ativando rotas fisiológicas que promovem a divisão e alongação celular, o desenvolvimento radicular, a diferenciação de tecidos e a fotossíntese. Além disso, influenciam positivamente a expressão gênica relacionada à tolerância a estresses abióticos, como seca, salinidade e variações térmicas, por meio da modulação de

mecanismos antioxidantes e osmoprotetores (DU JARDIN *et al.*, 2015; ERTOUNIE *et al.*, 2020).

Outro aspecto relevante é a interação desses bioestimulantes com o solo e sua microbiota. Extratos vegetais podem estimular a atividade microbiana benéfica e aumentar a biodiversidade edáfica, favorecendo a liberação de nutrientes e a atividade de enzimas do solo, como a arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase. Essas enzimas estão diretamente ligadas à mineralização de compostos orgânicos e à ciclagem de nutrientes essenciais, como enxofre, fósforo e carbono (SILVA *et al.*, 2021; SOBUCKI *et al.*, 2024).

Melaço como fonte de carbono

O melaço, subproduto da indústria sucroalcooleira, é rico em açúcares solúveis e compostos orgânicos que favorecem a atividade microbiana no solo. Sua aplicação pode promover o crescimento de microrganismos benéficos, como bactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPRs) e fungos micorrízicos, além de influenciar positivamente na liberação de nutrientes e na estrutura física do solo (BORSOI *et al.*, 2022). Quando combinado com aminoácidos livres, a formulação se torna ainda mais eficaz ao proporcionar substratos de fácil assimilação que atuam como sinalizadores bioquímicos para diversos processos fisiológicos das plantas.

Enzimas como a arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase são amplamente utilizadas como indicadores da qualidade do solo por refletirem a atividade metabólica dos microrganismos edáficos (SILVA *et al.*, 2021). A arilsulfatase está associada à mineralização do enxofre orgânico, a fosfatase ácida à liberação de fósforo de compostos orgânicos, e a beta-glicosidase à degradação da matéria orgânica e à ciclagem do carbono.

Os bioestimulantes têm despertado crescente interesse na agricultura por sua capacidade de modular a microbiota do solo e promover maior equilíbrio biológico. Sua aplicação pode favorecer a diversidade e a atividade de microrganismos benéficos, influenciando diretamente a ciclagem de nutrientes e a saúde do solo. Em solos tratados com bioestimulantes, observa-se geralmente uma maior diversidade e abundância de microrganismos benéficos, com potencial de ação como biofertilizantes ou agentes de controle biológico.

Arilsulfatase

A arilsulfatase é uma enzima hidrolítica responsável pela mineralização de ésteres sulfatos orgânicos, promovendo a liberação de sulfato inorgânico (SO_4^{2-}), forma disponível para absorção pelas plantas. O enxofre é elemento essencial na constituição de aminoácidos sulfurados (cisteína e metionina), vitaminas e coenzimas, sendo indispensável para o metabolismo vegetal.

Grande parte do enxofre presente no solo encontra-se na forma orgânica, associada à matéria orgânica. Dessa forma, a arilsulfatase desempenha papel central na conversão desse S orgânico em formas assimiláveis, regulando a disponibilidade do nutriente (TABATABAI *et al.*, 1994).

A atividade dessa enzima está fortemente correlacionada com teor de matéria orgânica, biomassa microbiana, intensidade de atividade biológica e sistemas de manejo. Solos sob plantio direto e com maior aporte de resíduos vegetais geralmente apresentam maior atividade de arilsulfatase, enquanto solos degradados ou submetidos à intensa mobilização tendem a apresentar redução dessa atividade (DICK *et al.* 1992; TABATABAI *et al.*, 1992). Além disso, a arilsulfatase é considerada um indicador sensível de estresse ambiental e de alterações na microbiota, podendo refletir impactos de fertilização mineral excessiva, uso de agroquímicos ou mudanças no sistema de cultivo.

Fosfatase Ácida

A fosfatase ácida catalisa a hidrólise de ésteres fosfóricos orgânicos, liberando fósforo inorgânico (Pi), essencial ao metabolismo energético (ATP), síntese de ácidos nucleicos e desenvolvimento radicular. Em solos tropicais altamente intemperizados, como os predominantes no Cerrado brasileiro, grande parte do fósforo encontra-se adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio ou ligado à matéria orgânica. Assim, a atividade de fosfatases assume papel estratégico na ciclagem e disponibilização desse nutriente.

A produção de fosfatase ácida ocorre tanto por microrganismos quanto pelas raízes das plantas. Em condições de deficiência de fósforo, as plantas aumentam a exsudação radicular dessa enzima como mecanismo adaptativo para ampliar a absorção de P (DICK *et al.*, 1992; TABATABAI *et al.*, 1992).

A atividade da fosfatase ácida é influenciada por pH do solo (maior atividade em solos ácidos), teor de fósforo disponível, biomassa microbiana, sistemas de adubação. Solos com baixos teores de fósforo disponível frequentemente apresentam maior atividade enzimática, indicando maior demanda biológica pelo nutriente. Assim, essa enzima é amplamente utilizada como bioindicador da dinâmica do fósforo e da eficiência dos sistemas de manejo quanto à ciclagem desse nutriente.

β -glicosidase

A β -glicosidase é uma enzima-chave no ciclo do carbono, atuando na etapa final da degradação da celulose. Ela hidrolisa a celobiose em glicose, que posteriormente é utilizada como fonte de energia pelos microrganismos do solo (EIVAZI *et al.*, 1988; TABATABAI *et al.*, 1988). Como a celulose é um dos principais componentes dos resíduos vegetais, a β -glicosidase está diretamente associada à decomposição da matéria orgânica e à formação de húmus.

Sua atividade é considerada um dos melhores indicadores da qualidade biológica do solo, pois está intimamente relacionada à quantidade de resíduos vegetais, intensidade da decomposição, biomassa microbiana, disponibilidade de carbono

Solos sob sistemas conservacionistas, como plantio direto e adubação orgânica, tendem a apresentar maior atividade de β -glicosidase. Por outro lado, práticas que reduzem a matéria orgânica ou causam distúrbios frequentes no solo podem diminuir significativamente sua atividade (EIVAZI *et al.*, 1988; TABATABAI *et al.*, 1988). Além disso, essa enzima apresenta alta sensibilidade a mudanças de manejo, sendo frequentemente utilizada em estudos que avaliam impactos de fertilizantes minerais, bioestimulantes e sistemas de rotação de culturas.

Massa fresca e seca da parte aérea

A massa fresca e seca da parte aérea é um dos principais indicadores do acúmulo de biomassa e do vigor vegetativo das plantas, sendo amplamente utilizada em experimentos agronômicos como critério de avaliação de desempenho sob diferentes manejos nutricionais. A massa fresca reflete o crescimento inicial e a hidratação tecidual da planta, enquanto a massa seca corresponde ao acúmulo real de matéria orgânica produzida via fotossíntese (SANTOS *et al.*, 2017). A adubação adequada é determinante

para o incremento da matéria seca, especialmente em culturas de ciclo curto como o feijoeiro, onde o fornecimento equilibrado de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio favorece o desenvolvimento foliar e o estabelecimento inicial da cultura (RAMOS JUNIOR *et al.*, 2005). Além disso, o uso de bioestimulantes pode potencializar esse crescimento ao promover maior eficiência fisiológica e metabólica, resultando em aumento da biomassa aérea acumulada (FERNANDES *et al.*, 2020). Estudos demonstram que combinações entre fertilização mineral e bioestimulantes podem proporcionar incrementos significativos na produção de massa seca, refletindo um melhor aproveitamento dos nutrientes aplicados e uma maior resiliência da planta frente aos estresses ambientais.

Portanto, integrar bioestimulantes a base de aminoácidos e extratos minerais, além da adicionar o melaço ao manejo nutricional do feijoeiro pode representar uma estratégia promissora para aumentar a eficiência produtiva, melhorar a saúde do solo e promover a sustentabilidade do sistema agrícola. Estudos como o presente trabalho são essenciais para avaliar os efeitos dessas tecnologias sobre a microbiota do solo e os parâmetros agronômicos das culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento e as análises foram feitos no laboratório de Fitopatologia, do Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí, no município de Urutaí – GO. Em casa de vegetação localizado no próprio Instituto Federal Goiano, foi adicionado solo esterilizado em autoclave por 30 minutos 120 °C 1 kgf. O solo após resfriado foi levado para o laboratório de fitopatologia e então transferido para vasos de 6,28 L.

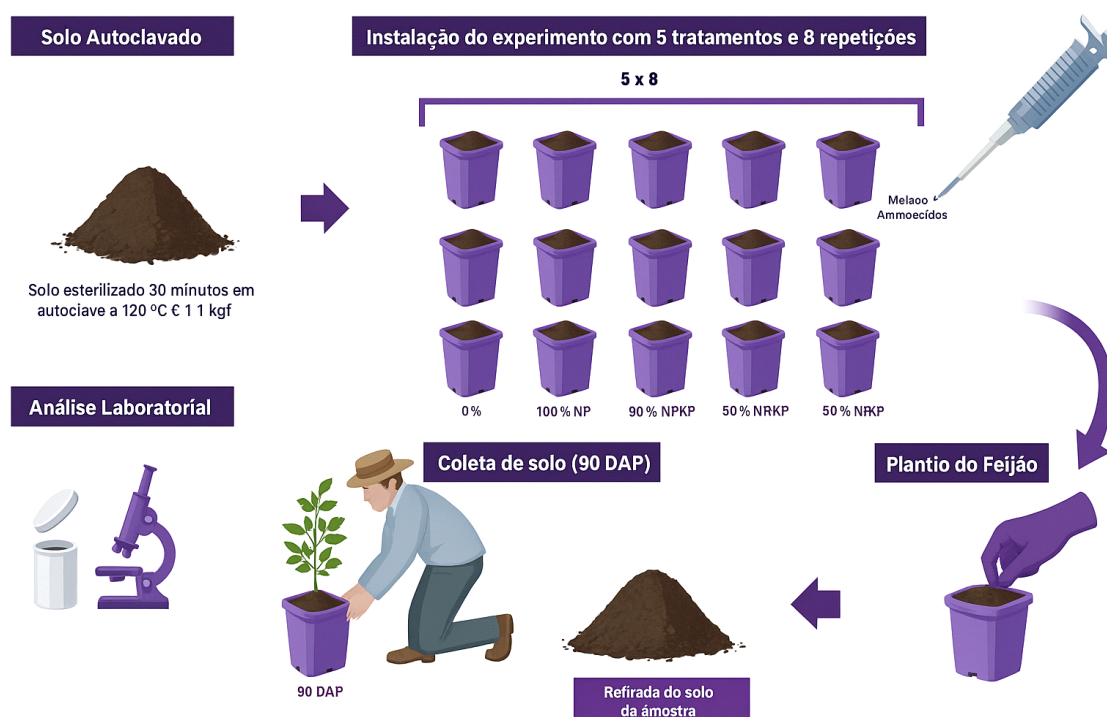


Figura 1. Demonstração de como o experimento foi realizado.

O experimento em blocos casualizados (DIC) foi composto de cinco tratamentos e oito repetições, com o plantio de feijão carioca cultivar Pérola. Os tratamentos utilizados no experimento estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Listagem de tratamentos utilizados durante o experimento.

Tratamentos	Constituição
T1	Testemunha (Solo autoclavado)
T2	Solo autoclavado 100% adubo
T3	Solo autoclavado 50% adubo
T4	Solo autoclavado 100% adubo + Melaço + aminoácidos
T5	Solo autoclavado 50% adubo + Melaço + aminoácidos

De acordo com a análise de solo (Anexo 1) os fertilizantes utilizados resultaram da mistura de fontes isoladas de nitrogênio representado por uréia [$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ - 45%], fonte de fósforo superfosfato simples [21%] e fonte de potássio representado por cloreto de potássio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - 60%]. Foi calculado para o volume de solo a quantidade requerida pela cultura do feijão, as três fontes foram misturadas e adicionadas nos vasos (em cruz longe da cova). Nos tratamentos T2 e T4 apresentaram de 100% de adubação que foi representada por vaso a quantidade de 1,4 g por vaso de uréia ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$), 11,9 g por vaso de superfosfato simples ($3\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 7\text{Ca}_3\text{SO}_4$) e 2,6 g por vaso de cloreto de potássio (KCl). Desta forma, consequentemente as quantidades dos tratamentos T3 e T5 que representavam 50% de adubação foi utilizado por vaso 0,7 g por vaso de uréia, 5,9 g por vaso de superfosfato simples e 1,3 g por vaso de cloreto de potássio.

A recomendação de Vitacomplex (bioestimulante a base de aminoácido e melaço de cana) foi de 1L por ha. Sabendo-se que 1 m³ igual a 1000L. Em 1ha apresenta 20.000.000 L de solo, no vaso utilizado e como utilizou-se 6,28 L, e a recomendação de Vitacomplex foi de 1L/ha, assim recomenda-se por vaso aplicar 0,000000314 L de Vitacomplex por vaso, resultado em microlitros na quantidade de 0,00314 L por vaso. Como é uma quantidade muito pequena para apanhar com a pipeta, multiplicamos essa quantidade por 170 (número de vasos) resultando em 0,5 L do produto. Essa quantidade de Vitacomplex foi diluído em 170 mL de água destilada, com isso dividiu-se a solução pela quantidade de vasos do experimento (170 vasos) resultando em 1 mL por vaso (ou 250 L por cova de plantio) aplicado com a pipeta P1000.

Foram avaliados aos 3 e 7 dias após a semeadura (DAS) a porcentagem de germinação (emergência) e a altura de plantas aos 7 e 14 DAS. Aos 30 dias após a semeadura (DAS) foi avaliado a massa de raiz verde e seca (morte das plantas) e uma aos 90 dias a mesma avaliação será feita com a raiz dos outros vasos.

Resultados e Discussão

Efeito nos tratamentos na produção da enzima arilsulfatase.

Os tratamentos 1 (solo estéril sem adubação), 2 (solo estéril com 100 % de adubação mineral) e 5 (Solo autoclavado 50% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentam níveis altos de atividade de arilsulfatase, indicando uma boa capacidade de ciclagem de enxofre. Os tratamentos 3 (Solo autoclavado 50% adubo) e 4 (Solo autoclavado 100% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentaram níveis médios (Fig. 2). Em estudos de campo e regionais, maior atividade de arilsulfatase estão associados a solos com maior biomassa microbiana, matéria orgânica e melhor qualidade biológica, sendo usada como indicador de ciclagem de S e qualidade do solo (Barbosa et al., 2023).

A atividade enzimática da arilsulfatase apresentou variação expressiva entre os tratamentos avaliados, evidenciando a influência do manejo nutricional sobre a dinâmica biológica do solo (Fig. 2). Observou-se que os tratamentos T1 (solo estéril) e T2 (solo estéril com 100 % de adubação mineral) apresentaram as maiores médias de atividade enzimática, próximos a $37 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$, indicando elevada mineralização de compostos orgânicos sulfurados. Esse resultado sugere que a disponibilidade nutricional plena pode estimular indiretamente a atividade microbiana residual ou favorecer condições físico-químicas que potencializam a expressão enzimática (Fig. 2). A aplicação apenas de fertilizante mineral pode aumentar ou pouco alterar a arilsulfatase, dependendo do tipo de nutriente e do contexto (Wang et al., 2019), até reduzir a atividade, especialmente com doses altas de N mineral ou acidificação do solo (Davie et al., 2022).

Por outro lado, os tratamentos T3 (50% de adubação) e T4 (100% de adubação + melaço e aminoácidos) apresentaram os menores níveis de atividade de arilsulfatase, com valores aproximados de 25 e $23 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente. A redução observada pode estar associada a alterações temporárias na dinâmica microbiana ou ao redirecionamento metabólico promovido pela adição de substratos orgânicos facilmente assimiláveis, o que pode modular a síntese enzimática no curto prazo (Fig. 2). Fertilização mineral isolada costuma inibir a arilsulfatase, em comparação ao controle ou a práticas orgânicas (Holík et al., 2019).

O tratamento T5 (50% de adubação + melaço e aminoácidos) apresentou valor intermediário, porém superior aos tratamentos T3 e T4, alcançando aproximadamente $34 \mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$. Esse resultado indica que a combinação de bioestimulante com dose

reduzida de fertilizante mineral pode favorecer a manutenção da atividade biológica do solo, possivelmente estimulando comunidades microbianas envolvidas no ciclo do enxofre (Fig. 2). Combinações de fertilizante mineral + fonte orgânica tende a manter ou aumentar a arilsulfatase em relação ao mineral isolado, ao estimular biomassa microbiana e o ciclo do S. Estudos com fertilização parcialmente orgânica mostram maior atividade de arilsulfatase e sua importância como fator discriminante entre sistemas orgânicos e convencionais (Ghosh et al., 2019).

De maneira geral, os dados demonstram que a atividade de arilsulfatase responde de forma sensível às estratégias de manejo adotadas, reforçando seu potencial como indicador bioquímico da qualidade do solo e da intensidade dos processos de ciclagem de nutrientes (Fig. 2).

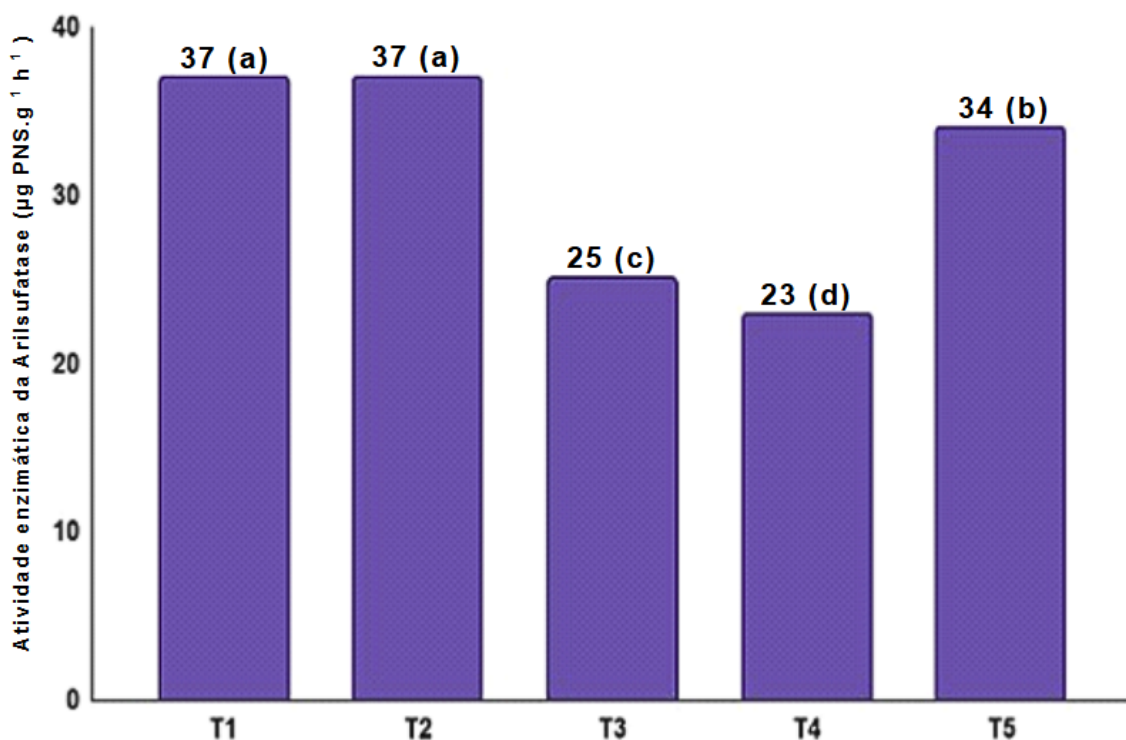


Figura 2. Atividade de Arilsufatase ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.

Efeito nos tratamentos na produção da enzima fosfatase ácida.

Os tratamentos 1 [Testemunha (Solo autoclavado)], 2 (Solo autoclavado 100% adubo), 3 (Solo autoclavado 50% adubo) e 5 (Solo autoclavado 50% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentaram 203, 215, 167 e 196 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente da enzima fosfatase ácida representando níveis elevados (o que é benéfico para a disponibilidade de fósforo no solo), já o tratamento 4 (Solo autoclavado 100% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentou 146 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$ da enzima fosfatase ácida que representou um nível Médio (Fig.3). Em solos agrícolas não estéreis, maior atividade de fosfatases costuma estar associada a maior matéria orgânica, Ca e Mg, e melhoria da fertilidade pela calagem ou adubação mineral adequada, maior atividade microbiana e melhor estrutura do solo em sistemas bem manejados (Futa et al., 2021).

Em solos autoclavados a parte importante da atividade medida provavelmente vem de enzimas residuais estabilizadas na fração sólida (argila/húmus), não apenas de microrganismos vivos e a adubação mineral (100 % ou 50 %) e o Melaço + aminoácidos podem alterar pH, força iônica e disponibilidade de cátions, modulando a expressão ou a atividade aparente da fosfatase, mesmo com microbiota reduzida (Petter, 2018)

A atividade de fosfatase ácida apresentou variações expressivas entre os tratamentos avaliados (Fig. 3), evidenciando influência direta do manejo nutricional sobre a dinâmica do P no solo. Observa-se que o tratamento T2 (100 % de adubação mineral) apresentou os maiores valores de atividade enzimática, seguido de T1 (solo estéril) e T5 (50 % de adubação + melaço e aminoácidos), indicando maior potencial de mineralização de compostos orgânicos fosfatados nesses sistemas (Fig. 3). Em muitos solos agrícolas, a atividade de fosfatase ácida aumenta com melhor fertilidade, maior matéria orgânica e bases trocáveis, mesmo sem relação direta com P disponível em solução, assim, pode-se argumentar que a adubação plena criou um ambiente favorável (pH, C, bases, biomassa microbiana), elevando a atividade enzimática (Fernandes et al., 1998).

Os tratamentos T3 (50 % de adubação) e T4 (100 % de adubação + bioestimulante) apresentaram redução relativa na atividade da enzima, sendo T4 (Solo autoclavado 100 % adubo + Melaço + aminoácidos) o tratamento com menor valor observado. Esse comportamento pode estar relacionado à maior disponibilidade imediata de fósforo mineral, o que pode reduzir a necessidade de produção enzimática microbiana, uma vez que a fosfatase ácida é induzida principalmente sob condições de limitação de P (Fig. 3). A redução possivelmente foi ocasionada pelo fato de as fosfatases que em geral induzidas

sob limitação de P, tendem a ser reprimidas quando o P inorgânico está alto, tanto em ensaios de solo quanto de microrganismos e os bioestimulantes e fertilizantes foliares frequentemente reduzem a fosfatase ácida do solo quando melhoram o suprimento de P à planta, indicando menor necessidade de secreção enzimática pela rizosfera (Niewiadomska et al., 2020)

A elevada atividade observada em T5 (Solo autoclavado 50 % adubo + Melaço + aminoácidos) sugere que a combinação de 50 % da adubação com melaço e aminoácidos pode estimular a atividade microbiana e a ciclagem de P, possivelmente por fornecer fonte adicional de C, favorecendo a síntese enzimática. De modo geral, os resultados indicaram que a atividade de fosfatase ácida responde de maneira sensível ao equilíbrio entre fertilização mineral e estímulo biológico do solo, refletindo alterações na dinâmica do fósforo e na atividade microbiana da rizosfera (Fig. 3). A adição de fontes de C ou insumos que estimulam a microbiota (biochar, organomineral, resíduos vegetais, biostimulantes ricos em CaCO_3) costuma aumentar biomassa microbiana e atividade enzimática, inclusive fosfatase ácida, até certo ponto (Rocabrana et al., 2024) confirmando que o Vitacomplex (melaço + aminoácidos) estimulam a microbiota e a ciclagem de P é coerente com esses achados.

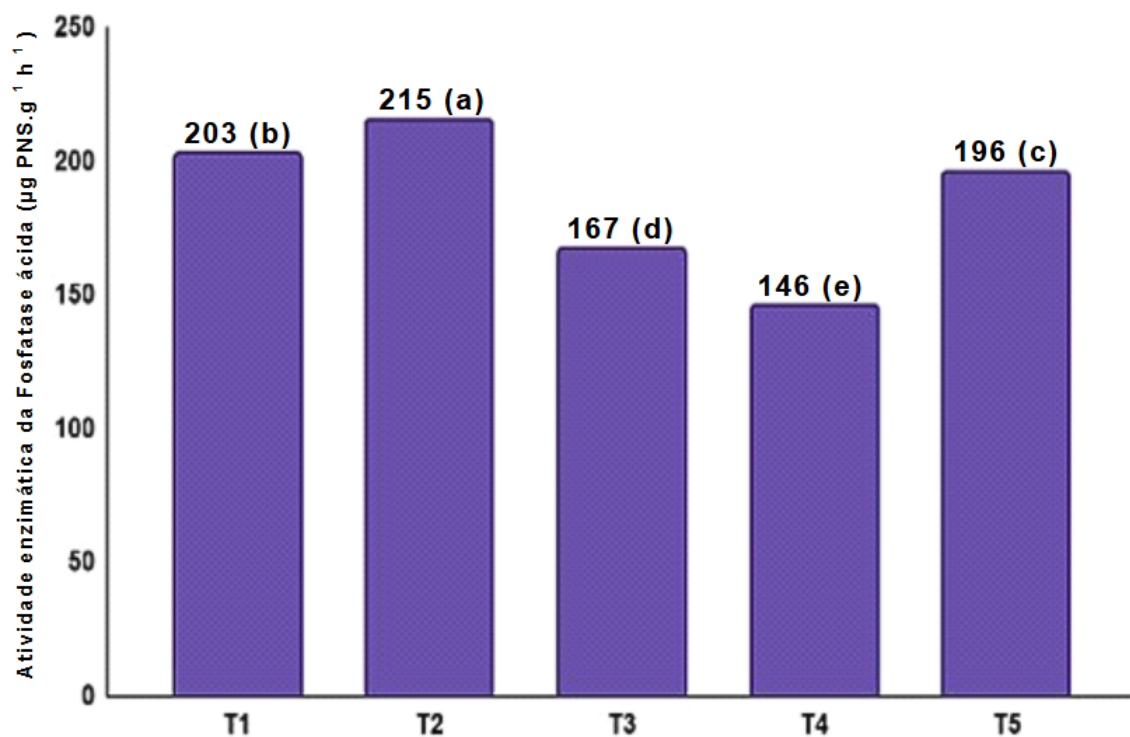


Figura 3. Atividade de fosfatase ácida ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.

Efeito nos tratamentos na produção da enzima beta-glicosidase

O tratamento 1 e 4 apresentaram a atividade enzimática média no valor de 21 e 20 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$, já os tratamentos 2, 3 e 5 apresentaram atividade enzimática elevada no valor de 25, 31 e 24 $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$, respectivamente. Os tratamentos 2, 3 e 5 apresentam níveis altos de atividade de beta-glicosidase, indicando uma boa capacidade de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de carbono (Fig. 4). Por outro lado, os menores valores em T1 (solo estéril) eram esperados, dada a ausência ou forte redução da microbiota ativa. A baixa atividade em T4 (100% adubação + bioestimulante) sugere que o excesso de nutriente prontamente disponível pode reduzir a necessidade de a microbiota investir em enzimas para obter C da matéria orgânica, fenômeno também relatado em estudos com altas doses de fertilizantes minerais, em que há redução relativa de algumas atividades enzimáticas específicas (Chen et al., 2023).

A atividade de β -glicosidase apresentou variação significativa entre os tratamentos avaliados (Fig. 4), evidenciando resposta sensível da microbiota do solo às estratégias de manejo nutricional adotadas. O tratamento T3 (50 % da adubação mineral) apresentou o maior valor de atividade enzimática, sugerindo maior estímulo à degradação de carboidratos e à ciclagem do carbono sob condição de adubação moderada (Fig. 4). A maior atividade em T3 (50% da adubação mineral) sugere que uma adubação moderada cria uma condição de equilíbrio nutricional, em que há oferta suficiente de nutrientes para sustentar a microbiota, mas ainda demanda por mineralização de carbono, estimulando a produção enzimática. Situações de suprimento moderado de nutrientes costumam favorecer maior eficiência e diversidade funcional microbiana, com aumento de enzimas ligadas ao ciclo do C (Nascimento et al., 2025).

Os tratamentos T2 (100 % da adubação) e T5 (50% da adubação + melaço e aminoácidos) apresentaram valores intermediários, indicando que tanto a fertilização

mineral completa quanto a associação de adubação reduzida com bioestimulante favorecem, em diferentes intensidades, a atividade microbiana relacionada à decomposição de resíduos orgânicos. Já os menores valores foram observados em T1 (solo estéril) e T4 (100 % da adubação + bioestimulante), possivelmente refletindo menor estímulo microbiano ou efeito de maior disponibilidade imediata de nutrientes minerais, reduzindo a necessidade de atividade enzimática associada à mineralização do carbono (Fig. 4). Os valores intermediários observados em T2 (100% da adubação mineral) e T5 (50% da adubação + bioestimulante) indicam que tanto a adubação mineral plena quanto a combinação de menor dose com insumos orgânicos/bioestimulantes mantêm elevada atividade microbiana. Em outros sistemas agrícolas, práticas que adicionam nutrientes minerais e/ou fontes orgânicas (leguminosas, digestatos, coberturas vegetais) aumentam a atividade de β -glicosidase e outros enzimas do ciclo do C, refletindo maior decomposição de resíduos e dinamismo da matéria orgânica (Pittarello et al., 2021).

De modo geral, os resultados sugerem que a β -glicosidase responde positivamente a condições de equilíbrio nutricional e disponibilidade moderada de recursos, indicando que estratégias que evitem excesso de fertilização podem favorecer a dinâmica biológica do solo e a ciclagem do carbono na rizosfera do feijoeiro (Fig. 4).

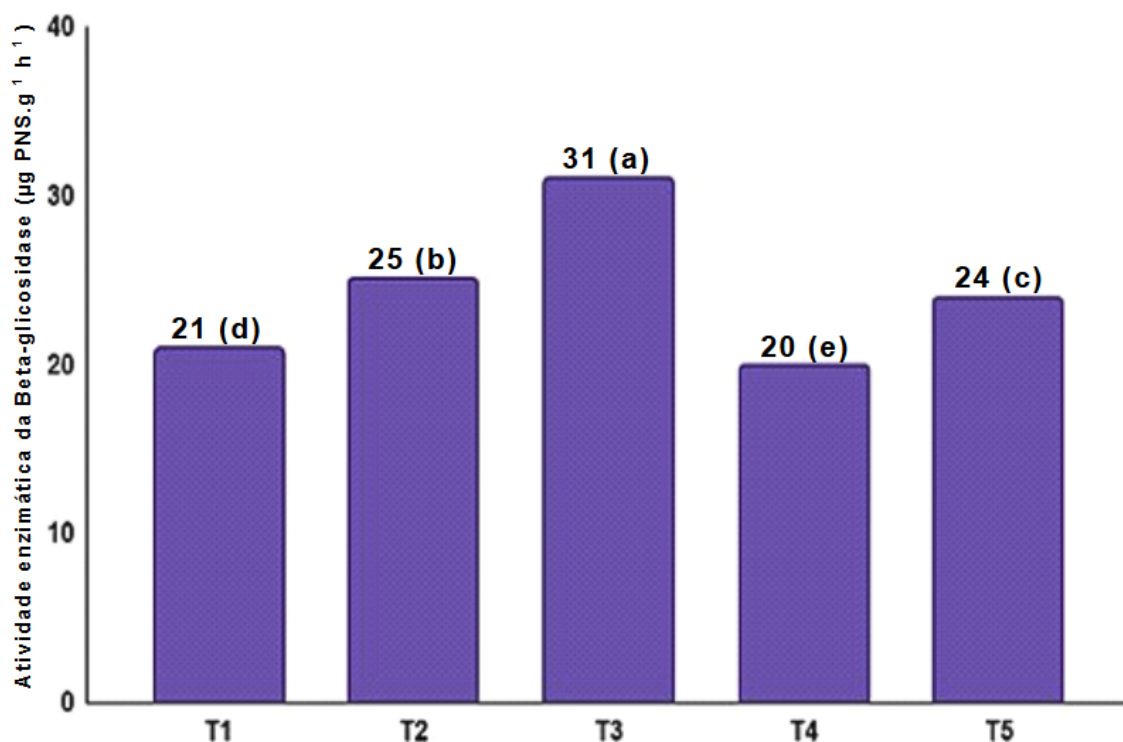


Figura 4. Atividade de beta glucosidase ($\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em solo cultivado com feijoeiro sob diferentes estratégias de manejo nutricional: T1 – solo estéril; T2 – solo

estéril + 100% da adubação recomendada; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melaço e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melaço e aminoácidos; Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação.

Em resumo a enzima arilsulfatase apresentou níveis de atividade elevados nos tratamentos T1, T2 e T5 e níveis de atividade médios nos tratamentos T3 e T4. A enzima fosfatase ácida apresentou níveis de atividade elevados nos tratamentos T1, T2, T3 e T5, e níveis médios no tratamento T4. A enzima beta-glicosidase apresentou níveis de atividade elevados nos tratamentos T2, T3 e T5. E níveis médios nos tratamentos T1 e T4 (Fig. 4).

Os tratamentos com níveis altos de arilsulfatase, fosfatase ácida e beta-glicosidase indicaram um solo biologicamente ativo, com boa capacidade de ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e disponibilidade de fósforo. Os tratamentos com níveis médios de atividade enzimática ainda possuem atividade biológica, mas podem indicar a necessidade de práticas de manejo para melhorar a saúde do solo (Fig. 4).

A porcentagem de germinação apresentou diferenças entre os tratamentos aos 3 dias após a semeadura (3 DAS), evidenciando influência do manejo nutricional na velocidade inicial de emergência (Fig. 5). O tratamento T3 (50% da adubação) apresentou a maior germinação inicial (75,0 %), seguido de T4 (62,5 %) e T5 (50,0 %), enquanto T1 (43,75 %) e T2 (34,38 %) apresentaram os menores valores nesse período inicial. Esses resultados sugerem que a adubação moderada pode favorecer o processo germinativo, possivelmente por proporcionar condições nutricionais equilibradas sem causar efeitos osmóticos ou salinos iniciais (Fig. 5).

Aos 7 dias após a semeadura (7 DAS), observa-se que todos os tratamentos apresentaram germinação elevada, com T1 e T3 atingindo 100 %, enquanto T4 e T5 apresentaram 93,75% e T2 alcançou 81,25%. Isso indica que, embora existam diferenças na velocidade inicial de emergência, o potencial germinativo final foi alto na maioria dos tratamentos (Fig. 5).

De modo geral, os dados demonstram que o manejo com 50% da adubação (T3) promoveu maior uniformidade e rapidez na germinação, enquanto os demais tratamentos

apresentaram recuperação ao longo do tempo, sugerindo que o efeito dos manejos foi mais pronunciado na velocidade de emergência do que na germinação final (Fig. 5).

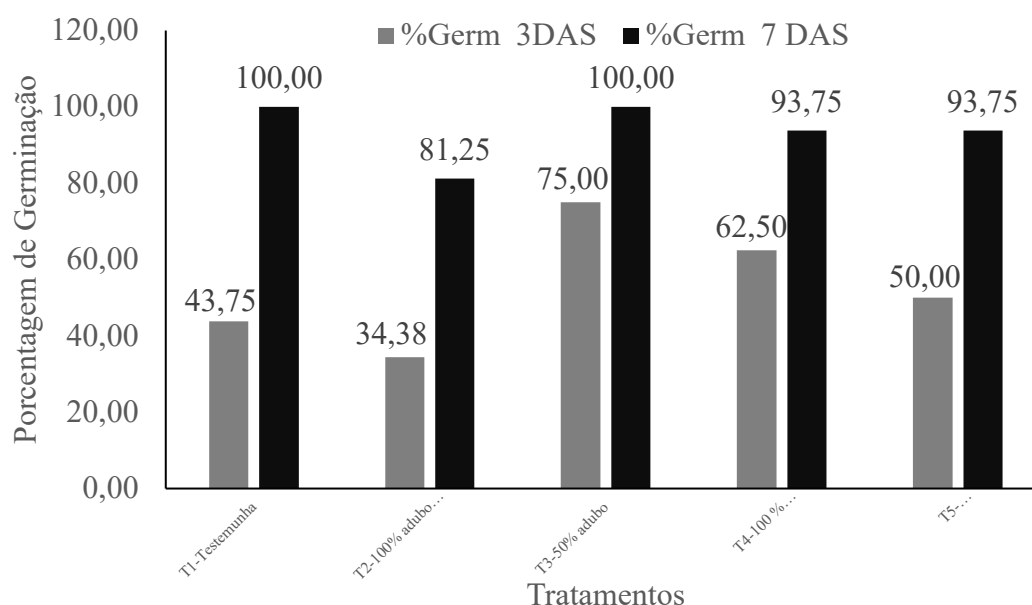


Figura 5. Percentual de germinação (%) de feijoeiro aos 3 e 7 dias após a semeadura (DAS) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo estéril; T2 – solo estéril + 100% da adubação; T3 – solo estéril + 50% da adubação; T4 – solo estéril + 100% da adubação + melão e aminoácidos; T5 – solo estéril + 50% da adubação + melão e aminoácidos.

Aos 30 DAP, os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, sendo aplicado teste de hipótese não paramétrico. Já aos 90 DAP, os testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett) indicaram ausência de violação dos pressupostos estatísticos, validando a aplicação da análise de variância. Entretanto, observaram-se coeficientes de variação elevados (52,85% para massa fresca e 54,83% para massa seca), indicando alta variabilidade experimental, possivelmente associada à condição de solo autoclavado e à resposta diferencial das plantas ao manejo nutricional (Tab. 2).

Aos 30 DAP, o tratamento testemunha (T1) apresentou os menores valores de massa fresca e seca da parte aérea, diferindo estatisticamente dos tratamentos com adubação mineral. O tratamento T2 (100% da adubação mineral) promoveu o maior acúmulo de biomassa fresca (13,36 g) e seca (3,37 g), evidenciando a forte dependência do feijoeiro ao suprimento nutricional adequado na fase inicial de desenvolvimento. Os tratamentos T3 (50% da adubação) e T4 (100% da adubação + Vitacomplex)

apresentaram desempenho intermediário e estatisticamente semelhantes entre si, demonstrando que a adubação reduzida ou a associação com bioestimulante pode manter níveis expressivos de crescimento vegetativo inicial (Tab. 2).

O tratamento T5 (50% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou valores superiores à testemunha, porém inferiores aos tratamentos com adubação integral, indicando que a redução da adubação, mesmo associada ao bioestimulante, não compensou completamente a menor disponibilidade de nutrientes. Não foi observado incremento adicional significativo de biomassa aos 30 DAP com a utilização do bioestimulante nas doses avaliadas, reforçando que o fornecimento de nutrientes minerais foi o principal fator determinante para o crescimento inicial (Tab. 2).

Aos 90 DAP, observou-se efeito significativo dos tratamentos sobre a massa fresca e seca da parte aérea. Para massa fresca, o tratamento testemunha apresentou novamente os menores valores, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, evidenciando que a ausência de adubação compromete o crescimento vegetativo ao longo do ciclo da cultura. Contudo, os tratamentos T2, T3, T4 e T5 não diferiram entre si para massa fresca, sugerindo que, na fase final do desenvolvimento, tanto a adubação integral quanto a adubação reduzida, com ou sem bioestimulante, foram suficientes para manter níveis semelhantes de biomassa fresca (Tab. 2).

Em relação à massa seca aos 90 DAP, observou-se maior diferenciação entre os manejos. O tratamento T2 (100% da adubação) apresentou o maior acúmulo de matéria seca, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, confirmando que a adubação mineral completa favorece maior conversão de assimilados em estrutura vegetal consolidada. O tratamento T5 apresentou desempenho intermediário, sugerindo que o bioestimulante pode ter contribuído para melhorar a eficiência de uso dos nutrientes sob adubação reduzida. Já os tratamentos T3 e T4 apresentaram valores inferiores ao T2, porém superiores à testemunha, demonstrando que a redução da adubação impacta principalmente o acúmulo estrutural final da planta (Tab. 2).

De forma geral, os resultados evidenciam que a adubação mineral a 100% da recomendação foi o fator mais determinante para o incremento de biomassa tanto aos 30 quanto aos 90 DAP. A associação com bioestimulante apresentou efeito complementar, com potencial de mitigação parcial sob adubação reduzida, porém não substituiu o fornecimento integral de nutrientes minerais (Tab. 2).

Tabela 2. Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 30 e 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50%

Tratamentos	Massa fresca (g)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Massa seca (g)
	da parte aérea aos 30 DAP	da parte aérea aos 90 DAP	da parte aérea aos 30 DAP	da parte aérea aos 90 DAP
T1. Testemunha (solo autoclavado)	1,8 c	1,97 b	0,47 c	0,43 c
T2. Solo autoclavado 100% adubo	13,36 a	5,7 a	3,37 a	4,38 a
T3. Solo autoclavado 50% adubo	10,95 ab	4,04 a	2,44 ab	2,05 b
T4. Solo autoclavado 100% adubo + Vitacomplex	11,57 ab	5,61 a	2,55 ab	1,83 b
T5. Solo autoclavado 50% adubo + Vitacomplex	7,57 b	4,92 a	1,65 b	2,63 ab
Teste Shapiro Wilk	0,8853 ns	0,9856 ns	0,8854 ns	0,9615 **
Teste Bartlett	34,1920 ns	11,2570 ns	34,192 ns	26,1050 ns
Valor F	144 **	4,7317 **	1,415 **	9,8829 **
Coeficiente de variação	52,85	63,58	54,83	98,00
Coeficiente de Friedman	99,787 ns	14,8088 **	876,235 **	27,3000 **

da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$). ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade.

No tratamento 1 a massa fresca da parte aérea aos 30 DAP reduziu 2,12 vezes para a massa seca da parte aérea aos 30 DAP. O tratamento 2 reduziu em 3,96 vezes, o tratamento 3 reduziu 4,56 vezes, o tratamento 4 reduziu 4,53 vezes e o tratamento 5 reduziu 4,58 vezes (Figura 6).

Os resultados evidenciam diferenças significativas entre os tratamentos quanto ao acúmulo de biomassa da parte aérea aos 30 dias após o plantio (DAP) (Fig. 6). A massa fresca apresentou maior valor no tratamento T2 (100% da adubação mineral), destacando-se estatisticamente dos demais, o que demonstra forte resposta do feijoeiro ao fornecimento integral de nutrientes. Os tratamentos T3 (50% da adubação) e T4 (100% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentaram desempenho intermediário, sem diferença significativa entre si, indicando que a associação com bioestimulante pode manter níveis de crescimento semelhantes ao manejo com adubação reduzida (Fig. 6).

O tratamento T5 (50% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou redução significativa na massa fresca quando comparado ao T2, embora tenha sido superior à

testemunha (T1), que apresentou os menores valores. Esse comportamento reforça que a ausência de adubação limita severamente o crescimento vegetativo do feijoeiro (Fig. 6).

Para a massa seca da parte aérea, observa-se padrão semelhante ao da massa fresca. O tratamento T2 apresentou maior acúmulo de biomassa seca, seguido pelos tratamentos T3 e T4, que não diferiram entre si. O tratamento T5 apresentou desempenho inferior aos tratamentos com maior aporte nutricional, porém superior à testemunha. Esses resultados indicam que o fornecimento adequado de nutrientes é determinante para o acúmulo estrutural de matéria seca, sendo o bioestimulante um complemento, mas não substituto da adubação mineral integral (Fig. 6).

De maneira geral, os dados demonstram que a adubação mineral a 100% da recomendação promoveu os maiores incrementos de biomassa aos 30 DAP, enquanto os tratamentos com 50% de adubação, com ou sem bioestimulante, mantiveram desempenho intermediário, evidenciando potencial de manejo nutricional mais eficiente quando associado à biologia do solo (Fig. 6).

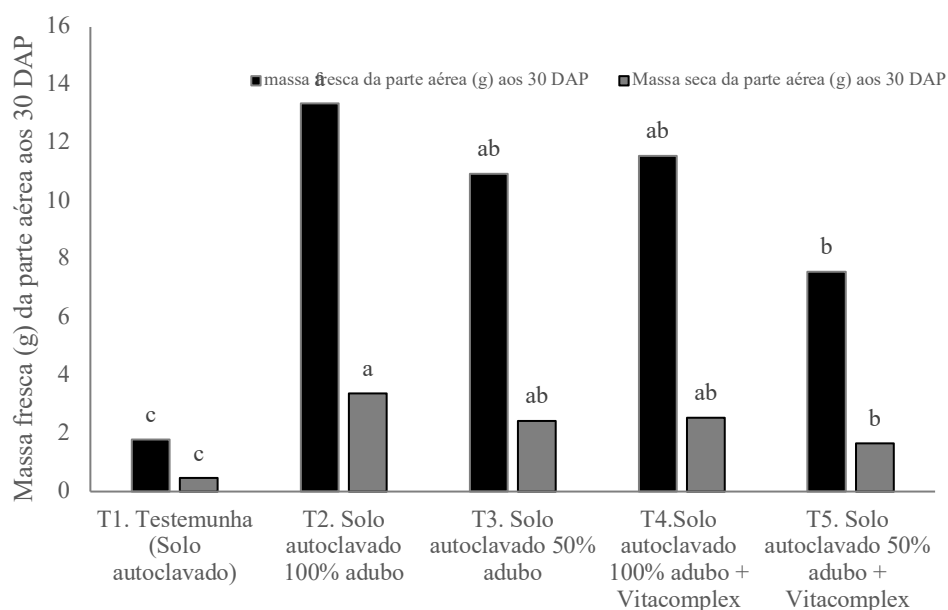


Figura 6: Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 30 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Barras seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ($p \leq 0,05$).

Aos 90 dias após o plantio (DAP), observou-se que todos os tratamentos com adubação mineral (T2, T3, T4 e T5) promoveram incremento significativo na massa fresca da parte aérea quando comparados à testemunha (T1), evidenciando resposta positiva do feijoeiro à suplementação nutricional. Os tratamentos T2 (100% adubação) e T4 (100% adubação + Melaço + aminoácidos) apresentaram os maiores valores absolutos, indicando que a adubação plena foi determinante para o acúmulo de biomassa aérea (Fig. 7).

Em relação à massa seca da parte aérea, o tratamento T2 destacou-se estatisticamente, apresentando o maior acúmulo de matéria seca, o que demonstra maior eficiência na conversão da biomassa fresca em tecido estrutural consolidado. O tratamento T5 (50% adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou desempenho intermediário, sugerindo que a associação do bioestimulante à redução da adubação mineral pode mitigar parcialmente perdas produtivas (Fig. 7).

A testemunha (T1) apresentou os menores valores tanto para massa fresca quanto seca, confirmando a limitação imposta pela ausência de fertilização em solo autoclavado. De modo geral, os resultados indicam que a adubação mineral plena continua sendo o principal fator de incremento produtivo aos 90 DAP, embora a integração com bioestimulantes demonstre potencial estratégico em sistemas de manejo mais sustentáveis (Fig. 7).

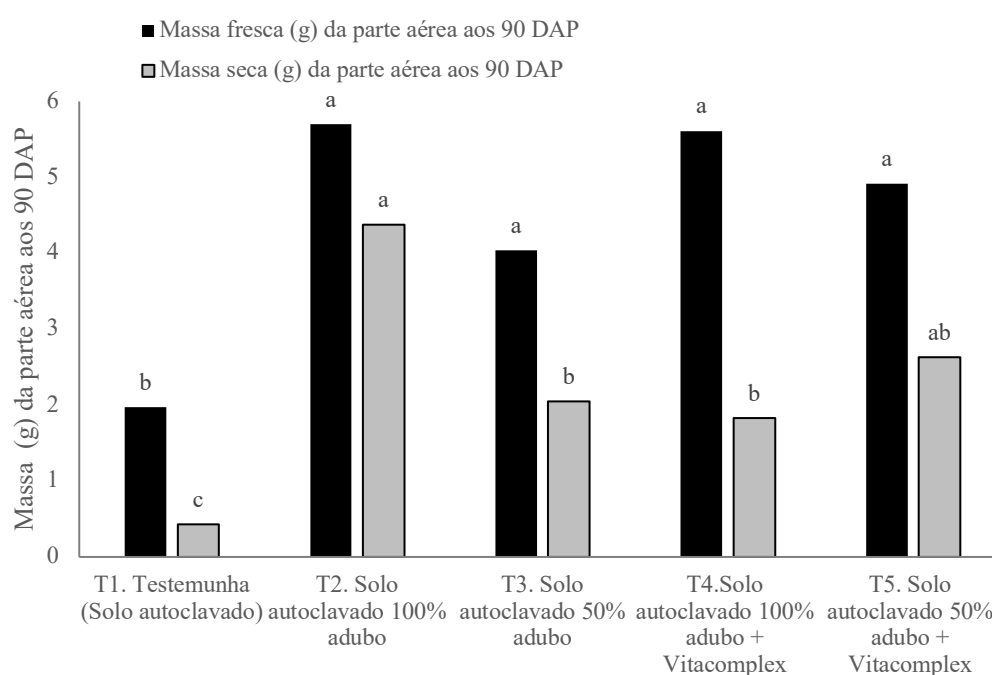


Figura 7: Massa fresca (g) e massa seca (g) da parte aérea de feijoeiro aos 90 dias após o plantio (DAP) submetido a diferentes manejos nutricionais em solo autoclavado. T1 = testemunha; T2 = 100% adubação; T3 = 50% adubação; T4 = 100% adubação + Melaço + aminoácidos; T5 = 50% adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).

No tratamento 1 (testemunha) reduziu em 2,3 vezes a massa quando desidratado. No tratamento 2 composto de solo autoclavado com 100 % da recomendação de adubação para o feijoeiro reduziu em 3,14 vezes a massa quando desidratada (Fig. 8). No tratamento 3 composto de solo autoclavado adicionado com 50 % da recomendação de adubação para o feijoeiro reduziu a massa em 2,42 vezes a massa quando desidratada (Fig. 8). No tratamento 4 composto de solo autoclavado adicionado com 100 % da recomendação de adubação para o feijoeiro mais a recomendação de Melaço + aminoácidos reduziu a massa em 4,24 vezes a massa quando desidratada. No tratamento 5 composto de solo autoclavado adicionado com 50 % da recomendação de adubação para o feijoeiro mais a recomendação de Melaço + aminoácidos reduziu a massa em 2,26 vezes a massa quando desidratada (Fig. 8).

Os resultados demonstram que houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para massa fresca e massa seca de raiz aos 30 dias após o plantio (DAP), conforme indicado pelas letras distintas acima das barras ($p \leq 0,05$). O tratamento T2 (solo autoclavado + 100% da adubação) apresentou o maior acúmulo de massa fresca radicular, diferindo da testemunha (T1), que apresentou os menores valores. Esse comportamento reforça a importância do suprimento nutricional completo para o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro (Fig. 8).

O tratamento T4 (100% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou desempenho estatisticamente semelhante ao T2, indicando que a associação com bioestimulante não compromete o crescimento radicular quando há adequada disponibilidade de nutrientes. Já os tratamentos com 50% da adubação (T3 e T5) apresentaram reduções na biomassa radicular, evidenciando que a diminuição da adubação mineral impacta diretamente o crescimento das raízes, mesmo na presença do bioestimulante (Fig. 8).

Para a massa seca de raiz, o padrão seguiu tendência semelhante ao da massa fresca. O tratamento T2 apresentou maior acúmulo estrutural, seguido por T4, enquanto T3 e T5 apresentaram valores intermediários. A testemunha manteve os menores valores, demonstrando que o solo autoclavado sem adubação limita severamente o desenvolvimento radicular (Fig. 8).

De maneira geral, os dados indicam que a adubação mineral a 100% foi determinante para o incremento da biomassa radicular aos 30 DAP, enquanto o uso do bioestimulante mostrou efeito complementar, especialmente quando associado à adubação integral, mas não compensou totalmente a redução da fertilização (Fig. 8).

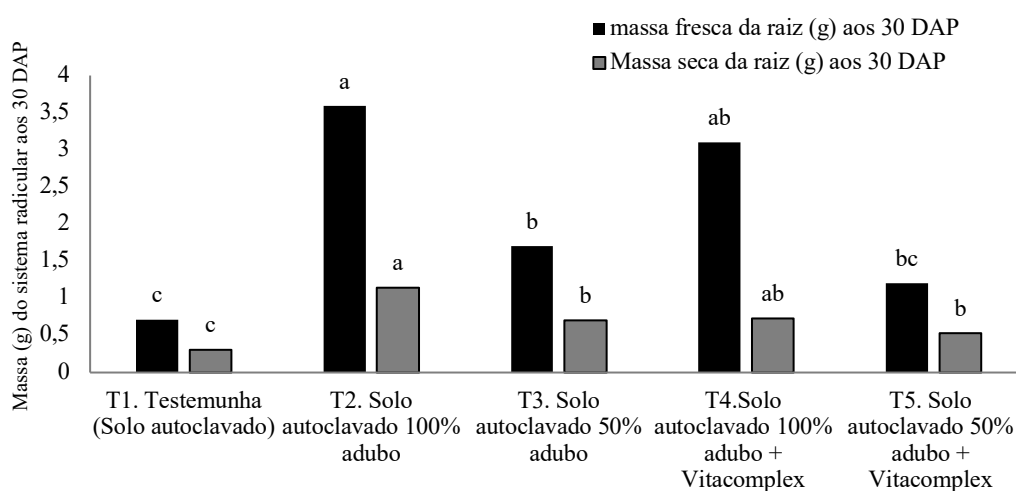


Figura 8: Massa fresca (g) e massa seca (g) de raiz de feijoeiro aos 30 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Barras seguidas por letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos ($p \leq 0,05$).

No tratamento T1 [representado pela testemunha contendo solo autoclavado] a redução da massa seca da raiz foi reduzida em 3,32 vezes, no tratamento T2 [representado pelo solo autoclavado contendo 100 % da recomendação de adubação] foi de 3,10 vezes, o tratamento T3 [representado por solo autoclavado adicionado 50 % da recomendação de adubação] foi de 3,04 vezes, no tratamento T4 [representado pelo uso de solo

autoclavado, com adição de 100 % da recomendação de adubação mais a dose recomendada de Melaço + aminoácidos] foi de 3,23 vezes e no tratamento T5 [representado pelo uso de solo autoclavado, com adição de 50 % da recomendação de adubação mais a dose recomendada de Melaço + aminoácidos] foi de 4,28 vezes (Fig. 9).

Aos 90 dias após o plantio (DAP), observou-se efeito significativo dos tratamentos sobre a massa fresca e seca da raiz, evidenciado pelas diferenças estatísticas indicadas pelas letras distintas no gráfico. O tratamento T5 (50% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou a maior massa fresca radicular, diferindo significativamente da testemunha (T1), o que indica que a associação entre redução de adubação mineral e bioestimulante favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular (Fig. 9).

O tratamento T2 (100% da adubação) também promoveu elevado acúmulo de massa fresca e seca de raiz, confirmando a forte resposta do feijoeiro à disponibilidade nutricional adequada. Entretanto, o desempenho do T5 sugere que o uso de bioestimulante pode potencializar o crescimento radicular mesmo com redução da adubação química, evidenciando possível otimização do uso de fertilizantes (Fig. 9).

Os tratamentos T3 (50% adubo) e T4 (100% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentaram desempenho intermediário, não diferindo estatisticamente de alguns tratamentos superiores, o que demonstra que tanto a adubação parcial quanto a combinação com bioestimulante contribuem para manutenção do crescimento radicular. A testemunha apresentou os menores valores, reforçando a importância do manejo nutricional para o desenvolvimento da cultura (Fig. 9).

De modo geral, os resultados indicam que a integração entre adubação mineral e bioestimulante exerce influência positiva sobre o sistema radicular do feijoeiro aos 90 DAP, podendo representar estratégia viável para incremento de eficiência produtiva (Fig. 9).

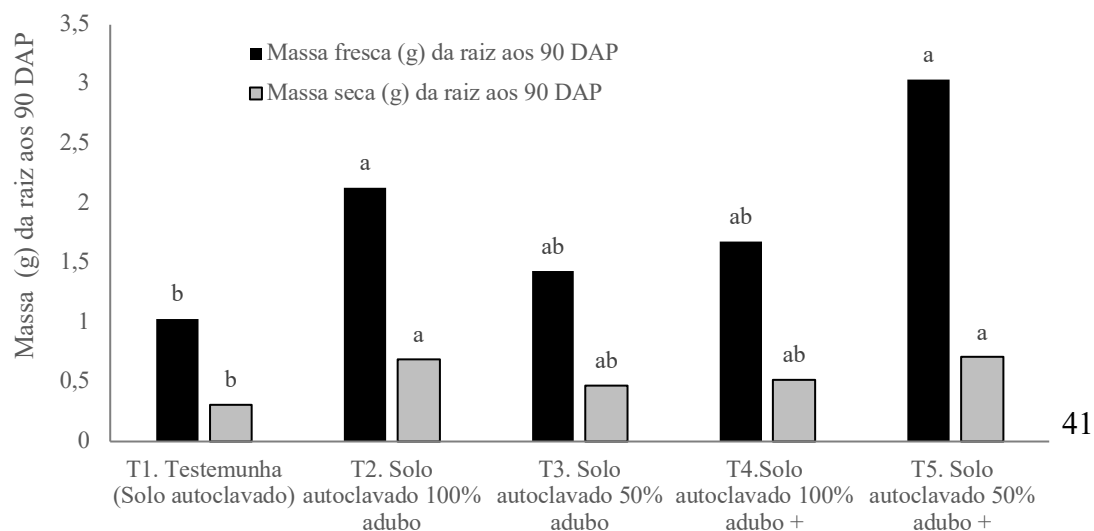


Figura 9: Massa fresca (g) e massa seca (g) da raiz de feijoeiro aos 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).

De modo geral, os dados não atenderam plenamente aos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias em todas as avaliações, sendo adotado teste de hipótese não paramétrico quando necessário (Tab. 3). Observou-se coeficiente de variação elevado, especialmente para massa fresca da raiz aos 30 DAP (106,02%), indicando alta variabilidade experimental, possivelmente associada à condição de solo autoclavado e à resposta heterogênea das plantas ao manejo nutricional.

Aos 30 DAP, a massa fresca de raiz apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p \leq 0,01$). O tratamento T2 (solo autoclavado com 100% da recomendação de adubação mineral) promoveu o maior acúmulo de biomassa radicular (3,59 g), diferindo estatisticamente da testemunha (T1), que apresentou o menor valor (0,71 g). Esse resultado evidencia a forte dependência do desenvolvimento radicular à adequada disponibilidade de nutrientes minerais na fase inicial da cultura (Tab. 3).

O tratamento T4 (100% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentou desempenho estatisticamente semelhante ao T2, indicando que a associação com bioestimulante pode contribuir para manter elevado crescimento radicular quando combinada à adubação integral. Já os tratamentos T3 (50% da adubação) e T5 (50% da adubação + Melaço + aminoácidos) apresentaram valores intermediários, superiores à testemunha, porém inferiores aos tratamentos com adubação integral, sugerindo que a

redução do aporte nutricional limita o crescimento radicular, mesmo com a presença do bioestimulante (Tab. 3).

Para a massa seca de raiz aos 30 DAP, o padrão foi semelhante ao observado para massa fresca. O tratamento T2 apresentou o maior acúmulo (1,14 g), seguido por T4, que não diferiu estatisticamente de T2. Os tratamentos T3 e T5 apresentaram valores intermediários, enquanto a testemunha manteve os menores índices, reforçando que o fornecimento integral de nutrientes foi determinante para o acúmulo estrutural inicial do sistema radicular (Tab. 3).

Aos 90 DAP, observou-se que a massa fresca e a massa seca de raiz foram significativamente inferiores no tratamento testemunha (T1), diferindo dos demais tratamentos que receberam adubação mineral e/ou Melaço + aminoácidos. Entretanto, entre os tratamentos T2, T3, T4 e T5 não foram observadas diferenças estatísticas para ambas as variáveis, indicando que, ao final do ciclo, tanto a adubação integral quanto a adubação reduzida, com ou sem bioestimulante, foram suficientes para promover desenvolvimento radicular semelhante (Tab. 3).

Esse comportamento sugere que, embora a adubação mineral a 100% tenha sido determinante para o maior crescimento radicular na fase inicial (30 DAP), ao longo do ciclo da cultura ocorreu uma estabilização do desenvolvimento do sistema radicular entre os tratamentos adubados. Observa-se ainda que, no tratamento T5, a associação do Melaço + aminoácidos à metade da adubação recomendada pode ter contribuído para manutenção do acúmulo de matéria seca aos 90 DAP, sugerindo possível efeito complementar do bioestimulante sob condição de adubação reduzida (Tab. 3).

De modo geral, os resultados evidenciam que a adubação mineral foi o principal fator responsável pelo incremento do sistema radicular do feijoeiro, especialmente na fase inicial de desenvolvimento. A associação com bioestimulante apresentou efeito complementar quando combinada à adubação integral e potencial mitigador sob adubação reduzida, onde se o experimento fosse levado a campo, na prática o bioestimulante teria melhor desenvolvimento de raiz do que apenas com 100% adubação.

Tabela 3. Massa fresca (g) e massa seca (g) da raiz de feijoeiro aos 30 e 90 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha);

T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$). ns = não significativo; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Tratamentos	Massa fresca (g)		Massa fresca (g)		Massa seca (g)		Massa seca (g)	
	da raiz		da raiz		da raiz		da raiz	
	aos 30 DAP		aos 90 DAP		aos 30 DAP		aos 90 DAP	
T1. Testemunha (solo autoclavado)	0,71 c		1,03 b		0,31 c		0,31 b	
T2. Solo autoclavado 100% adubo	3,59 a		2,13 a		1,14 a		0,69 a	
T3. Solo autoclavado 50% adubo	1,7 b		1,43 ab		0,7 b		0,47 ab	
T4. Solo autoclavado 100% adubo + Vitacomplex	3,1 ab		1,68 ab		0,73 ab		0,52 ab	
T5. Solo autoclavado 50% adubo + Vitacomplex	1,2 bc		3,04 a		0,53 b		0,71 a	
Teste Shapiro Wilk	0,8011 ns		0,8973 ns		0,9667 ns		0,9356 ns	
Teste Bartlet	429,00 ns		41,4740 ns		171,00 ns		51,4740 ns	
Valor F	488,00 **		4,1974 **		69,00 **		2,6316 **	
Coeficiente de variação	106,02		152,08		65,50		75,77	
Coeficiente de Friedman	674,00 **		11,6719 **		648,00 **		6,7320 **	

O número de engalhamento do feijoeiro aos 30 DAP e 90 DAP e a área abaixo da curva de progresso do engalhamento (AACPE) apresentaram distribuição normal e seus dados não foram homogêneos, sendo necessário utilizar o teste de hipótese não paramétrico (Tab. 4).

O menor número de ramos (engalhamento) ocorreu no tratamento 2 [solo autoclavado com adição de 100 % da recomendação de adubo na cultura do feijoeiro] aos 30 DAP diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O maior número de ramos (engalhamento) ocorreu no tratamento T1 [solo estéril sem a aplicação de tratamentos] aos 90 DAP diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. O menor número de engalhamento aos 90 DAP ocorreu nos tratamentos T4 [solo autoclavado com 100 % da recomendação de adubação com adição da dosagem recomendada de Melaço +

aminoácidos] e T5 [solo autoclavado com 50 % da recomendação de adubação com adição da dosagem recomendada de Melaço + aminoácidos] (Tab. 4).

A testemunha T1 [solo estéril apenas] apresentou menor AACPE diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Tab. 4).

Os resultados referentes ao número de plantas emergidas demonstram variação entre os tratamentos tanto na 1ª avaliação (1º AVL) quanto na 2ª avaliação (2º AVL), evidenciando influência do manejo nutricional sobre o estabelecimento inicial da cultura (Fig. 10).

Na primeira avaliação, o tratamento T1 (testemunha) apresentou valor semelhante ao T3, T4 e T5, enquanto o T2 (100% da adubação) apresentou menor número de plantas emergidas, indicando possível efeito inicial do excesso de sais ou maior concentração de nutrientes no solo autoclavado (Fig. 10).

Na segunda avaliação, observou-se incremento geral no número de plantas emergidas em todos os tratamentos, destacando-se o T1 com maior valor absoluto. Os tratamentos T3 (50% adubo) e T2 (100% adubo) apresentaram valores intermediários, enquanto T4 e T5 mostraram desempenho ligeiramente inferior na comparação estatística, conforme indicado pelas letras distintas (Fig. 10).

De modo geral, os dados sugerem que o manejo nutricional influencia o padrão de emergência ao longo do tempo, porém não houve supressão expressiva da emergência nos tratamentos com bioestimulante. A evolução entre a 1ª e a 2ª avaliação indica que o estabelecimento do estande ocorreu progressivamente, reduzindo diferenças iniciais entre os tratamentos (Fig. 10).

Tabela 4: Médias do número de engalhamento aos 30 dias após o plantio (E 30 DAP), número de engalhamento aos 90 dias após o plantio (E 90 DAP) e área abaixo da curva de progresso do engalhamento (AACPE) dos diferentes tratamentos de adubação e Melaço + aminoácidos aplicados no solo.

Tratamentos			E 30 DAP	E 90 DAP	AACPE
T1.	Testemunha	(Solo autoclavado)	2,58 a	3,94 a	3,91 b
T2.	Solo autoclavado 100% adubo		1,89 b	3,10 b	6,80 a
T3.	Solo autoclavado 50% adubo		2,56 a	3,21 b	6,48 a

T4. Solo autoclavado 100% adubo + Melaço + aminoácidos	2,58 a	2,96 c	6,71 a
T5. Solo autoclavado 50% adubo + Melaço + aminoácidos	2,52 a	2,90 c	7,05 a
Teste Shapiro Wilk	0,9505 **	0,9331 ns	0,9760 **
Teste Bartlett	12614,0000 ns	511,3300 **	66,0030 **
Valor F	348,1380 **	11990,7100 **	1539,3810 **
Coefficiente de variação	16,90	19,33	15,06
Coefficiente de Friedman	1044,6200 **	1516,1000 **	914,7870 **

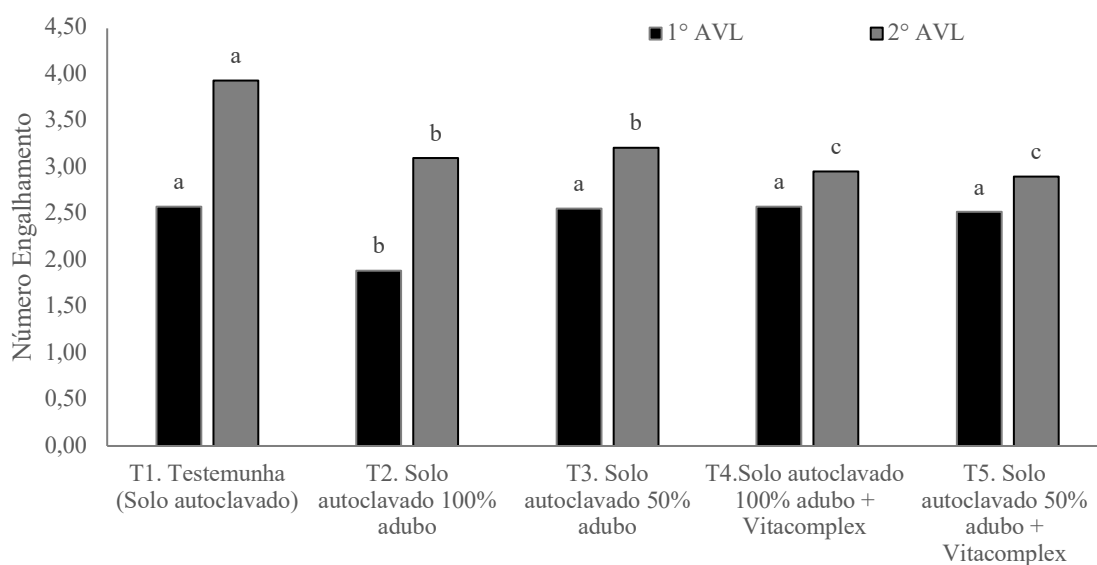


Figura 10: Número de plantas emergidas na 1ª avaliação (1º AVL) e na 2ª avaliação (2º AVL) em feijoeiro cultivado sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos dentro de cada avaliação ($p \leq 0,05$).

A menor altura das plantas de feijão aos 7 DAP foi observada no tratamento T2 [solo autoclavado com adição de 100 % da recomendação de adubação para o feijoeiro] diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

A maior altura das plantas de feijão aos 14 DAP foi observada no tratamento T1 [solo autoclavado] diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A menor altura das plantas de feijão aos 14 DAP foi observada no tratamento T4 [solo autoclavado com adição de 100 % da recomendação de adubação e dose recomendada de Melaço + aminoácidos]. A maior altura das plantas de feijão aos 21 DAP foi observada nos tratamentos T2, T3, T4 e T5. Por fim, aos 40 DAP a maior altura das plantas de feijão foi observada nos tratamentos T2 e T3, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, e a testemunha apresentou menor altura de plantas de feijoeiro (Tab. 5).

A área abaixo da curva de progresso da altura de plantas representou um resumo temporal do crescimento das plantas de feijão no experimento, e os tratamentos T2 e T3 apresentaram as maiores AACPAP de plantas de feijoeiro, diferindo estatisticamente dos demais (Tab. 5).

A altura de plantas apresentou diferenças significativas entre os tratamentos ao longo das avaliações realizadas aos 7, 14, 21 e 40 dias após o plantio (DAP), refletindo influência direta do manejo nutricional sobre o crescimento vegetativo do feijoeiro (Tab. 5).

Aos 7 DAP, os tratamentos T1 (testemunha), T3 (50% adubo), T4 (100% adubo + Melaço + aminoácidos) e T5 (50% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentaram maiores alturas médias, diferindo estatisticamente de T2 (100% adubo), que apresentou o menor valor inicial. Esse resultado sugere que, no estabelecimento inicial, o excesso de adubação pode não favorecer o crescimento imediato em solo autoclavado (Tab. 5). Estudos com plântulas em solos esterilizados mostram que a autoclavação altera fortemente a microbiota e a dinâmica de nutrientes, podendo piorar o crescimento quando combinada com fertilizante químico, em comparação ao mesmo fertilizante em solo não esterilizado (Hang *et al.*, 2022).

Aos 14 DAP, T2 passou a apresentar maior altura média, evidenciando resposta positiva da cultura à adubação completa ao longo do tempo. Já T3 e T5 mantiveram desempenho intermediário, enquanto T4 apresentou crescimento ligeiramente inferior. Aos 21 e 40 DAP, os tratamentos com 100% de adubação (T2 e T4) destacaram-se com as maiores alturas de plantas, atingindo valores superiores a 36 cm e 40 cm, respectivamente, indicando forte influência da adubação mineral na expressão do

potencial vegetativo. O tratamento T5 (50% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentou crescimento intermediário, sugerindo que o bioestimulante pode compensar parcialmente a redução da adubação mineral. A testemunha (T1) manteve os menores valores de crescimento ao longo do ciclo (Tab. 5).

Os testes estatísticos indicaram normalidade e homogeneidade de variâncias (Shapiro-Wilk e Bartlett não foram significativos na maioria das avaliações), e o teste F demonstrou diferenças significativas entre tratamentos em todas as épocas avaliadas. O coeficiente de variação foi considerado baixo a moderado, indicando boa precisão experimental (Tab. 5).

Tratamentos		Altura das plantas(cm) em diferentes dias após o				AACPPAP
		plantio(DAP)				
		7	14	21	40	
T1. Testemunha (Solo autoclavado)		2,58 a	3,94 a	9,58 b	15,66 c	15,66 c
T2. Solo autoclavado 100% adubo		1,89 b	3,10 c	11,79 a	40,59 a	40,59 a
T3. Solo autoclavado 50% adubo		2,56 a	3,21 b	12,80 a	36,51 a	36,52 a
T4. Solo autoclavado 100% adubo + Vitacomplex		2,58 a	2,96 d	13,69 a	33,65 b	33,65 b
T5. Solo autoclavado 50% adubo + Vitacomplex		2,52 a	2,90 d	11,71 a	29,69 b	29,69 b
Teste de Shapiro Wilk		0,8248 ns	0,9717 **	0,9685 **	0,9806 **	0,9868 **
Teste de Bartlet		2,0130 ns	759,1900**	557,3600 *	2,5180 **	2,5180 **
Valor F		3,4820 **	11550,7100 **	62,0620 **	2156,5510 **	2456,5500 **
Coeficiente de variação		5,85	3,81	13,16	16,19	16,19
Coeficiente de Friedman		1,0450 **	1516,967 **	384,3130 **	657,5750 **	657,5790 **

De modo geral, os resultados evidenciam que a adubação mineral a 100% da recomendação promove maior crescimento em altura, enquanto a associação com bioestimulante demonstra potencial de manutenção do desenvolvimento, mesmo com redução parcial da adubação (Tab. 5). Vários estudos confirmam que 100% da adubação mineral recomendada maximiza altura e crescimento vegetativo em comparação a doses reduzidas. Em trigo e cevada, 100 % NPK produziu maior altura e área foliar que 50 % ou 0 % de fertilizante. Em milho e batata, doses plenas de NPK ou K mineral também resultaram em plantas mais altas e maior biomassa (Azbi *et al.*, 2025).

Tabela 5: Altura de plantas (cm) de feijoeiro em quatro diferentes dias de avaliação e área abaixo da curva de progresso da altura de plantas (AACPPAP) dos diferentes tratamentos de adubação e Melaço + aminoácidos aplicados no solo.

A altura das plantas apresentou incremento progressivo ao longo das avaliações (7, 14, 21 e 40 DAP), evidenciando resposta direta ao manejo nutricional. Aos 7 DAP, não foram observadas diferenças expressivas entre tratamentos, indicando que o estabelecimento inicial foi pouco influenciado pela adubação ou pelo uso de bioestimulante (Fig. 11). Em várias espécies, a altura cresce de forma contínua ao longo das avaliações (dias após plantio/transplante), e tratamentos com melhor suprimento de nutrientes passam a se destacar à medida que a demanda nutricional aumenta (Mathlouthi *et al.*, 2022).

A partir de 14 DAP, os tratamentos com adubação mineral passaram a apresentar crescimento superior à testemunha, com destaque para T2 (100% da adubação), que manteve os maiores valores de altura nas avaliações subsequentes. Aos 21 DAP, T2 e T4 (100% adubo + Melaço + aminoácidos) mostraram desempenho estatisticamente semelhante e superior à testemunha, evidenciando que o fornecimento nutricional pleno é determinante para o crescimento vegetativo (Fig. 11). Em feijoeiro, a adubação NPK na dose recomendada aumentou o acúmulo de matéria seca, componentes de produção e produtividade em comparação à ausência ou 50% da adubação recomendada (SANTOS *et al.*, 2015). O cultivar IAC Alvorada com adubação recomendada apresentou maior número de folhas e maior área foliar que os demais tratamentos, indicando maior crescimento vegetativo em níveis elevados de adubação mineral (SANTOS *et al.*, 2015).

Aos 40 DAP, T2 apresentou a maior altura média (~40 cm), diferindo da testemunha e mantendo vantagem sobre os tratamentos com 50% da adubação. Observa-se que T5 (50% adubo + Melaço + aminoácidos) apresentou desempenho intermediário, sugerindo que o bioestimulante pode compensar parcialmente a redução da adubação mineral, embora não iguale totalmente o desempenho da adubação integral (Fig. 11). Ensaio com feijoeiro mostram que aumentar a adubação de 0 para 50% e de 50% para 100% eleva fortemente crescimento vegetativo, área foliar e acúmulo de massa seca (Santos *et al.*, 2015). Em geral, tratamentos com 100% da adubação recomendada mantêm vantagem clara sobre níveis reduzidos, sobretudo em estádios próximos a 40–60 DAE, quando a taxa de crescimento é máxima (Santos *et al.*, 2015).

Comparativamente, a ausência de adubação (T1) limitou significativamente o crescimento em todas as avaliações, confirmando que o suprimento nutricional é o principal fator modulador do desenvolvimento vegetativo do feijoeiro. O uso do bioestimulante associado à adubação integral não promoveu incremento expressivo adicional na altura final, indicando que seu efeito pode estar mais relacionado à

modulação fisiológica e radicular do que ao crescimento aéreo acumulado (Fig. 11). A omissão ou redução severa de nutrientes limita fortemente crescimento, área foliar e rendimento em feijoeiro, confirmando o papel central do suprimento nutricional (VASIVELA *et al.*, 2025).

De forma geral, os dados evidenciam que a adubação mineral em 100% da recomendação promove maior vigor vegetativo, enquanto a associação de 50% da adubação com bioestimulante representa estratégia intermediária com potencial de redução de fertilizantes (Fig. 11).

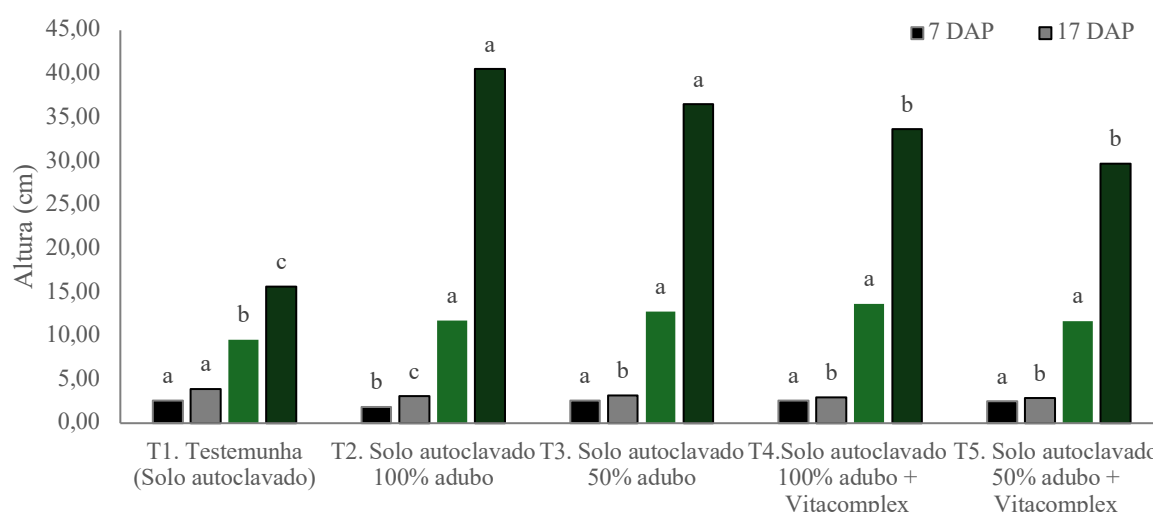


Figura 11: Altura de plantas (cm) de feijoeiro aos 7, 14, 21 e 40 dias após o plantio (DAP) sob diferentes manejos nutricionais: T1 – solo autoclavado (testemunha); T2 – solo autoclavado + 100% da adubação; T3 – solo autoclavado + 50% da adubação; T4 – solo autoclavado + 100% da adubação + Melaço + aminoácidos; T5 – solo autoclavado + 50% da adubação + Melaço + aminoácidos. Letras distintas indicam diferença significativa entre tratamentos pelo teste estatístico adotado ($p \leq 0,05$).

CONCLUSÕES

A adubação mineral a 100% da recomendação foi o principal fator determinante para o incremento de biomassa aérea e radicular do feijoeiro aos 30 e 90 DAP, evidenciando elevada dependência nutricional da cultura em solo autoclavado.

A associação de 50% da adubação mineral com bioestimulante (melaço + aminoácidos/Melaço + aminoácidos) demonstrou potencial de manutenção do desempenho radicular e da atividade enzimática do solo, indicando possibilidade de redução parcial da fertilização química.

Os tratamentos contendo bioestimulantes promoveram maior atividade de arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase, reforçando seu papel na intensificação da ciclagem de enxofre, fósforo e carbono no solo.

A integração entre fertilização mineral e estímulo biológico mostrou-se estratégia viável para conciliar produtividade agrônômica e ativação da microbiota do solo, apontando caminho promissor para sistemas produtivos mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AZBI, A. Q. A.; AL-YASARI, M. N. H. Environmental response of maize to organic fertilization and foliar silicon nutrition under different levels of mineral fertilization (NPK). *International Journal of Environmental Sciences*, v. 11, n. 1s, p. 577-589, 2025.
- BARBOSA, J. Z.; POGGERE, G. C.; CORRÊA, R. S.; HUNGRIA, M.; MENDES, I. C. Soil enzymatic activity in Brazilian biomes under native vegetation and contrasting cropping and management. *Applied Soil Ecology*, v. 190, p. 105014, 2023.
- BORSOI, A.; ROZATTI, A. L.; MANCINI, C. Características agronômicas e produtividade da soja com utilização de condicionadores de solo e bioestimulantes no sulco da semeadura. *Revista Cultivando o Saber*, p. 1-12, 2022.
- CARBONELL, S. A. M.; ITO, M. F.; AZEVEDO FILHO, J. A.; SARTORI, J. A. Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: características e melhoramento. In: CASTRO, J. L.; ITO, M. F. (coord.). *Dia de Campo de Feijão*, 19., 2003, Capão Bonito. Campinas: Instituto Agronômico, 2003. p. 5-27.
- CARBONELL, S. A. M.; POMPEU, A. S. Estabilidade fenotípica de linhagens de feijoeiro em três épocas de plantio no Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 2, p. 321-329, 2000.
- CARVALHO, J. P.; MENDES, L. F.; TORRES, M. R. Efeito da aplicação de aminoácidos no crescimento e resistência de plantas cultivadas. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 44, n. 2, p. 108-118, 2021.
- CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos – primeiro levantamento da safra 2025/2026*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/1o-levantamento-safra-2025-26/e-book_boletim-de-safras-1o-levantamento_2025.pdf. Acesso em: 6 fev. 2026.
- COSTA, R. A.; PEREIRA, J. L. Atividade microbiana e fertilidade do solo em resposta à aplicação de fontes de carbono orgânico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, p.1-10, 2020.

DAVIES, B.; COULTER, J.; PAGLIARI, P. Soil enzyme activity behavior after urea nitrogen application. *Plants*, v. 11, n. 5, p. 1–16, 2022.

DICK, R. P.; TABATABAI, M. A. Significance and potential uses of soil enzymes. In: METTING JUNIOR, F. B. (ed.). *Soil microbial ecology: applications in agricultural and environmental management*. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 95–127.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 20, n. 5, p. 601–606, 1988.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. *Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br>. Acesso em: 11 set. 2024.

FERNANDES, L. F.; LIMA, S. C.; BARBOSA, G. M. Matéria orgânica e substâncias húmicas: importância e manejo em sistemas agrícolas. *Cadernos de Agroecologia*, v. 14, n. 2, p. 1–10, 2019.

FERNANDES, M.; ANJOS, J.; SOBRAL, L.; FERNANDES, R.; ARAÚJO, A. Efeito da saturação por bases sobre a atividade de fosfatases em um solo de tabuleiro costeiro cultivado com citros. I. Correlações entre a atividade enzimática e as diferentes características do solo alteradas pela calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 3, p. 395–401, 1998.

FUTA, B.; KRASKA, P.; ANDRUSZCZAK, S.; GIERASIMIUK, P.; JAROSZUK-SIEROCIŃSKA, M. Impact of subsurface application of compound mineral fertilizer on soil enzymatic activity under reduced tillage. *Agronomy*, v. 11, n. 5, p. 1–20, 2021.

GHOSH, A.; SINGH, A.; KUMAR, R.; MANNA, M.; BHATTACHARYYA, R.; RAHMAN, M.; SHARMA, P.; RAJPUT, P.; MISRA, S. Soil enzymes and microbial elemental stoichiometry as bio-indicators of soil quality in diverse cropping systems and nutrient management practices of Indian Vertisols. *Applied Soil Ecology*, v. 145, p. 1–11, 2019.

HANG, X.; MENG, L.; OU, Y.; SHAO, C.; XIONG, W.; ZHANG, N.; LIU, H.; LI, R.; SHEN, Q.; KOWALCHUK, G. A. *Trichoderma*-amended biofertilizer stimulates soil

resident *Aspergillus* population for joint plant growth promotion. *NPJ Biofilms and Microbiomes*, v. 8, art. 17, 2022.

HOLÍK, L.; HLISNIKOVSÝ, L.; HONZÍK, R.; TRÖGL, J.; BURDOVÁ, H.; POPELKA, J. Soil microbial communities and enzyme activities after long-term application of inorganic and organic fertilizers at different depths of the soil profile. *Sustainability*, v. 11, n. 12, p. 1-15, 2019.

LIMA, E. A.; SANTOS, F. R.; MORAES, A. L. Uso de melaço como insumo biológico na agricultura sustentável. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 16, n. 3, p. 25–32, 2020.

MARTINS, D. S.; GOMES, H. R. Bioestimulantes e resistência induzida em plantas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 27, n. 1, p. 45–58, 2021.

MATHLOUTHI, F.; RUGGERI, R.; ROSSINI, F. Alternative solution to synthetic fertilizers for the starter fertilization of bread wheat under Mediterranean climatic conditions. *Agronomy*, Basel, v. 12, n. 2, 511, 2022.

MOURA, F. C.; LIMA, E. P. Aminoácidos e microbiologia do solo: interações e benefícios agrônômicos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 1, p. 40–50, 2019.

NASCIMENTO, G.; CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ÁLVARO-FUENTES, J.; LAFUENTE, V.; VILLEGAS, D. Benefits of a preceding legume crop for soil organic matter and microbial dynamics during wheat residue decomposition. *Soil Use and Management*, v. 41, n. 1, p. 1-13, 2025.

NIEWIADOMSKA, A.; SULEWSKA, H.; WOLNA-MARUWKA, A.; RATAJCZAK, K.; WARACZEWSKA, Z.; BUDKA, A. The influence of biostimulants and foliar fertilizers on yield, plant features, and the level of soil biochemical activity in white lupine (*Lupinus albus* L.) cultivation. *Agronomy*, v. 10, n. 1, p. 1-17, 2020.

OLIVEIRA, P. R.; SOUZA, M. C. Diversidade microbiana e saúde do solo: impactos de insumos orgânicos. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 16, n. 1, p. 77–85, 2022.

PEREZ, A.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 37, p. 1276–1287, 2013.

PETTER, F. A.; LEITE, L. F. C.; MACHADO, D. M.; LIMA, L. B.; PACHECO, L. P.; ARAÚJO, A. S. F. Effect of biochar on enzymatic activity in a Brazilian Oxisol. *Ciencia del Suelo*, v. 36, n. 2, p. 142–145, 2018.

PITTARELLO, M.; FERRO, D.; CHIARINI, F.; MORARI, F.; CARLETTI, P. Influence of tillage and crop rotations in organic and conventional farming systems on soil organic matter, bulk density and enzymatic activities in a short-term field experiment. *Agronomy*, Basel, v. 11, n. 4, 724, 2021.

RAMOS JUNIOR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. *Bragantia*, v. 64, n. 1, p. 75–82, 2005.

ROCABRUNA, P.; DOMENE, X.; PREECE, C.; PEÑUELAS, J. Relationship among soil biophysicochemical properties, agricultural practices and climate factors influencing soil phosphatase activity in agricultural land. *Agriculture*, v. 14, n. 2, p. 1–26, 2024.

SANTOS, L.; SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; GONSALES, J. R. Crescimento, índices fisiológicos e produtividade de cultivares de feijoeiro sob diferentes níveis de adubação. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 107–116, 2015.

SILVA, M. O.; SANTOS, M. P.; SOUSA, A. C. P.; SILVA, R. L. V.; MOURA, I. A. A.; SILVA, R. S.; COSTA, K. D. S. Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021.

SILVA, T. A.; RODRIGUES, C. F.; NOGUEIRA, M. M. Aplicação de subprodutos da cana-de-açúcar na agricultura: efeitos no solo e nas plantas. *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 29, n. 4, p. 391–402, 2021.

SOBUCKI, L. Atividade enzimática e índices de qualidade do solo: classes de interpretação em argissolo e latossolo subtropicais. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024. 186f.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. et al. (ed.). *Methods of soil analysis: Part 2 – Microbiological and biochemical properties*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 775–833.

VASILEVA, V.; DINEV, N.; HRISTOVA, M.; KATSAROVA, A. Organic and inorganic fertilization responses of common beans (*Phaseolus vulgaris*) cv. Capitano. *Legume Research – An International Journal*, v. 48, n. 8, p. 1333–1339, 2025.

WANG, S.; ZHOU, K.; MORI, T.; MO, J.; ZHANG, W. Effects of phosphorus and nitrogen fertilization on soil arylsulfatase activity and sulfur availability of two tropical plantations in southern China. *Forest Ecology and Management*, v. 453, p. 1–7, 2019.

ANEXOS

Anexo 1. Laudo de atividades enzimáticas emitido por laboratório especializado, contendo os resultados de arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase em amostras de solo submetidas aos diferentes tratamentos experimentais, utilizados para avaliar a dinâmica biológica e a ciclagem de nutrientes no sistema estudado.



ANDRIOS Assessoria e Treinamentos

CNPJ 24.680.280/0001-94

Data de emissão: 30 de janeiro de 2024

Laudo Atividades Enzimáticas

Determinação de indicadores biológicos de qualidade do solo através de atividades enzimáticas

Dados Cliente

Empresa:	AMVAC do Brasil	Código:	OS2547
Proprietário:	-	Data entrada:	08/01/2024
Propriedade:	-	Data coleta:	21/12/2023
Município:	- / -	Cultura:	-
Solicitante:	Milton Luiz da Paz Lima	Profundidade:	-

Descrições das amostras

INFORMAÇÕES

Amostras	Descrição
Amostra 01	T1
Amostra 02	T2
Amostra 03	T3
Amostra 04	T4
Amostra 05	T5

Resultados

ANÁLISES BIOLÓGICAS

Amostras	Arilsulfatase				Fosfatase ácida				Beta-glicosidase			
	$\mu\text{g PNS.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	🇧🇷	📍	🌿	$\mu\text{g PNF.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	🇧🇷	📍	🌿	$\mu\text{g PNG.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$	🇧🇷	📍	🌿
Amostra 01	37	●			203	●			21	●		
Amostra 02	37	●			215	●			25	●		
Amostra 03	25	●			167	●			31	●		
Amostra 04	23	●			146	●			20	●		
Amostra 05	34	●			196	●			24	●		

Legenda: 🇧🇷 dados do Brasil, 📍 dados do estado, 🌿 dados da cultura; ● baixo, ● médio, ● alto

Metodologia: Tabatabai, M. A. Soil enzymes. In: R. W. Weaver et al. (ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, p. 778-833, 1994.

Observação: os resultados referem-se exclusivamente à análise em amostras entregues a Andrios Assessoria, e os resultados aqui apresentados são baseados unicamente nos dados obtidos.



Clique aqui e acesse o banco de dados da Andrios:



Anexo 2. Laudo de análise química de solo emitido por laboratório credenciado, contendo os resultados de fertilidade (pH, macro e micronutrientes, CTC, saturação por bases, matéria orgânica e textura), utilizados para caracterização físico-química do solo e interpretação agrônoma dos tratamentos avaliados no experimento.



Laboratório de Solos Conceito Agrônomo
Rua José Matias da Silveira, nº 240 - Nossa Senhora de Fátima - Catalão-GO
Fone: (64) 3411-1743 - e-mail: labsolos@conceitoagronomico.com.br

Laudo de Análise de Solo

Cliente:	POLIANA	Data:	18/08/2023
Propriedade:	FAZENDA	Matrícula:	
Município:	Ipameri - GO	Convênio:	PLANTA FORTE

Resultado de Análise Química

Cód. Lab.	Amostra	Profundidade	Área	pH (CaCl ₂)	g/dm ³ M.O.	CTC	Ca+Mg	Ca	Mg	cmolc/dm ³ (mca/100mL)	Al	H+Al	K	mg/dm ³ (ppm)	P (ppm)	S
15680	AMOSTRA 01	0-20 CM	TALHÃO EXPTO	5,1	14	2,17	1,4	0,77	0,0	2,94	0,69			270	0,7	13,2

Dados complementares

Cód. Lab.	Amostra	Profundidade	Área	SB	CTC	Sat. Al (m)	Sat. Bases (V)	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	H+Al/CTC
				cmolc/dm ³		%		Relações					%	
15680	AMOSTRA 01	0-20 CM	TALHÃO EXPTO	2,69	5,80	0,0	49,3	1,62	2,02	1,11	24,14	19,28	11,94	50,69

Micronutrientes

Cód. Lab.	Amostra	Profundidade	Área	Cu	Fe	Mn	Zn	B
				mg/dm ³				
15680	AMOSTRA 01	0-20 CM	TALHÃO EXPTO	0,20	23,0	19,0	3,00	0,20

Análise textural

Cód. Lab.	Amostra	Profundidade	Área	Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia	Classificação
				g/kg			%			
15680	AMOSTRA 01	0-20 CM	TALHÃO EXPTO	101,0	114,0	185,0	40,1	11,4	48,5	Argilosa

OBS: Consulte F-10, Agrônomo para recomendação de calagem e adubação.
A amostragem do solo não é de responsabilidade do laboratório.
Esse laudo não tem fins jurídicos.
Antes de enviar, confira todas as amostras serão descartadas.
Não enviar fezes, quaisquer alterações no nome do proprietário,
de propriedade e município, posterior ao envio com seus dados.




BRUNO CESAR DE MELO PASCHOAL
Responsável Técnico - Engenheiro Agrônomo
CREA: 13705 D-GO

Interpretação:

Com base na análise de solo antes da implantação do experimento o pH (CaCl₂) no valor de 5,1 é levemente ácido. Valores ideais variam dependendo da cultura, mas geralmente um pH entre 5,5 e 6,5 é considerado bom para a maioria das culturas.

A matéria Orgânica (M.O) obtida foi no valor de 2,17 g/dm³ apresentou um nível baixo. Solos com boa fertilidade geralmente apresentam valores de matéria orgânica superiores a 3,0 g/dm³.

O macronutriente Cálcio (Ca) apresentou 1,4 cmolc/dm³, que representa um nível adequado. Solos férteis geralmente têm valores acima de 1,0 cmolc/dm³. O macronutriente Magnésio (Mg) apresentou o valor de 0,77 cmolc/dm³, que representa um nível adequado, mas poderia ser melhor. Idealmente acima de 1,0 cmolc/dm³. O macronutriente Potássio (K) apresentou o valor de 270 mg/dm³ o que representou um nível elevado. Valores entre 150 e 250 mg/dm³ são considerados bons para a maioria das culturas.

O H+Al apresentou um valor de 2,94 cmolc/dm³ o que refletiu a acidez potencial do solo. Nível elevado indica necessidade de calagem.

O micronutriente Zinco (Zn) apresentou o valor de 23,0 mg/dm³ o que representou o nível elevado. Valores entre 1,5 e 5,0 mg/dm³ são geralmente adequados. O micronutriente Cobre (Cu) apresentou o valor de 19,0 mg/dm³ o que representou um nível elevado. Valores entre 0,2 e 1,0 mg/dm³ são considerados bons. O micronutriente Ferro (Fe) apresentou o valor de 3,0 mg/dm³ o que representou um nível adequado. Valores entre 2,5 e 4,5 mg/dm³ são ideais. O micronutriente Manganês (Mn) apresentou o valor de 0,20 mg/dm³, o que representou um nível baixo. Valores adequados são geralmente acima de 1,0 mg/dm³. O micronutriente Boro (B) apresentou um valor de 0,20 mg/dm³, o que representou um nível baixo. Valores ideais estão entre 0,5 e 1,0 mg/dm³.

A proporção de cátions básicos trocáveis ou Saturação de Bases (V) foi de 49,3 % o que representou uma porcentagem moderada. Idealmente, a saturação de bases deve estar acima de 50% para solos de boa fertilidade.

A capacidade de troca de cátions de um solo de argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável apresentou o valor de 5,80 cmolc/dm³, o que representou uma quantidade moderada. Solos muito férteis geralmente têm CTC acima de 10 cmolc/dm³.

A razão Ca/Mg foi o valor de 1,82 o que representou uma quantidade equilibrada. A relação ideal geralmente é entre 2:1 e 4:1. A razão Ca/K apresentou um valor de 2,02, o que representa um valor baixa. Relações entre 10:1 e 20:1 são geralmente mais desejáveis. A razão Mg/K apresentou o valor de 1,11, o que representou um valor alto. Relações ideais variam entre 3:1 e 5:1.

A textura do solo apresentou teores de argila no valor de 401 g/kg, silte no valor de 114 g/kg e areia: 485 g/kg, esses teores permitem classificar o solo como argiloso, o que pode influenciar a retenção de água e a disponibilidade de nutrientes.

Em resumo o solo apresentou níveis elevados Potássio, Zinco e Cobre, níveis baixos de matéria orgânica, manganês e Boro.

Havendo a necessidade ser necessário ajuste no pH (calagem) e adição de matéria orgânica e micronutrientes deficientes (especialmente Manganês e Boro).

Anexo 3. Quantificação dos teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co e Mo), além de Al e Na, em amostras de solo submetidas aos diferentes tratamentos experimentais (T1 a T5), expressos em unidades adequadas, evidenciando a caracterização nutricional e a disponibilidade de elementos essenciais para o desenvolvimento do feijoeiro.

Tabela 1. Quantificação de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Mo, Ni, Na e Al em amostras de solo.

Amostras	N	P	K	Ca	Mg	S	Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Mo	Ni	Na
	g.kg ⁻¹							mg.kg ⁻¹								
T1	3,9	0,2	3,3	1,2	0,6	8,4	21,87	<LQ	15,52	24380,8	216,24	21,83	<LQ	<LQ	<LQ	591,35
T2	4,2	0,5	2,8	1,3	0,4	9,1	20,89	<LQ	13,98	23859,0	157,93	16,77	<LQ	<LQ	<LQ	477,03
T3	3,3	0,2	3,0	0,8	0,5	7,9	19,86	<LQ	15,17	25488,1	165,12	16,93	<LQ	<LQ	<LQ	549,57
T4	1,9	0,3	3,1	1,2	0,5	6,0	18,64	<LQ	15,19	24693,6	165,76	15,38	<LQ	<LQ	<LQ	519,23
T5	2,8	0,2	3,1	0,8	0,5	8,0	20,89	<LQ	15,83	27398,6	173,92	16,40	<LQ	<LQ	<LQ	522,04

LQ: limite de quantificação. Menor quantidade do analito de interesse em uma amostra que pode ser quantitativamente determinado com valores aceitáveis de precisão e exatidão. Elementos indicados com "< LQ" indicam baixa quantidade na amostra, não sendo possível sua quantificação de maneira representativa e precisa.

OBS: Os resultados referem-se exclusivamente à análise em amostras entregues a Andrios Assessoria e as conclusões aqui apresentadas são baseadas unicamente nos dados obtidos.

Interpretação dos resultados:

Os resultados da análise de solo depois da implementação dos tratamentos indicaram em relação ao macronutriente Nitrogênio (N) apresentou o nível mais elevado no tratamento T2 (4,2 g/kg) e o nível mais baixo o tratamento T4 (1,9 g/kg). A maioria das amostras está com níveis de N relativamente baixos para altos, sendo T2 a amostra com maior concentração.

O macronutriente Fósforo (P) apresentou o nível mais elevado o tratamento T2 (0,5 g/kg), o nível mais baixo os valores dos tratamentos T1, T3 e T5 (0,2 g/kg cada). Todos os valores de fósforo foram relativamente baixos, sendo T2 a amostra com maior concentração.

O macronutriente Potássio (K) apresentou o nível mais elevado no tratamento T1 (3,3 g/kg) e o nível mais baixo o tratamento T2 (2,8 g/kg). Os níveis de potássio variaram de moderados a altos, com T1 apresentando a maior concentração.

O macronutriente Cálcio (Ca) apresentou o nível mais elevado no tratamento T2 (1,3 g/kg) e o nível mais baixo os tratamentos T3 e T5 (0,8 g/kg cada). O cálcio ao final do experimento apresentou os níveis moderados nas amostras.

O macronutriente Magnésio (Mg) apresentou o nível mais elevado para o tratamento T1 (0,6 g/kg) e o nível mais baixo o tratamento T2 (0,4 g/kg). O magnésio nos tratamentos apresentou níveis baixos a moderados.

O macronutriente Enxofre (S) apresentou o nível mais elevado o tratamento T2 (9,1 g/kg) e o nível mais baixo para o tratamento T4 (6,0 g/kg). Os níveis de enxofre nos tratamentos variam de moderados a altos.

O micronutriente Boro (B) em todos os tratamentos estiveram abaixo do limite de quantificação (<LQ), indicando níveis classificados como muito baixos.

O micronutriente Cobre (Cu) apresentou o nível mais elevado para o tratamento T1 (15,52 mg/kg) e o nível mais baixo o tratamento T2 (13,98 mg/kg). Os níveis de cobre nos tratamentos foram relativamente altos em todas as amostras.

O micronutriente Ferro (Fe) apresentou o nível mais elevado no tratamento T5 (27398,6 mg/kg) e o nível mais baixo no tratamento T2 (23859,0 mg/kg). Nos tratamentos os níveis de ferro foram extremamente altos em todas as amostras.

O micronutriente Manganês (Mn) apresentou o nível mais elevado no tratamento T1 (216,24 mg/kg) e o nível mais baixo o valor de T4 (165,76 mg/kg). Os níveis de manganês nos tratamentos foram elevados em todas as amostras.

O micronutriente Zinco (Zn) apresentou o nível mais elevado no tratamento T1 (21,83 mg/kg) e o nível mais baixo no tratamento T4 (15,38 mg/kg). Os níveis de zinco nos tratamentos foram relativamente altos em todas as amostras.

Os outros micronutrientes (Co, Mo, Ni) apresentaram nos tratamentos valores abaixo do limite de quantificação (<LQ), indicando níveis muito baixos.

O micronutriente Sódio (Na) apresentou o nível mais elevado no tratamento T1 (591,35 mg/kg) e nível mais baixo no tratamento T2 (477,03 mg/kg). Os níveis de sódio nos tratamentos foram elevados, o que permite inferir problemas de salinidade em algumas áreas.

O Alumínio (Al) apresentou o nível mais elevado no tratamento T1 (21,87 g/kg) e o nível mais baixo no tratamento T4 (18,64 g/kg). Os níveis de alumínio nos tratamentos foram muito altos, o que pode ser prejudicial para muitas culturas.

Em resumo, os solos após a aplicação dos tratamentos apresentaram níveis elevados de Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Alumínio (Al) e Enxofre (S). E apresentaram níveis baixos os elementos de Fósforo (P), Boro (B), Cobalto (Co), Molibdênio (Mo) e Níquel (Ni). É essencial considerar a correção dos níveis baixos de fósforo, boro, cobalto, molibdênio e níquel, além de monitorar e possivelmente corrigir os altos níveis de alumínio e sódio.