

EFEITOS DA INOCULAÇÃO DE INSUMO BIOLÓGICO COMPOSTO POR *Bacillus subtilis* E *Bacillus megaterium* NA CULTURA DO FEIJÃO

EFFECTS OF INOCULATION OF BIOLOGICAL INPUTS COMPOSED BY *Bacillus subtilis* AND *Bacillus megaterium* IN BEAN CROPPING

Carla Fernanda dos Santos¹, Rosa Emília Squizani Lucas¹, André Luiz Oliveira de Francisco²

¹ Alunas do Curso de Engenharia Agrônômica

² Professor Doutor do Curso de Engenharia Agrônômica

Resumo

Neste estudo realizado na Fazenda Escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE) durante a safra 2022/2023, investigou-se o impacto das doses de nitrogênio associadas à presença do *Bacillus subtilis* no cultivo do feijão preto BRS Esteio. O objetivo foi compreender a interação entre esses elementos e seu efeito no crescimento e produtividade da cultura. O experimento, delineado em parcelas subdivididas, aplicou diferentes doses de nitrogênio (0%, 50%, 100%, 150% e 200%) com ou sem inoculação de *Bacillus subtilis*, totalizando 40 parcelas. As análises estatísticas por ANOVA, regressão linear e teste de Tukey revelaram que doses crescentes de nitrogênio influenciaram a altura das plantas, número de folhas e vagens, com efeitos adversos em doses excessivas. Por outro lado, a inoculação moderada de *Bacillus subtilis* demonstrou uma correlação positiva com a produtividade. A combinação balanceada entre doses de nitrogênio e *Bacillus subtilis* apresentou-se como uma estratégia promissora para otimizar o cultivo do feijão preto, ressaltando a importância crucial de doses adequadas de nitrogênio para evitar impactos negativos no desenvolvimento das plantas. Esses resultados destacam a relevância da interação entre insumos químicos e biológicos para melhorar a produtividade agrícola, contribuindo para práticas mais sustentáveis na agricultura.

Palavras-Chave: produtividade; nitrogênio; insumo químico, insumo biológico.

Abstract

In this study conducted at the School Farm of the Campos Gerais Higher Education Center (CESCAGE) during the 2022/2023 harvest, the impact of nitrogen doses associated with *Bacillus subtilis* presence on the cultivation of BRS Esteio black beans was investigated. The aim was to understand the interaction between these elements and their effect on crop growth and productivity. The experiment, structured in subdivided plots, applied different nitrogen doses (0%, 50%, 100%, 150%, and 200%) with or without *Bacillus subtilis* inoculation, totaling 40 plots. Statistical analyses by ANOVA, linear regression, and Tukey's test revealed that increasing nitrogen doses influenced plant height, number of leaves, and pods, with adverse effects at excessive doses. Conversely, moderate *Bacillus subtilis* inoculation showed a positive correlation with productivity. The balanced combination of nitrogen doses and *Bacillus subtilis* emerged as a promising strategy to optimize black bean cultivation, emphasizing the crucial importance of adequate nitrogen doses to avoid negative impacts on plant development. These findings underscore the relevance of interaction between chemical and biological inputs to enhance agricultural productivity, contributing to more sustainable agricultural practices.

Keywords: productivity; nitrogen; chemical input; biological input

Contato: nandasantoscarla@gmail.com e rosa11squizani@hotmail.com

Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma fabácea de estação quente amplamente difundida na dieta cotidiana da população brasileira. Juntamente com o arroz, constitui a base fundamental da alimentação, oferecendo uma considerável contribuição em proteínas, variando de 19% a 37% em sua composição nutricional nas cultivares brasileiras. O Brasil não apenas figura como o principal consumidor desse grão, mas também se destaca como o principal produtor mundial. O estado do Paraná figura proeminente nesse cenário de produção, destacando-se, sobretudo, na produção do tipo preto. As características distintivas deste tipo de feijão incluem qualidade dos grãos, resistência a enfermidades e potencial produtivo, constituindo-se como um foco relevante tanto para a agricultura familiar quanto para a empresarial, abrangendo, inclusive, a esfera de exportação (EMBRAPA, 2019).

No contexto da nutrição mineral da cultura, a escassez de nutrientes nos solos brasileiros

compromete as quantidades exportadas no momento da colheita, desta forma exigindo práticas de adubação corretiva e de manutenção para otimizar a produtividade. O nitrogênio, um macronutriente vital para o feijão, desempenha funções fundamentais na fisiologia vegetal, integrando a estrutura da clorofila para a fotossíntese, compondo aminoácidos essenciais e influenciando diretamente o teor proteico dos grãos, além de promover o crescimento vegetativo. No entanto, fatores ambientais, perdas por volatilização, baixa eficiência dos adubos nitrogenados e a capacidade limitada de absorção pelas plantas constituem desafios significativos para sua disponibilidade e aproveitamento pleno (BARBOSA FILHO, 2002).

Os fertilizantes utilizados para suprir as necessidades nutricionais das plantas representam uma parcela considerável do custo de produção agrícola. Nesse sentido, estratégias que visam reduzir tais custos têm importância significativa para a sustentabilidade do sistema agrícola. No

contexto paranaense, a utilização de inoculantes contendo bactérias benéficas, com sua ação biológica disponibilizam nutrientes as plantas, principalmente nitrogênio, tem se consolidado. A seleção criteriosa desses produtos demanda um conhecimento aprofundado de suas características para a definição técnica e econômica mais adequada (PAULETTI, 2019).

Bactérias benéficas que desempenham funções primordiais na nutrição das plantas são predominantes na rizosfera, podendo coexistir na superfície do solo ou associadas às raízes (SOUZA JÚNIOR, 2011). Esses microrganismos têm a capacidade de facilitar a absorção e síntese de diversos nutrientes, potencializando o crescimento das plantas de maneira direta ou indireta. Entre essas bactérias, os *Bacillus* sp. ocupam uma posição proeminente nos processos do solo, atuando significativamente na rizosfera (MATTOS, 2015).

A associação desses microrganismos benéficos, como o *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, com sementes de feijão possibilita acelerar o estabelecimento da cultura devido aos benefícios proporcionados por esses microrganismos. Pesquisas realizadas por NUNES (2019) evidenciaram que a aplicação de *Bacillus subtilis* resultou em aumentos significativos no número de vagens e grãos por planta, com a dose ótima variando para a espécie *Phaseolus vulgaris*, fixando-se em 400ml/50 kg⁻¹ de sementes, independentemente do tempo de tratamento antes da semeadura (ROCHA, 2019).

Conforme apontado por BARBOSA FILHO, FERRO & PINHO (2010), o sucesso do *Bacillus subtilis* na promoção do crescimento vegetal está intrinsecamente relacionado às suas características biológicas, facilitando a viabilidade em bioformulados. IBANHES NETO & FERNANDES (2021) corroboram esse cenário, destacando que a inoculação dessa bactéria no feijão resulta em incrementos significativos em variáveis de produtividade.

Assim, o *Bacillus subtilis*, possivelmente é capaz de sintetizar nitrogênio para a planta e proporcionar outros benefícios, como promoção de crescimento e auxílio na aquisição de fósforo, tende a reduzir a dependência de nitrogênio químico na cultura, melhorando os índices produtivos e reduzindo custos. No entanto, é crucial adquirir mais conhecimento por meio de dados e pesquisas para compreender a presença e o comportamento produtivo dessa bactéria no sistema de produção de feijão. Esse conhecimento aprofundado pode proporcionar uma utilização mais eficiente, reduzindo a aplicação de nitrogênio de forma adequada e maximizando os benefícios em diferentes ambientes de cultivo.

A compreensão aprimorada do uso do *Bacillus subtilis* no cultivo do feijão pode resultar em grãos de melhor qualidade, maior produtividade e redução de custos com insumos químicos. Assim, este estudo objetivou avaliar as respostas da cultura do feijão a diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação da bactéria *Bacillus subtilis*.

Material e Métodos

Área de estudo

O experimento foi conduzido na quadra 20 da Fazenda Escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE), localizada em Ponta Grossa, Paraná, Brasil. As coordenadas geográficas do centro da parcela foram registradas em 25° 10' 44,22"S de latitude e 50° 06'46,61"O de longitude, com uma altitude de 822 metros acima do nível do mar.

O clima na região é classificado como Cfb, subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen (IAPAR, 2019). Durante o período do experimento, as temperaturas variaram de 8°C a 27°C, e a precipitação totalizou 912 mm, entre 26 de novembro de 2022 e 11 de março de 2023 (Figuras 1 e 2).

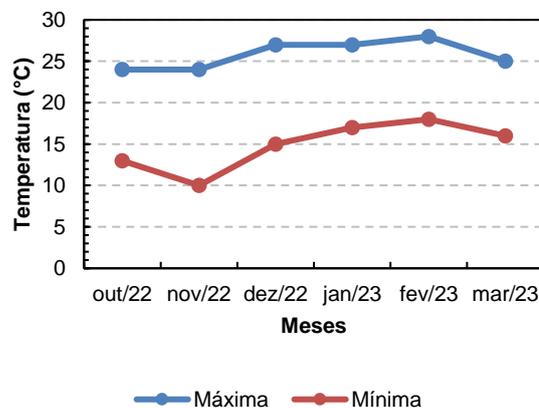


Figura 1 – Variação de temperaturas, representando valor de máximas e mínimas, no período de novembro de 2022 a março de 2023, no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, safra 2022/2023.

Fonte: IDR-PR (2023)

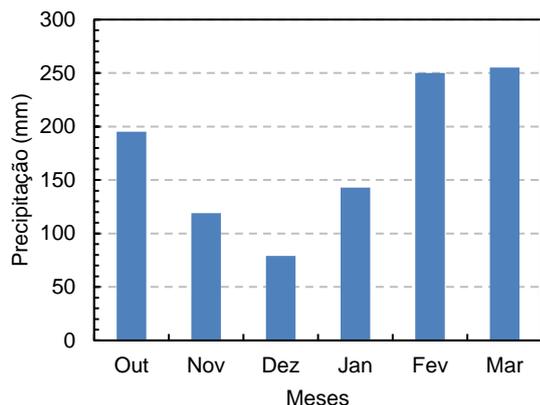


Figura 2 – Índices de precipitação pluviométricos, referentes ao período que o experimento ficou a campo, de 26 de novembro de 2022 a 11 de março de 2023, no município de Ponta Grossa – PR, safra 2022/2023.

Fonte: IDR-PR (2023)

Características do solo e cultivar utilizada

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico e a Tabela 1 apresenta a análise química do solo coletado. A safra 2022/2023 foi estabelecida com a cultivar BRS Esteio de Feijão Preto, semeada entre setembro e novembro, período correspondente à estação das secas na região dos Campos Gerais.

Tabela 1 – Análise química do solo coletado de 0 a 0,20 m, na Fazenda Escola do Cescage, município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, ano de 2022.

pH	M O	P Mel*	K ⁺	Ca 2+	Mg 2+	Al 3+	H++Al 3+	S B	CTC _p H _{7,0}
	g/d	Mg/d						cmol _c dm ⁻³	
	m ⁻³	m ³							
5,4	38	2,6	0,3 6	4, 7	2, 41	0	4,96	7, 5	12,5

*Mel = mehlich

Fonte: Análise de solo (2022).

O experimento foi realizado com feijão preto, cultivar BRS ESTEIO, sendo semeado na safra das secas, período de setembro a novembro para a região dos Campos Gerais.

Descrição do experimento

O estudo investigou os efeitos de doses de nitrogênio em combinação com a presença ou ausência do *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*. As doses de nitrogênio foram determinadas com base na análise de solo e variaram em 0%, 50%, 100%, 150% e 200% da dose recomendada no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI, MOTTA. 2019).

A inoculação com *Bacillus subtilis* foi realizada utilizando o produto comercial Bioma – BiomaPhos, que contém as cepas BRM 2084 (*Bacillus subtilis*) e BRM 119 (*Bacillus megaterium*), com concentração de 4×10^9 UFC/mL (células viáveis). A aplicação do inoculante ocorreu após o tratamento químico das sementes, utilizando 100 ml do produto para cada 60.000 sementes.

O experimento foi conduzido em condições naturais, sem irrigação, aproveitando o ciclo normal da cultivar selecionada, que tem aproximadamente 90 dias de crescimento determinado. Esta cultivar apresenta resistência a doenças como antracnose e ferrugem, destacando-se pelo alto potencial produtivo e pela adaptação à colheita mecanizada direta (EMBRAPA, 2015).

Procedimentos iniciais

O tratamento das sementes foi realizado alguns dias antes do plantio, utilizando TIAMETOXAM e FLUDIOXONIL. A semeadura ocorreu mecanicamente em 26 de novembro de 2022, garantindo uma densidade de semeadura de 15,9 sementes por metro linear. Paralelamente à semeadura, foi realizada a adubação de base, aplicando 363 kg há⁻¹ da formulação NPK 02-20-18.

Durante todo o processo, acompanhamos a taxa de germinação, não identificando falhas nos procedimentos iniciais.

Manejo fitossanitário

Para o controle de plantas daninhas após a emergência, foram utilizados CLETODIM, BENTAZONA e FOMESAFEM. Uma dose inicial de inseticida, contendo TIAMETOXAM+LAMBDA-CIALOTRINA, foi aplicada. Posteriormente, foram realizadas três aplicações para controle de doenças fúngicas e insetos, com diferentes princípios ativos, de acordo com os protocolos registrados para a cultura do feijão.

Procedimento experimental

O experimento seguiu um delineamento em esquema fatorial em parcelas subdivididas. O tratamento principal foi a presença ou ausência do insumo biológico, enquanto as subparcelas receberam cinco diferentes doses de nitrogênio (Tabela 2). Cada tratamento foi replicado quatro vezes, totalizando 40 parcelas cultivadas.

Tabela 2 – Tratamento com aplicação de diferentes doses de nitrogênio.

Tratamento	Doses de nitrogênio (%)	Doses de nitrogênio (kg/20m ²)	Doses de nitrogênio (kg/ha)
T1	0%	0	0
T2	50%	0,080	40
T3	100%	0,160	80
T4	150%	0,240	120
T5	200%	0,320	160

Fonte: As autoras.

Assim, estabeleceu-se 10 tratamentos, cada qual com 4 repetições (5 x 2 x 4), sendo que o experimento teve 8 blocos (sem e com *B. subtilis* e *B. megaterium*) e 40 subamostras (doses), como demonstrado na Figura 3.

T5/S.I.	T4/S.I.	T2/S.I.	T3/S.I.	T1/S.I.
T2/C.I.	T5/C.I.	T1/C.I.	T4/C.I.	T3/C.I.

T5/C.I.	T3/C.I.	T2/C.I.	T1/C.I.	T4/C.I.
T1/S.I.	T4/S.I.	T3/S.I.	T5/S.I.	T2/S.I.

T5/C.I.	T1/C.I.	T4/C.I.	T2/C.I.	T3/C.I.
T3/S.I.	T5/S.I.	T2/S.I.	T1/S.I.	T4/S.I.

T2/C.I.	T4/C.I.	T1/C.I.	T3/C.I.	T5/C.I.
T3/S.I.	T5/S.I.	T2/S.I.	T4/S.I.	T1/S.I.

Figura 3 – Croqui da área experimental com a distribuição das parcelas e blocos implantados na Fazenda Escola do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais, em Ponta Grossa – PR. Onde: T1 – Dose de nitrogênio 0%, T2 – Dose de nitrogênio 50%, T3 – Dose de nitrogênio 100%, T4 – Dose de nitrogênio 150%, T5 – Dose de nitrogênio 200%; S.I – Diferentes doses de nitrogênio, sem inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*; e C.I. – diferentes doses de nitrogênio, com inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.
Fonte: As autoras.

Em campo, para delimitar fisicamente as parcelas, foram utilizadas estacas de madeira nas extremidades de todas elas, de forma a identificar facilmente qual era o tratamento (Figura 4).



Figura 4 - Parcelas delimitadas em campo.
Fonte: as autoras.

A aplicação das diferentes doses de nitrogênio (Figura 5) foi realizada 25 dias após a implantação do experimento, dimensionadas com o auxílio de uma balança e sacos plásticos, para obtenção do nitrogênio foi utilizado Ureia 46%, e seguindo o croqui pré-estabelecido o N foi aplicado a lanço nas devidas parcelas.



Figura 5 - Diferentes doses de nitrogênio devidamente separadas e acondicionadas, a serem aplicadas nas parcelas.
Fonte: as autoras.

Variáveis estudadas

Foram estudadas as variáveis altura, número de folhas por planta, número de vagens por planta, e produtividade.

Cada parcela mede 5 x 4 m (20 m²), compondo uma área útil de 4 x 3 m onde foram realizadas as coletas e medições das variáveis altura, número de folhas por planta e número de vagens por planta. Para a coleta dos dados de produtividade, foi colhida uma área de 1 x 2 m em cada parcela.

Antes da dessecação da cultura, foi avaliado o desenvolvimento vegetativo, analisando seis plantas por parcela, considerando o número de folhas e altura das plantas. Antes da colheita, foi medido o índice produtivo, número de vagens por planta, obtido a partir da contagem do número de vagens de quatro plantas aleatórias dentro da

parcela, porém, fora da área central de 1 x 2 m da parcela.

Para a determinação da produtividade, após a colheita, o material foi exposto ao sol, até chegar em 14% de umidade, que é o padrão requerido para o feijão, a umidade dos grãos foi avaliada através de um medidor de umidade. Em seguida, foi realizado a malha de forma manual com o auxílio de uma haste. As amostras armazenadas em sacos plásticos foram pesadas utilizando uma balança calibrada, posteriormente calculando a produtividade com base na área colhida de 2 m² por parcela (Figura 6).



Figura 6 - Pesagem das amostras com balança. Fonte: as autoras.

Análise estatística e tratamento dos dados

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo programa estatístico AGROSTAT. Quando houve diferença significativa (5%), aplicou-se a análise de regressão linear para dados quantitativos (doses) e o teste de Tukey para dados qualitativos (com e sem inoculação), visando verificar a interação entre eles.

Resultados

Altura

Os resultados obtidos a partir da análise da altura de plantas se encontra na Figura 7.

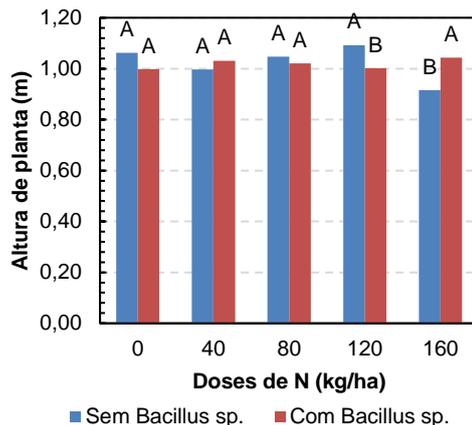


Figura 7 - Altura das plantas de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *Bacillus subtilis*.

Como pode-se observar na Figura 7, a partir do teste de médias utilizando o método de Tukey, ocorreu interação significativa apenas nas doses acima da dose recomendada de N, foram elas, nas doses de 150% e 200% de N, sendo que na dose de 150% o melhor resultado da altura de plantas atingida foi sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*, enquanto na dose de 200% a maior altura atingida foi com a inoculação do insumo biológico, contudo, de forma geral não se pode observar uma diferença significativa comparando as doses de N aplicadas, porém na Figura 8, a seguir, pode-se observar uma melhor resposta dos tratamentos realizados.

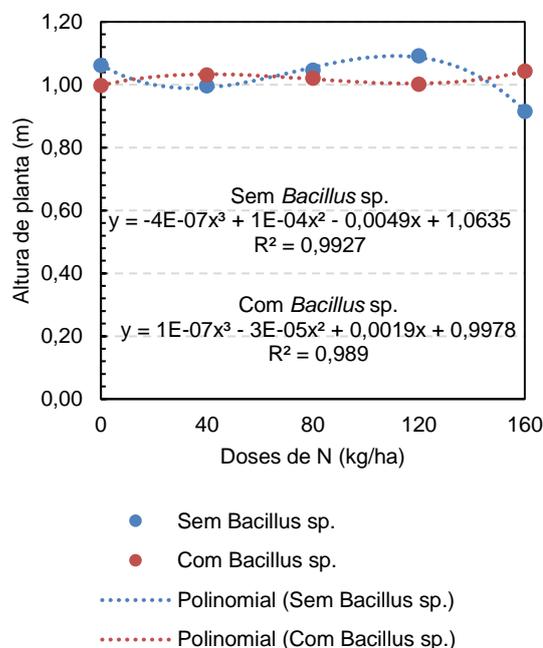


Figura 8 - Análise de Regressão Polinomial sobre a altura das plantas de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na figura acima pode-se notar na linha de tendência sem a inoculação do *B. subtilis* e *B. megaterium*, com uma equação de ordem 3, o

$R^2=0,9927$ de precisão, um crescimento na altura das plantas com as doses variando de 40 a 120 kg/ha, esse crescimento foi proporcional ao aumento da dose de N, porém a partir dos 120 kg/ha de N, houve um decréscimo na altura das plantas. Já na linha de tendência que representa os tratamentos com adição do bacilo, com a equação também de ordem 3, e o $R^2=0,989$ de precisão, pode se notar um resultado mais homogêneo, com um possível aumento na altura das plantas apenas nas doses acima de 160 kg/ha de N.

Número de folhas

Para a variável número de folhas por planta foram obtidos os seguintes resultados, conforme a Figura 9.

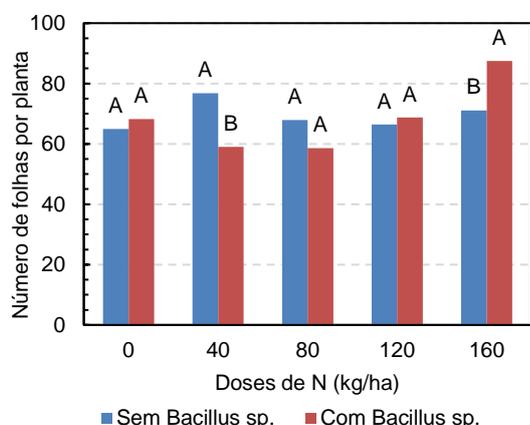


Figura 9 – Número de folhas por planta de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Conforme a figura acima, pode-se observar a tendência de crescimento de número de folhas por planta conforme aumenta também as doses de N aplicadas, com a presença do inoculante, estatisticamente, mesmo com o crescimento do número de folhas por planta aumentar de acordo com o aumento da aplicação de N, apenas na dose de 160 kg/ha de N a diferença foi significativa, a favor da inoculação do bacilo, segundo o teste de Tukey.

O mesmo pode-se observar na linha de tendência da Figura 10.

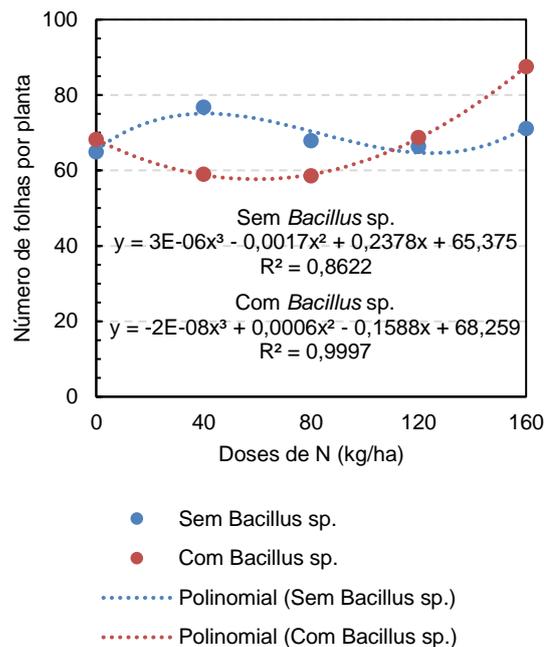


Figura 12 - Análise de Regressão Polinomial sobre o número de folhas por planta de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na figura acima pode-se notar na linha de tendência com a inoculação do *B. subtilis* e *B. megaterium*, a equação de ordem 3, com $R^2=0,9997$ de precisão, uma linha crescente conforme o aumento na dose de N, com a melhor dose próxima a 160 kg/ha, esse crescimento foi proporcional ao aumento da dose de N. Já na linha de tendência representada pelo tratamento sem *Bacillus* sp., pode-se observar a melhor dose para o número de folhas por planta próxima a 40 kg/ha de N, seguido de uma baixa nas doses acima de 100 kg/há.

Número de vagens

Os resultados obtidos a partir da análise do número de vagens por plantas se encontra na Figura 11.

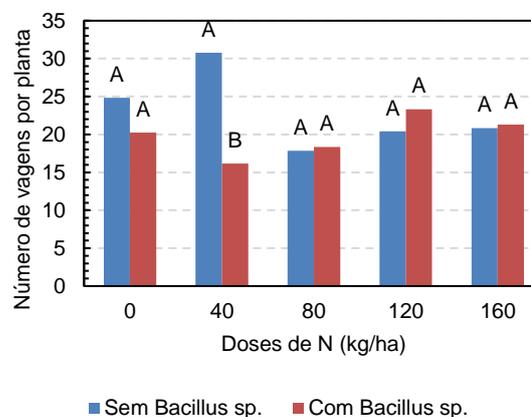


Figura 11 – Número de vagens por planta de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Como pode-se observar na Figura 11, a partir do teste de médias utilizando o método de Tukey, ocorreu interação significativa apenas na dose abaixo da dose recomendada de N, sendo ela a dose de 50% da dose recomendada de N, sendo que neste caso, o melhor resultado do número de vagens por planta atingida foi sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*, enquanto na dose de 150% a maior produção de vagens foi atingida com a inoculação do insumo biológico. Na Figura 12, a seguir, pode-se observar uma melhor resposta dos tratamentos realizados.

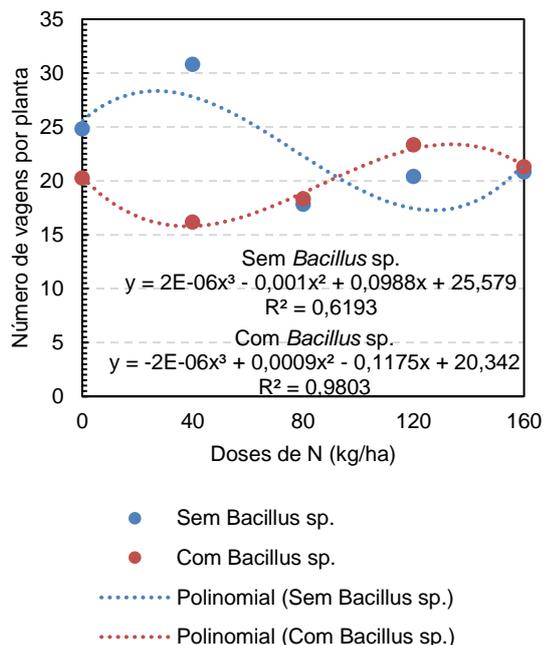


Figura 12 - Análise de Regressão Polinomial sobre o número de vagens por planta de feijão, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na figura acima pode-se notar na linha de tendência com a inoculação do *B. subtilis* e *B. megaterium*, a equação de ordem 3, com $R^2=0,9803$ de precisão, uma linha crescente a partir da dose de 50%, conforme o aumento na dose de N, com a melhor dose próxima a 120 kg/há de N, esse crescimento foi proporcional ao aumento da dose de N, e o contrário acontece na linha de tendência sem a inoculação do *B. subtilis* e *B. megaterium*, apresentando sua melhor dose próxima de 40 kg/há de N, com $R^2=0,6193$.

Produtividade

Os resultados de produtividade em kg/ha se encontram na Figura 13.

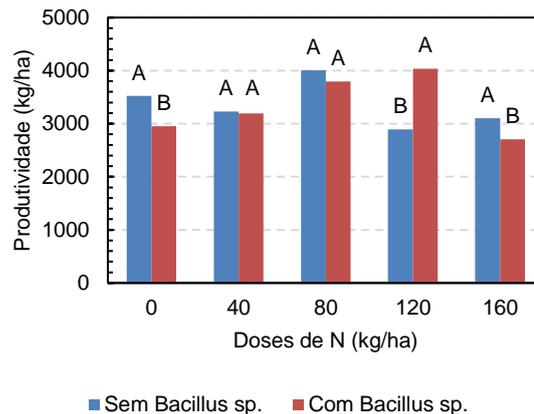


Figura 13 – Produtividade em kg/ha, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na Figura 13, a partir do teste de médias utilizando o método de Tukey, ocorreu interação significativa maior visivelmente na dose acima da recomendada de 150% de N, sendo atingida com a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*, mas nas doses de 0% e 200% também houve interação significativa, porém nestes casos, sem a inoculação do bacilo.

O mesmo pode-se observar na linha de tendência da Figura 14 a seguir:

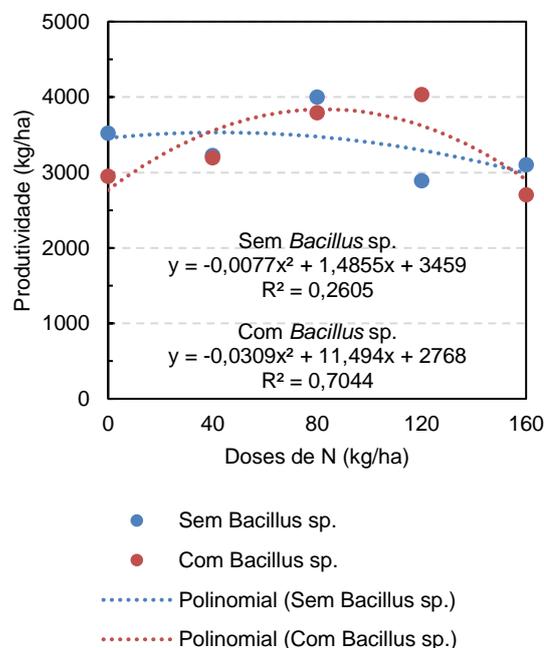


Figura 14 - Análise de Regressão Polinomial sobre a produtividade, com diferentes doses de nitrogênio, com e sem a inoculação de *B. subtilis* e *B. megaterium*.

Na figura da análise de regressão acima, pode-se notar na linha de tendência sem a inoculação do *B. subtilis* e *B. megaterium*, com uma equação de ordem 2, o $R^2=0,2605$ de precisão, um

decréscimo na produtividade, sendo este proporcional ao aumento da dose de N. Já na linha de tendência que representa os tratamentos com adição do bacilo, com a equação também de ordem 2, e um $R^2=0,7044$ de precisão, pode-se notar um resultado com crescimento a partir da dose recomendada, com o maior aumento na produtividade na dose aproximada de 120 kg/ha de N.

Discussão

Os gráficos dos resultados foram obtidos através da análise estatística, pelo método do teste de Tukey, e pela análise de Regressão Polinomial de ordem 2 e 3.

Como primeiro resultado temos a variável Altura das Plantas. No primeiro gráfico, temos a relação altura de planta em metros, e as doses de nitrogênio em quilos por hectare. Neste gráfico houve interação significativa, verificada através das letras diferentes acima dos resultados, nas doses de 120 e 160 kg/há, tendo na dose de 120 kg/há um resultado de 1,09 metros de altura da planta sem a inoculação da bactéria. Já na dose de 160 kg/há, a planta apresentou uma altura de 1,04 metros, com a inoculação da bactéria. No segundo gráfico, que se refere a análise de regressão polinomial, é possível notar na linha de tendência em azul, na qual se refere a parcela sem inoculação, que ela tem um crescimento a partir da dose de 40 kg/há, até a dose de 120 kg/há, tendo sua dose máxima de 120 kg/há. Na linha de tendência em vermelho, que representa a parcela com a inoculação, há um resultado mais homogêneo, mesmo com o aumento na dose de nitrogênio, tendo sua dose máxima em 160 kg/há.

Como segundo resultado, temos a variável número de folhas por planta. No primeiro gráfico temos a relação de número de folhas por planta e as doses de nitrogênio em quilos por hectare. Este gráfico apresentou interação significativa em duas doses, 40 e 160 kg/há, na dose de 40 kg/há obteve o resultado de 76,75 folhas por planta sem a inoculação da bactéria. Na dose de 160 kg/há, a planta com a inoculação da bactéria apresentou um resultado de 87,50 folhas por planta. No segundo gráfico, referente a análise de regressão polinomial, nota-se na linha de tendência em azul, parcela sem a inoculação da bactéria, um crescimento da dose 0 até a 40 kg/há, e depois um decréscimo até a dose de 160 kg/há conforme aumenta as doses de nitrogênio, tendo sua dose máxima em 40 kg/há. Na linha de tendência em vermelho, parcela com a inoculação da bactéria, nota-se que houve um crescimento significativo a partir da dose de 40 kg/há até a dosagem máxima de 160 kg/há, conforme aumenta as doses de nitrogênio, tendo sua dose máxima em 160 kg/há.

Como terceiro resultado, temos a variável número de vagens por planta. No primeiro gráfico temos a relação número de vagens por planta e doses de nitrogênio em quilos por hectare. Neste gráfico houve interação significativa em apenas 1 dose, 40 kg/há, a qual gerou um resultado de 30,79 vagens por planta, na parcela sem inoculação da bactéria. Mesmo não havendo interação em mais nenhuma dose, para a parcela com a inoculação, seu melhor resultado ficou na dose de 120 kg/há, com 23,33 vagens por planta. No segundo gráfico, que se refere a análise de regressão polinomial, é possível notar na linha de tendência em azul, parcela sem a inoculação da bactéria, que sua dose máxima ficou em 40 kg/há, com resultado de 30,79 vagens por planta e depois disso, ela decresceu conforme o aumento das doses de nitrogênio. Na linha de tendência em vermelho, parcela com a inoculação da bactéria, acontece o contrário, ela cresce significativamente conforme o aumento das doses de nitrogênio, tendo sua dose máxima de 120 kg/há.

Como quarto resultado, e o mais importante, temos a produtividade. No primeiro gráfico temos a relação de produtividade em quilos por hectare e as doses de nitrogênio também em quilos por hectare. Neste gráfico houve interação significativa em três doses, as quais são, 0, 120 e 160 kg/há. Para a dosagem de 0 kg/há obteve-se o resultado de 3522,50 kg/há para a parcela sem a inoculação da bactéria. Para a dosagem de 120 kg/há obteve-se o resultado de 4033,12 kg/há para a parcela com a inoculação da bactéria. E na dosagem de 160 kg/há obteve-se o resultado de 3101,87 kg/há para a parcela sem inoculação da bactéria. No segundo gráfico, que se refere a análise de regressão polinomial, nota-se na linha de tendência em azul, parcela sem a inoculação da bactéria, que há um decréscimo contínuo conforme as doses de nitrogênio aumentam, tendo sua dose máxima em 80 kg/há, apresentando um resultado de 4003,12 kg/há. Na linha de tendência em vermelho, parcela com a inoculação da bactéria, há um crescimento a partir da dose recomendada de 80 kg/há, tendo sua dose máxima em 120 kg/há.

Os tratamentos com e sem o *B. subtilis* e *B. megaterium*, não mostraram resultados satisfatórios diretamente para incremento em produção, pois, pode-se notar resultados instáveis nas plantas. Entretanto, a associação com *Bacillus* sp., auxiliou na maior produção de forma indireta, promovendo melhores condições de crescimento das plantas e quantidade de folhas por planta, o que é bom, pois aumentou o índice de área foliar, sendo benéfico para a fotossíntese.

Analisando os índices vegetativos do trabalho pode-se perceber que a inoculação dos *Bacillus* sp. apresentou um resultado superior aos tratamentos sem a sua inoculação, mostrando que isso influenciou ajudando a planta a ter um melhor

aproveitamento do nutriente em questão, que é essencial para o desenvolvimento vegetativo da planta.

Assim como afirmado por Nunes (2019), obteve-se como resultados que a aplicação de *Bacillus subtilis* promoveu incrementos significativos para números de vagens por planta e número de grãos por planta, porém, a dose ótima variou com o lote na espécie *Phaseolus vulgaris* (feijão-comum), com a dose de N mais eficiente ficando entre 120 a 160 kg/ha.

Pensando pelo fator de maior quantidade do índice foliar o uso de fertilizante de solo em associação com *B. subtilis* e *B. megaterium*, deveria apresentar também melhores resultados em produção de grãos, mostrando-se bastante promissor para produtividade e desenvolvimento da cultivar BRS Esteio, apesar de no presente trabalho não podendo o êxito ser confirmado através dos números obtidos a partir das tabelas apresentadas.

A partir dos trabalhos comentados a seguir pode-se notar que a aplicação de adubos nitrogenados e fixação biológica de nitrogênio atmosférico são as principais fontes de nitrogênio para o feijão (HUNGRIA; VARGAS; ARAUJO, 1997).

Dessa forma, a adubação nitrogenada e a inoculação das sementes com o rizóbio, em leguminosas foram adotadas a fim de se elevar a produtividade, pois a adubação nitrogenada favorece tanto o aumento da produtividade (MELO; ZILLI, 2009; OLIVEIRA et al., 2003; XAVIER et al., 2008; ZILLI et al., 2006) como a produção de sementes de melhor qualidade fisiológica (FARINELLI et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2001; TOLEDO et al., 2009). Assim, conforme Binotti (2007), a adoção de um sistema com boas condições de solo, associado com o fornecimento adequado do fertilizante possibilitou um aumento da eficiência da planta na utilização dos recursos disponíveis, o qual resultou também no aumento da produtividade.

Nas tabelas apresentadas nos resultados pode-se observar que os melhores resultados estavam na maioria das vezes relacionado a maior disponibilidade do adubo nitrogenado, sendo na dose recomendada ou acima da dose recomendada, comprovando então a necessidade de N da planta, porém, não demonstrando nenhuma economia ou viabilidade para com o custo de produção.

Fatores ambientais podem favorecer a disponibilidade ou não disponibilidade do nutriente para a planta, um ponto negativo para o presente trabalho foi a precipitação de chuvas muito alta durante o período de realização deste estudo, pois além da sensibilidade da cultura ao excesso e

acúmulo de água provocado pelas chuvas ocasionando a redução do tamanho das plantas e favorecendo doenças no feijão, esse excesso de água no solo pode prejudicar as bactérias aeróbias presentes na rizosfera, prejudicando então o desenvolvimento da cultura que seria beneficiada.

Diante dos fatos apresentados, pode-se entender que a inoculação do insumo biológico acrescentou benefícios a cultura, ficando claro que pode-se melhorar os números obtidos, deixando a sugestão de novos estudos para aperfeiçoamento dos resultados apresentados, em uma situação mais favorável as condições climáticas exigidas pela cultura, visto que a absorção no N pela planta tem extrema relevância para o êxito da produção.

Logo, sugere-se repetir este experimento em condições pluviométricas mais adequadas à cultura analisada.

Conclusões

A combinação entre doses adequadas de nitrogênio e a inoculação com *Bacillus subtilis* apresenta potencial para elevar a produtividade do feijão, destacando a importância da interação entre insumos químicos e biológicos.

O crescimento das plantas, o número de folhas, o número de vagens produzidas e a produtividade estão diretamente ligados às doses de nitrogênio, mas doses excessivas ou muito baixas podem prejudicar os resultados.

Condições climáticas, como altos índices de precipitação, impactaram negativamente o estudo. Recomenda-se replicar o experimento em condições climáticas mais estáveis para validar os resultados obtidos.

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente a Deus, por conceder força e sabedoria durante essa jornada.

Agradecemos aos nossos familiares e amigos pelo apoio constante.

Agradecemos em especial ao Felipe Martins de Oliveira pelo valioso auxílio na construção do trabalho, ao Gilcinei Rodrigues por fornecer os materiais essenciais para o experimento. Reconhecemos e somos gratas ao nosso orientador André Luiz Oliveira de Francisco, pela orientação ao longo de todo processo.

Este trabalho é fruto do esforço conjunto e apoio generoso de cada um de vocês.

Muito obrigada.

Referências

- FARINELLI, R. et al **Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistema de manejo de solo e a adubação nitrogenada**. Revista Brasileira de Sementes, v. 28, n. 02, p. 102-109, 2006.
- FILHO, Morel Pereira Barbosa. **Adubação**. Agência Embrapa. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/CONTAG01_81_1311200215104.html. Acesso em: 15 de maio de 2022.
- HUNGRIA, M. et al. **Fixação biológica de nitrogênio pelo feijão. Biologia dos solos dos cerrados.**, p. 187-294, 1997.
- IBANHES NETO, Helio Fernandes. **Physiological potential of green bean seeds treated with Bacillus subtilis**. Journal Of Seed Science, Londrina, v. 43, n. 2, p. 1-9, Maio 2021.
- LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. de. **Controle biológico mediado por Bacillus subtilis**. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, [S. l.], v. 4, n. 2, 2010. DOI: 10.0000/rtcab.v4i2.145. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/145>. Acesso em: 15 jun 2023
- MARINHO, Thais Antunes. **Fertilizante/corretivos de solo associados ou não com bacillus subtilis como promotor de crescimento do feijão-caupi**. 2019. 20 f. Monografia (Graduação) - Curso de Agronomia, UFT, Gurupi, 2019.
- MATTOS, Maria Laura Turino. **Microbiologia do solo**. Embrapa Clima Temperado-Capítulo em livro científico (ALICE), 2015
- MELO, Shirlany Ribeiro de; ZILLI, Jerri Édson. **Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o Estado de Roraima**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 44, p. 1177-1183, 2009.
- OLIVEIRA, A. P. et al **Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.), em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio**. Revista Brasileira de Sementes, v. 23, n. 02, p. 215-221, 2001.
- PAULETTI, V.. **Manual de Adubação e calagem para o estado do Paraná**. 2. ed. Curitiba: SBCS, 2019, 289 p.
- ROCHA, Elizabete Nunes da. **Inoculação de Bacillus subtilis e tratamento químico em sementes de feijão Caupi e feijão comum: lotes, tempo de exposição e doses**. 2019.
- ROSOLEM, C.A.; MARUBAYASHI, O.M. **Seja o doutor do seu feijoeiro** In: Encarte do Informações Agronômicas, n.68, dezembro 1994. 16p.
- SOUZA JÚNIOR, Nelson Câmara de. **Resposta do feijoeiro comum e adzuki à inoculação com Bacillus subtilis**. 2021.
- TOLEDO, M. Z. et al **Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 02, p. 124-133, 2009.