



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

**INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum*
brasilense ASSOCIADA À ADUBAÇÃO VERDE NO CULTIVO
ORGÂNICO DE MILHO**

JOSEANI SANTOS ÁVILA

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2024

JOSEANI SANTOS ÁVILA

**INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense*
ASSOCIADA À ADUBAÇÃO VERDE NO CULTIVO ORGÂNICO DE MILHO**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Doutora.

Orientador:

Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira

Coorientadora:

Prof. Dra. Rayka Kristian Alves Santos

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2024

A972i

Ávila, Joseani Santos.

Inoculação de *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum*

brasiliense associada à adubação verde no cultivo orgânico de milho. / Joseani Santos Ávila, 2024.

73f. : il.

Orientador (a): Dr. Joilson Silva Ferreira.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2024.

Inclui referência F. 68 - 72.

1. *Zea mays* L. 2. Fixação biológica. 3. adubação verde - *Mucuna* preta-Crotalária - Feijão de porco. 4. Plantio direto. I. Ferreira, Joilson Silva. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. III. T.

CDD. 633.15

Catálogo na fonte: Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890

UESB - Campus Vitória da Conquista – Ba.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

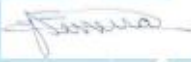
Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

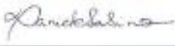
TÍTULO: "INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* E *Azospirillum brasilense* ASSOCIADA A ADUBAÇÃO VERDE NO CULTIVO ORGÂNICO DE MILHO".

AUTOR (A): Joseani Santos Ávila

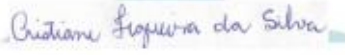
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTORA EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



Joilson Silva Ferreira, D.Sc. (UESB)



Daniele Cristina Costa Sabino, D.Sc. (UFMT)



Cristiane Figueira da Silva, D.Sc. (Pós-Doc UFRRJ)

Sylvana Naomi Matsumoto, D.Sc.



Documento assinado digitalmente
SYLVANA NAOMI MATSUMOTO
Data: 22/03/2024 12:18:12-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Gisele Brito Rodrigues, D.Sc. (UESB)



Documento assinado digitalmente
GISELE BRITO RODRIGUES
Data: 16/03/2024 18:39:22-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Data de realização: 31 de Janeiro de 2024.

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
Telefone: (77) 3425-9383, e-mail: ppgagronomia@uesb.edu.br

DEDICATÓRIA

Às pessoas que sempre estiveram presentes em toda essa jornada, em especial, meus
filhos Ananda Ávila Rocha e Gustavo Ernesto Ávila Rocha.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, às agências de financiamento FAPESB e CAPES, pela concessão da bolsa, sem a qual não conseguiria desenvolver este estudo.

Agradeço à Espiritualidade Superior, pelo dom da vida, por toda firmeza que encontrei em diversos momentos.

Ao meu orientador Joilson Silva Ferreira, que acreditou em mim para darmos continuidade ao trabalho que iniciamos durante o mestrado e sempre me incentivou, me orientou, mostrando que existia um potencial a ser considerado em relação ao meu desempenho e dedicação durante toda essa jornada que, por muitas vezes, eu não conseguia enxergar; e por sua amizade que levarei para sempre, muita coisa tenho ressignificado em minha vida a partir dessa relação.

Ao programa de pós-graduação em Agronomia, pela oportunidade de cursar o doutorado; e a todos os mestres que contribuíram para minha formação.

Agradeço à minha coorientadora Rayka Kristian Alves Santos, por toda ajuda e orientação.

Não posso deixar de agradecer à toda equipe do setor de Campo da UESB – DICAP, que sempre me ajudou na condução dos experimentos; à equipe da jardinagem que também colaborou em algumas etapas do projeto.

Ao coordenador do laboratório de microbiologia do solo, professor Divino Levi Miguel e sua equipe, que sempre acolheu e disponibilizou o espaço do laboratório.

Agradeço ao meu esposo Pablo Alves da Rocha, que sempre esteve presente na condução dos trabalhos; ao meu sogro Guarim Ferreira da Rocha, que não mediu esforços para ajudar na parte de campo da condução dos experimentos.

Ao Patric Ávila Santos, Glêizeli dos Santos Ávila, que estiveram comigo durante grande parte das coletas de dados; à minha mãe Gilzeilce Maria dos Santos, sempre presente e ajudando de forma incansável; à Vera Lúcia Alves da Rocha por todo apoio e ajuda durante essa trajetória.

Agradeço à minha cunhada Agda Alves da Rocha e seu esposo Alisson Cruz, que, por muitas vezes, ficaram com as minhas crianças quando eu precisava ficar até mais tarde no desenvolvimento dos trabalhos.

À minha comadre Laura Régia, por cuidar do meu psicológico e por toda sua amizade e apoio durante todo esse tempo; e ao meu compadre Amauri Mota, que também

ajudou bastante, com as crianças, socorrendo-me, quando o carro resolvia parar na estrada. Ao meu vizinho José Mário, que colaborou com a irrigação do experimento no período que eu e meus filhos estávamos em casa isolados com covid.

Aos amigos Elismar Pereira, Genilson Lima, Máida Cynthia Duca, minha amiga e conterrânea, por quem tenho um carinho imenso; Ione pelas partilhas, risadas durante horário de almoço.

Agradeço às pessoas que sempre estiveram ao meu lado, contribuindo de forma direta ou indiretamente, as que vibraram positivamente para que esta etapa fosse cumprida.

Aos meus filhos, por estarem sempre comigo, a quem também peço desculpas por ter me ausentado em alguns momentos.

Agradeço ao meu pai José Ávila da Conceição Filho, que sempre esteve vibrando para que desse certo e a quem eu atribuo meu gosto pela área de agrárias, que juntamente com meu vovô, *in memorian*, José Ávila da Conceição, me ensinaram, com toda simplicidade, o quanto é belo produzir alimentos.

Agradeço, ainda, a todos os colegas do programa de pós-graduação, por toda vivência, trocas, incentivos, cada palavra amiga que me fortaleceu em diversos momentos.

[...] A natureza em seus caprichos e mistérios
condensa em pequenas coisas, o poder de dirigir as grandes;
nas sutis, a potência de dominar as mais grosseiras;
nas coisas simples, a capacidade de reger as complexas.”
(Primavesi)

RESUMO GERAL

ÁVILA, J. S. **INOCULAÇÃO DE *Herbaspirillum seropedicae* E *Azospirillum brasilense* ASSOCIADA À ADUBAÇÃO VERDE NO CULTIVO ORGÂNICO DE MILHO.** VITÓRIA DA CONQUISTA - BA: UESB, 2024. 69p. (Tese – Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia)*.

Para alcançar produtividades elevadas na cultura do milho, além de fatores climáticos, é necessário manter uma adubação equilibrada. A utilização de fertilizantes químicos nitrogenados onera o custo de produção e provoca impactos ambientais, o que tem direcionado a busca por fontes alternativas com a finalidade de suprir a demanda desse nutriente para a cultura. Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar o efeito da adubação verde associada com inoculação de bactérias diazotróficas aplicadas a dois genótipos (AL bandeirante e AG 1051) e o efeito residual das leguminosas no experimento em plantio direto do híbrido AG1051, na produtividade do milho em sistema orgânico de cultivo. Este trabalho foi composto de dois experimentos, implantado em duas etapas: cultivos das espécies leguminosas para adubação verde (mucuna preta, feijão de porco, crotalária, plantas espontâneas); e a segunda etapa foi realizada quando as espécies de adubo verde iniciaram a fase de florescimento, quando procedeu-se com o corte e deposição da parte aérea dessas plantas ao solo, seguida da semeadura do milho em sucessão, inoculado com estirpes de bactérias associativas, sendo este conduzido no Sítio Vale da Jaqueira, município de Vitória da Conquista - BA. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 4x3, tendo como fator: adubação verde (mucuna preta, crotalária, feijão de porco, plantas espontâneas) e inoculação (*Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* e sem inoculação), constituindo doze tratamentos com quatro blocos, aplicados a dois genótipos de milho: AL Bandeirante e híbrido AG1051. Foram avaliados o diâmetro, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga e do sabugo e produtividade de grãos. No segundo experimento, adotou-se os mesmos tratamentos do primeiro, preservando-os nas mesmas parcelas para verificar o efeito da adubação verde por mais tempo no solo, passando pelo processo de decomposição. E a semeadura foi em plantio direto, sobre a palhada que foi gerada pelo experimento I. As mesmas variáveis foram analisadas nos dois experimentos. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade, análise de variância e teste Tukey a 5% de significância. Os tratamentos com leguminosas foram superiores em comparação às plantas espontâneas e houve interação positiva entre a inoculação e adubação verde para todas as características avaliadas nos dois genótipos. Para o genótipo de milho AG1051, observou-se uma maior produtividade no segundo ciclo em todos os tratamentos e a crotalária mostrou maior resultado no efeito residual, sob o sistema de plantio direto.

Palavras-chave: *Zea mays* L., fixação biológica, crotalária, mucuna preta, feijão de porco, plantio direto.

* **Orientador:** Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira, UESB e Coorientadora: Profa. Dra. Rayka Kristian dos Santos Alves

GENERAL ABSTRACT

ÁVILA, J. S. INOCULATION OF *Herbaspirillum seropedicae* AND *Azospirillum brasilense* ASSOCIATED WITH GREEN MANURES IN ORGANIC MAIZE CULTIVATION. Vitória da Conquista-BA: UESB, 2024. 69p. (Thesis – Doctorate in Agronomy, area of concentration in phytotechnics)*.

To achieve high productivity in corn, in addition to climatic factors, it is necessary to maintain balanced fertilization. The use of chemical nitrogen fertilizers increases production costs and causes environmental impacts, which has led to the search for alternative sources to meet the demand for this nutrient for the crop. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of green manure associated with inoculation of diazotrophic bacteria applied to two genotypes (AL Bandeirante and AG 1051) and the residual effect of legumes in the direct planting experiment of the hybrid AG1051, on crop productivity corn in an organic cultivation system. This work was composed of two experiments, in which the first was implemented in two stages: cultivation of leguminous species for green manure (mucuna preta, jack beans, sunn hemp, spontaneous plants) and the second stage was carried out when the green manure species started the flowering phase, where the aerial part of these plants was cut and deposited in the soil followed by the sowing of corn in succession inoculated with strains of associative bacteria, which was carried out at Sítio Vale da Jaqueira, municipality of Vitória da Conquista - B.A. The experimental design was in randomized blocks, in a 4x3 factorial scheme, with the following factors: green manure (mucuna preta, sunn hemp, jack beans, spontaneous plants) and inoculation (*Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense*, and without inoculation), constituting twelve treatments with four blocks, applied to two corn genotypes: AL Bandeirante and hybrid AG1051. Diameter, ear length, number of grains per row, ear and cob weight and grain productivity were evaluated. In the second experiment, the same treatments as the first were adopted, preserving them in the same plots to verify the effect of green manure for a longer period of time on the soil undergoing the decomposition process. And the sowing was in direct planting, on the straw that was generated by experiment I. The same variables were analyzed in both experiments. The data were subjected to normality and homogeneity tests, analysis of variance and Tukey test at 5% significance. Legume treatments were superior compared to spontaneous plants and there was a positive interaction between inoculation and green manure for all characteristics evaluated in both genotypes. For the AG1051 corn genotype, greater productivity was observed in the second cycle in all treatments and sunn hemp showed greater results in the residual effect, under the direct planting system.

Keywords: *Zea mays* L., biological fixation, sunn hemp, black mucuna, jack beans.

* **Adviser:** Prof. Dr. Joilson Silva Ferreira, UESB and Coadvisor: Profa. Dra. Rayka Kristian dos Santos Alves

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Resumo da análise de variância dos dados relativos à massa fresca (MF) e massa seca (MS) de leguminosas cultivadas como adubo verde e plantas espontâneas utilizadas como culturas antecessoras ao cultivo do milho AL Bandeirante em sistema orgânico.....	25
Tabela 1.2 - Valores médios de massa seca e massa seca dos adubos verdes e plantas espontâneas.....	25
Tabela 1.3 - Resumo das análises de variância dos dados relativos ao diâmetro de espiga (DE), comprimento da espiga (CE), grãos por fileira (GF), peso de espiga (PE), peso do sabugo (PSA) e produtividade (PRO) e coeficiente de variação de milho AL Bandeirante, submetido à adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas em cultivo orgânico.....	28
Tabela 1.4 - Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho AL Bandeirante em sistema orgânico.....	29
Tabela 2.1 - Resumo da análise de variância dos dados relativos à massa fresca (MF) e massa seca (MS) de leguminosas cultivadas como adubo verde e plantas espontâneas utilizadas como culturas antecessoras ao cultivo orgânico de milho orgânico.....	51
Tabela 2.2 - Valores médios de massa seca e massa seca dos adubos verdes e plantas espontâneas.	52
Tabela 2.3 - Resumo das análises de variância dos dados relativos ao diâmetro de espiga (DE), comprimento da espiga (CE), grãos por fileira (GF), peso de espiga (PE), peso do sabugo (PSA) e produtividade (PRO) e coeficiente de variação de milho Híbrido AG 1051 do primeiro e segundo experimentos, submetido à adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas e cultivo orgânico.....	53
Tabela 2.4 - Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051, primeiro experimento em sistema orgânico.....	54
Tabela 2.5 - Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051, segundo experimento em sistema orgânico.....	58
Tabela 2.6 - Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051, primeiro e segundo experimento em sistema orgânico.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Precipitação mensal, temperatura máxima e mínima durante a condução do experimento. Dados climáticos extraídos da plataforma do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.....	20
Figura 1.2 - Componentes principais da associação de inoculantes de bactérias diazotróficas e adubo verde em cultivo de milho orgânico.....	35
Figura 2.1 – Precipitação mensal, temperatura máxima e mínima durante a condução do experimento. Dados climáticos extraídos da plataforma do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.....	46
Figura 2.2 - Representação esquemática da parcela experimental contendo - área total e área útil.....	48
Figura 2.3 – Distribuição das parcelas e tratamentos na área experimental (croqui), contendo quatro blocos representativos	48

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
ARTIGO I.....	17
Milho orgânico cultivado com <i>Herbaspirillum seropedicae</i> e <i>Azospirillum brasilense</i> associados com adubos verdes*	17
INTRODUÇÃO	19
MATERIAL E MÉTODOS	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
CONCLUSÕES	36
AGRADECIMENTO	36
LITERATURA CITADA.....	37
ARTIGO II.....	42
Produtividade do cultivo orgânico de milho semeado em sucessão à adubação verde e associado a inoculação de bactérias diazotróficas	42
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
2.1 Local de condução e dados Climáticos do primeiro e segundo experimento	46
2.2 Classificação do solo e histórico da área	47
2.3 Delineamento experimental.....	47
2.4 Semeadura e condução do primeiro experimento	49
2.5 Semeadura e condução do segundo experimento	50
2.6 Variáveis analisadas nos dois experimentos	50
2.7 Procedimentos estatísticos dos dois experimentos	51
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4 CONCLUSÕES	62
AGRADECIMENTO.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68

INTRODUÇÃO GERAL

O milho é uma cultura importante, tanto nas bases econômicas quanto sociais, por ser um produto de grande versatilidade no processo de sustentabilidade alimentar, podendo ser produzido tanto em escala comercial (por grandes produtores) quanto de subsistência (por agricultores familiares) (Duarte et al., 2021). Essa cultura apresenta boa adaptabilidade, podendo ser cultivada em diversas regiões do mundo, além de ter superado a produção total de trigo e arroz (Rehman et al., 2021), destacando-se como a terceira cultura de grãos mais importante do mundo (Adnan e Bilal, 2020; Ali et al., 2020; Asif et al., 2020).

Dentre os maiores produtores mundial de milho, destacam-se Estados Unidos, China e Brasil, que ocupa o terceiro lugar em produção e segundo com exportação deste cereal (Coelho, 2022). O somatório da produção nacional desse grão, na safra 2021/2022, foi de 98.710,6 mil toneladas, com produtividade média de 5.629 kg ha⁻¹. No Nordeste e estado da Bahia, a média anual foi de 2.616 kg ha⁻¹ e 3.209 kg ha⁻¹, respectivamente (CONAB, 2022).

A baixa produtividade de grãos no estado da Bahia pode estar relacionada com o baixo nível tecnológico utilizado por pequenos produtores, que tem grande parte da produção voltada para a subsistência (CONAB, 2020). Como é o caso de alguns agricultores que aproveitam as sementes adquiridas em safras anteriores que, muitas vezes, não são armazenadas de forma correta. Além disso, costumam utilizar sementes crioulas, as quais podem apresentar baixo potencial genético de produtividade em relação às variedades melhoradas geneticamente, mas que apresentam boas adaptabilidades e resistência às condições adversas (Bianchetto et al., 2017)

O planejamento da produção e do mercado do milho deve ser analisado em relação às cadeias produtivas e/ou aos sistemas agroindustriais. Pequena parte da produção de milho é destinada para atender ao consumo humano na mesa dos brasileiros. Uma maior quantidade é para as indústrias de rações para animais. Na cadeia produtiva de suíno e aves, são consumidos aproximadamente 70% do milho produzido no mundo e entre 70 e 80% do milho produzido no Brasil, principalmente em sistemas convencionais (Garcia et al., 2020).

Dentro dos sistemas não convencionais, um dos maiores entraves é adquirir grãos de milho de produção orgânica para suprir a necessidade de alimentação animal, pois, de

acordo com a instrução normativa, Portaria 52/2021, apenas 20% da alimentação animal pode ter produtos oriundos dos sistemas convencionais, porém que não sejam transgênicos.

Nesses sistemas, estratégias que minimizem os riscos de perdas de produção devem ser adotadas, como controle biológico de pragas e doenças, preparo de biofertilizantes, biocaldas, biogel, utilização de microrganismos capazes de fornecer nutrientes e promover crescimentos de plantas, assim como microrganismos eficientes, compostagem, dentre outros (Santos et al., 2022).

Dessa forma, a adubação, dentro do modelo orgânico, implica que a fertilidade do solo seja mantida e/ou melhorada com a utilização de recursos naturais e atividades biológicas, utilizando-se, preferencialmente, recursos locais, assim como subprodutos orgânicos que promovam o fornecimento de nutrientes diversos (Lima et al., 2011). É uma forma importante de reconstruir, de maneira física, química e biológica, os solos, para proporcionar aumento na produtividade e qualidade de grãos.

O manejo adequado da cultura é outro fator de extrema importância. A adoção e manutenção de uma adubação equilibrada, principalmente devido a sua exigência em nitrogênio. A falta desse nutriente pode limitar o desempenho produtivo da cultura, por este fazer parte de diversos processos metabólicos, necessários à produção (Malavolta, 2006; Zambolim et al., 2012).

Para o cultivo orgânico do milho, fontes de nitrogênio mineral não podem ser utilizadas, especialmente devido ao impacto ambiental provocado por esses produtos, desde sua fabricação até a aplicação no solo, além de onerar o custo de produção. Para suprir esse nutriente, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) tem sido uma alternativa viável, pois é um processo natural realizado por organismos procariotos, denominados diazotróficos, os quais possuem uma enzima nitrogenase em suas estruturas que promovem a quebra da ligação covalente do N_2 , tornando-o uma forma assimilável pelas plantas (Souza et al., 2012).

Cerca de 78% do ar atmosférico é constituído de N_2 , que pode ser disponibilizado para os vegetais através da FBN. As bactérias são os organismos que mais realizam a fixação biológica de nitrogênio, podendo ser encontrada em vida livre no solo, associadas às espécies vegetais na rizosfera ou endofiticamente, como ocorre em plantas não leguminosas, assim como formar simbioses, como ocorre em muitas leguminosas, o que potencializa o acúmulo de nitrogênio por essas culturas (Souza et al., 2012).

A adubação verde é outra forma de fornecimento de nutrientes para as plantas, principalmente o nitrogênio, sobretudo se forem utilizadas espécies das famílias das fabáceas (leguminosas), que tem um maior potencial de aporte de nitrogênio por estabelecerem relação específica com as bactérias diazotróficas, formando simbioses com bactérias do gênero *Rhizobium/Bradyrhizobium*. Outro aspecto favorável é que estas espécies apresentam uma baixa relação C/N em relação às poaceas, o que confere um menor tempo para decomposição dos resíduos vegetais (Filho et al., 2023).

Além do aporte de nitrogênio, a adubação verde promove benefícios, como aumento dos teores de matéria orgânica e da cobertura do solo, que reduz o impacto da água sobre o solo e previne a compactação e desestruturação das partículas, além de devolver ao solo outros nutrientes que podem ter sido retirados das camadas mais profundas. Dentre as principais leguminosas utilizadas para esta finalidade estão: crotalária, feijão de porco, mucuna, guandu, amendoim forrageiro, vigna, entre outros (Filho et al., 2023).

Para cultura do milho, existem pesquisas tanto com a utilização de bactérias associativas quanto com cultivo em sucessão a leguminosas de formas separadas. Estudos comprovam a contribuição das bactérias associativas em fornecer nitrogênio em culturas não leguminosas (Sabino et al., 2012; Nascimento et al., 2021; Marcolini et al., 2022; Matsuo et al., 2022; Santos et al., 2023). Também é possível verificar resultados positivos com a utilização da adubação verde em culturas de importância econômica (Leal et al., 2021; Oliveira et al., 2021).

Por outro lado, existem pesquisas com resultado positivo da interação entre as bactérias diazotróficas em interação com adubação verde na cultura do milho (Ávila et al., 2020; Ávila et al., 2023).

A adoção de estratégias de baixo custo e menor impacto ambiental, por meio da inoculação de bactérias fixadoras de nitrogênio associadas com adubação verde, é essencial no cultivo agroecológico, para reduzir o custo de produção e preservar o ambiente. Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa avaliar o efeito da adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas na produtividade do milho em dois ciclos (híbrido AG 1051) e um ciclo (AL Bandeirante) em sistema orgânico de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adnan, M.; Bilal, H.M. Role of boron nutrition on growth, phenology and yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids: **A review. Open Access Journal of Biogenetic Science and Research**, 4(1), 1-8, 2020. <https://dx.doi.org/10.46718/JBGSR.2020.04.000110>
- Ali, A.; Adnan, M.; Abbas, A.; Javed, M.A.; Safdar, M.E.; Asif, M.; Imran, M.; Iqbal, T.; Rehman, F. U; Ahmad, R. Comparative performance of various maize (*Zea mays* L.) cultivars for yield and related attributes under semi-arid environment. **Agricultural and Biological Research**, v. 36, n. 4, p. 63-66, 2020. <https://www.researchgate.net/publication/345999767>
- Asif, M.; Nadeem, M.A.; Aziz, A.; Safdar, M.E.; Adnan, M.; Ali, A.; Ullah, N.; Akhtar, N.; Abbas, B. Mulching improves weeds management, soil carbon and productivity of spring planted maize (*Zea mays* L.). **International Journal of Botany Studies**, v. 5, n. 2, p. 57- 61, 2020. <https://www.researchgate.net/publication/342709273>
- Ávila, J.S.; Ferreira, J.S.; Santos, J.S.; Rocha, P.A. da; Baldani, V.L.D. Green manure, seed inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and nitrogen fertilization on maize yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, p.590-595, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n9p590-595>
- Ávila, J.S.; Ferreira, J.S.; Santos, R.K.A; Rocha, P.A. da; Lima, M.C.D. Organic maize grown with *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense* associated with green manures. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.27, n.7, p.567-574, 2023. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n7p567-574>
- Bianchetto, R.; Fontanive, D. E.; Cezimbra, J. C. G.; Krynski, Â. M.; Ramires, M. F.; Antonioli, Z. I.; Souza, E. L. (2017). Desempenho Agrônômico De Milho Crioulo Em Diferentes Níveis De Adubação No Sul Do Brasil. *Revista Eletrônica Científica da Uergs*. V.3, n.3, p.528-545, 2017.
- Coêlho, J. D. Milho: produção e mercados. Caderno Setorial ETENE, Banco do Nordeste, Ano 7. Nº 233, Agosto 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1333/1/2022_CDS_233.pdf. Acesso, setembro 2023.
- CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira, Safra 2021/22 – 7º Levantamento abril, Brasília. 2021.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Perspectivas para a agropecuária, safra 2020/21, Edição grãos, volume 8, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-aagropecuaria>. Acesso em: 15 de agosto de 2023.
- Garcia, J. C., Mattoso, N. J., Duarte, J. O., Cruz, J. C., & Padrão G. A. (2020). Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. In: A cultura do milho. Cruz, J. C. et al., 1 Ed. Sete Lagoas-Ms. Embrapa Milho e Sorgo, 517 p.
- Duarte, J. O.; Mattoso, M. J.; Garcia, J. C. (2021). Importância Socioeconômica do milho. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de->

[informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica](#) . Acesso em: 29/02/2024

Filho, O. F. L.; Ambrosano, E. J.; Wutke, E. B.; Rossi, F.; Carlos, J. A. D. Adubação Verde e plantas de cobertura no Brasil. Embrapa Agropecuária Oeste, v.1 p.564, 2023.

Leal, M. L. de A.; Chaves, J. da S.; Silva, L. S. da; Soares, R. B.; Nascimento, J. P. S. do; Matos, S. M. de; Teixeira Junior, D. L. T.; Brito Neto, A. F. de B. Efeito dos sistemas de manejo e uso do solo na população de microrganismos do solo. **Research, Society and Development**, v.10, p.1-11, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17966>

Lima, P. C.; Moura, W. M.; Sediya, M. A. N.; Santos, R. H.S. & Moreira, C. L. Manejo da adubação em sistemas orgânicos. In: Lima PC, Moura WM, Venzon M, Paula Jr T & Fonseca MCM (Eds.) Tecnologias para produção orgânica. Viçosa, Unidade Regional EPAMIG Zona da Mata. p.69-106, 2011.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres**, 2006. 638p.

Marcolini, B. P.; Santos, W. F.; Dias, V. C.; Afférri, F. S.; Souza, C. M.; Pelúzio, J. M. Efeito do nitrogênio e *Azospirillum brasilense* em teores de proteína do milho na entressafra. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.15, p.1-12, 2022. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n2e8892>

Matsuo, O.; Zucareli, C.; Horácio, E. H.; Alves, L. A. R.; Saab, O. J. G. A. Co-inoculation of *Anabaena cylindrica* and *Azospirillum brasilense* during initial growth and chloroplast pigments of corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.26, p.97-102, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p97-102>

Nascimento, C. C.; Ferreira, J. S.; Santos, R. K. A.; Lima, M. C. D.; Ladeia, C. A.; Ávila, J. S.; Almeida-Filho, R. L. S. Desenvolvimento de *Eucalyptus urophylla* submetido à inoculação de bactérias diazotróficas nativas. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.5, p.47287-47304, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-234>

Oliveira, T. P.; Braz, M. G.; Smaniotto, A. O.; Silva, D. F. P.; Cruz, S. C. S. Advancing nitrogen fertilization of corn using *Brachiaria ruziziensis* as cover crop. **Revista Caatinga**, v.34, p.9-19, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n102rc>

Pinheiro, L.S.; Silva, R. C.; Conceição Vieira, R.; Aguiar, R. O.; Nascimento, M. R.; Vieira, M. M.; Sousa, R. F.; Oliveira, J. T.; Silva, J. N.; Silva, V. F. A.; Silva, P. A. Análise de trilha dos atributos físicos de milho (*Zea mays* L.) em sistema de cultivo convencional. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, p. e8010110832-e8010110832, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.10832>

Rehman, F. U.; Adnan, M.; Kalsoom, M.; Naz, N.; Husnain, M. G.; Ilahi, H.; Ilyas, M. A.; Yousaf, G.; Tahir, R.; Ahmad, U. Seed-borne fungal diseases of Maize (*Zea mays* L.): A review. Agrinula: **Jurnal Agroteknologi Dan Perkebunan**, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2021. <https://doi.org/10.36490/agri.v4i1.123>

Sabino, D. C. C.; Ferreira, J. S.; Guimarães, S. L.; Baldani, V. L. D. Bactérias diazotróficas como promotoras de desenvolvimento inicial de plântulas de arroz. **Biosfera**, v.8, p.2337-2345, 2012.

<https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3742>

Santos, L. T.; Silva-Júnior, D. F.; Silva, V. L. B.; Andrade, G. M.; Silva, J. M. P.; Lira, T. A. M. Manejo Agroecológico de pragas: Desenvolvimento Sustentável na Agricultura. **Revista de Ciências da Saúde**, v.20, n.3 p.208-214, 2022.

<https://doi.org/10.17695/%rcsne20ol%n199-205>

Santos, R. K. A.; Ferreira, J. S.; Santos, J. S.; Rodrigues, V. A.; Baldani, V. L. D. Bactérias associativas como promotoras de crescimento em *Eucalyptus urophylla*. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.16. n.3, 2023.

<https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n3e10704>

Souza, C. M. de; Pires, F. R.; Partelle, F. L.; Assis, R. L. de. Adubação Verde e Rotação de Culturas. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 108p.

Zambolim, L.; VENTURA, J.A.; ZANÃO JÚNIOR, L.A. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas. Viçosa: UFV, 2012. 321p.

ARTIGO I

**Milho orgânico cultivado com *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum
brasilense* associados com adubos verdes***

* **Situação:** Publicado

**Milho orgânico cultivado com *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense*
associados com adubos verdes**

Highlights

Bactérias associativas incrementam produtividade do milho.

Adubação verde associada a bactérias diazotróficas é uma alternativa viável para cultivo orgânico de milho.

Feijão de porco, crotalaria e mucuna preta promovem um bom desempenho da cultura do milho.

RESUMO: O cultivo orgânico de milho vem ganhando maior relevância em todo o setor agrícola, com mercado em ascensão, mais rentável para os produtores além de contribuir com o meio ambiente, reduzindo impactos ambientais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas na produtividade do milho, sob o sistema orgânico de cultivo. O experimento foi conduzido no Sítio Vale da Jaqueira (área com certificação orgânica), povoado da Estiva, município de Vitória da Conquista, BA (14° 52' 6" S, 40° 44' 55" O, altitude 917 m), no período de agosto de 2021 a abril de 2022. O delineamento foi em blocos casualizados, esquema fatorial 4 x 3. Os fatores foram: Adubação verde (mucuna preta, crotalaria, feijão de porco, plantas espontâneas) e inoculação (*Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* e sem inoculação), constituindo doze tratamentos com quatro repetições. A semeadura do milho foi realizada após as leguminosas atingirem seu florescimento, as quais foram caracterizadas quanto à produção de massa e posteriormente cortadas sobre o solo. Avaliou-se, nas plantas de milho, comprimento e diâmetro de espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga despalhada, peso sabugo e a produtividade de grãos. A associação entre *Herbaspirillum seropedicae* e feijão de porco proporcionou incremento

44,91% na produtividade de grãos em relação à testemunha, sendo uma alternativa viável para o cultivo de milho em sistema orgânico.

Palavras-chave: *Zea mays L.*, fixação biológica, crotalária, mucuna preta, feijão de porco.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola, voltado para o cultivo orgânico de milho, vem alcançando maior relevância, com mercado em ascensão, maior rentabilidade (Gazzola et al., 2019), além de promover redução dos impactos ambientais, menores riscos para os agricultores no sistema produtivo e produtos mais saudáveis para os consumidores.

Para o cultivo orgânico do milho, fontes de nitrogênio mineral não podem ser utilizadas. Para suprir esse nutriente, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) tem sido uma alternativa viável. Diversos autores estudam a contribuição das bactérias associativas em fornecer nitrogênio em culturas não leguminosas (Sabino et al., 2012; Moreno et al., 2019; Marcolini et al., 2022; Matsuo et al., 2022). Ao estudar as bactérias *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho, Dartora et al. (2012) observaram que a inoculação combinada das duas estirpes promoveu um incremento na produtividade de grãos em relação à testemunha.

A adubação verde é outra forma de fornecimento de nutrientes para cultivo do milho, principalmente o nitrogênio (Leal et al., 2021; Oliveira et al., 2021). A utilização de plantas leguminosas como fonte de adubação, associada à inoculação com bactérias diazotróficas, promove desempenho positivo para componentes de produção e produtividade da cultura do milho.

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas na produtividade do milho, sob o sistema orgânico de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Sítio Vale da Jaqueira, povoado Estiva, Vitória da Conquista, BA (14° 52' 6" S, 40° 44' 55" O, com 917m de altitude). A região tem temperatura média anual de 20,4 °C, e pluviosidade anual de 733,9 mm, concentrada no período de novembro a março (INPE, 2023).

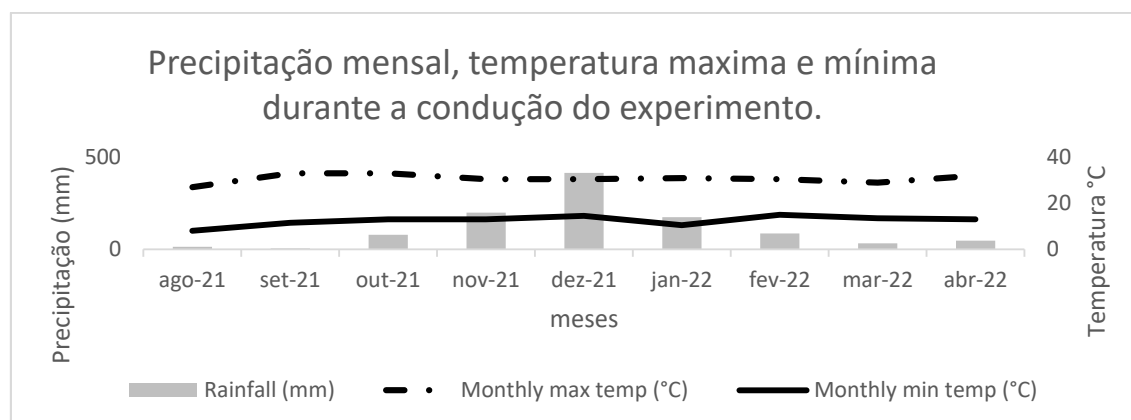


Figura 1.1 Precipitação mensal, temperatura máxima e mínima durante a condução do experimento. Dados climáticos extraídos da plataforma do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

A condução do experimento foi realizada em uma unidade produtiva de agricultores familiares, que trabalham com agricultura orgânica e possui certificação participativa. A área passa por transição agroecológica contínua desde o ano de 2016, onde as práticas de manejo são de acordo com o permitido pela Lei de orgânico. A adição de palhadas, adubação verde, utilização de compostos orgânicos, controle biológico já eram adotadas pelos agricultores nos cultivos orgânicos de pimentão, morangos e outras olerícolas.

O solo é classificado como Oxisol (United States, 2014), que corresponde a Latossolo Vermelho (Embrapa, 2018), com classe textural Franco Argilo Arenosa. Antes do cultivo da leguminosa, o solo apresentava as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm de profundidade: pH em (H₂O) = 6,0; P (mg dm⁻³) = 56; SB (cmol_c dm⁻³ de solo)

= 5,6; t ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo) = 5,8; T ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo) = 10,3; $V(\%)$ = 54. Foi realizada uma calagem, distribuição à lanço, com 2 Mg ha^{-1} de calcário dolomítico, 75 dias antes da instalação do experimento.

Na análise de solo posterior, para cultivo do milho, foram encontradas as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm de profundidade: pH em (H_2O) = 6,3; P (mg dm^{-3}) = 54; SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo) = 6,0; t ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo) = 6,2; T ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de solo) = 11,9; $V(\%)$ = 54,5

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 4×3 , tendo como fatores: adubação verde (plantas espontâneas (testemunha), mucuna preta, crotalária, feijão de porco e inoculação (com estipes de *Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* e sem inoculação), com quatro repetições, aplicados na variedade de milho AL Bandeirante.

A primeira etapa do experimento foi o cultivo das espécies utilizadas como adubação verde, nas devidas parcelas correspondentes ao tratamento, sendo adotado um espaçamento de 0,5 metros entre linhas, oito sementes por metro linear para feijão de porco e mucuna preta e quarenta sementes por metro linear para crotalária. As parcelas correspondentes à testemunha (plantas espontâneas) foram separadas e não houve qualquer semeadura e/ou manejo, ficando apenas as plantas que nasceram naturalmente no local delimitado.

Antes da semeadura, as sementes das leguminosas foram inoculadas com bactérias diazotróficas simbióticas da espécie de *Bradyrhizobium elkanii*, estirpe BR2811 (SEMIA 6158), recomendada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). O inoculante utilizado foi em meio turfoso, na dosagem de 110 g para 20 kg de sementes, segundo a recomendação da EMBRAPA (2006). A semeadura foi realizada

95 manualmente, os sulcos abertos com enxadas, cento e vinte dias antes da semeadura do
96 milho.

97 Para caracterização do material vegetal, antes do corte dos adubos verde e plantas
98 espontâneas, realizou-se uma coleta com o lançamento aleatório, uma única vez, de um
99 quadrado vazado de 0,5 x 0,5 m (0,25m²) nas parcelas, cortando rente ao chão as plantas
100 que ficaram dentro do quadrado. O material coletado foi pesado em balança digital para
101 mensurar massa fresca (MF) e, posteriormente, levado à estufa de circulação de ar, com
102 temperatura de 65°C, até atingir peso constante para determinação da massa seca (MS).
103 Os resultados foram extrapolados para Mg ha⁻¹ para massa fresca e massa seca da parte
104 aérea.

105 Após a coleta do material, com o auxílio de uma roçadeira manual, procedeu-se
106 com o corte das plantas espontâneas e dos adubos verdes, no mesmo momento. Pelo fato
107 das leguminosas possuírem diferentes ciclos, a fase de floração não foi comum para todos,
108 respeitando-se a chegada da floração da espécie de crescimento mais lento. Todas as
109 plantas foram cortadas dentro de suas parcelas, com proteção de uma tela para não haver
110 misturas com parcelas próximas. O material foi depositado ao solo quinze dias antes da
111 semeadura do milho.

112 O genótipo de milho utilizado foi a variedade AL Bandeirante. As parcelas
113 experimentais foram formadas por cinco linhas, com três metros de comprimento, e
114 espaçamento de 0,7 metros, compondo, portanto, uma área de 8,4 m² por parcela. Como
115 área útil, utilizou-se as três linhas centrais de cada parcela, eliminando-se 0,5 m de cada
116 extremidade. Houve uma distância de 0,5 m entre as parcelas e 1,5 m entre blocos.

117 A semeadura foi manual, com vinte e cinco sementes por linha. A inoculação da
118 semente de milho foi realizada com bactérias diazotróficas da espécie de *Herbaspirillum*
119 *seropedicae*, ZAE94 (BR 11417) e *Azospirillum brasilense* (AbV5 e AbV6) com

população estabelecida em 10^9 células mL⁻¹. O inoculante foi em meio líquido, na dosagem de 100 mL ha⁻¹, conforme recomendação dos fabricantes inoculantes comerciais autorizados pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Aos 25 dias da semeadura, foi realizado o desbaste para manter doze plantas na linha de plantio. Os tratos culturais e o controle de insetos em desequilíbrio foram realizados de acordo com as necessidades da cultura, seguindo as normas estabelecidas para sistema orgânico de cultivo. Utilizou-se microvespas de *Trichogramma sp*, para controle de lagarta do cartucho.

A colheita foi realizada em abril de 2022, quando as espigas foram levadas para secagem em céu aberto. A umidade estava em torno de 20%, permanecendo no local até atingir a umidade por volta de 13%. Logo após, procedeu-se com as avaliações dos componentes de produção e produtividade de grãos.

Para as avaliações, separou-se, aleatoriamente, 10 espigas de cada parcela experimental. Foram avaliadas: diâmetro e comprimento de espigas, com o auxílio de paquímetro digital e régua graduada, respectivamente.

O peso da espiga sem palha e o peso do sabugo foram realizados em balança digital, com precisão de dois dígitos. O número de grãos por fileira foi obtido através da contagem dos grãos em três fileiras em cada espiga e retirado a média.

Para a produtividade, utilizou-se os grãos de todas as espigas da área útil (incluindo as espigas que foram utilizadas para as demais avaliações), os quais foram pesados em balança digital com precisão de dois dígitos. Os valores foram extrapolados para Mg ha⁻¹ após a correção da umidade para 13%.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de normalidade dos erros (Teste de Lilliefors), homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett), conforme recomendação de Banzatto & Kronka (2011), análise de variância e médias, comparadas pelo teste de Scott-

Knott a 5% de significância; e para as médias e análise de variância das leguminosas e plantas espontâneas, que antecederam o cultivo do milho, aplicou-se o teste Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

A análise multivariada dos dados foi realizada pela avaliação de Componentes Principais, com o uso do programa XLSTAT.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações de massa foram realizadas nas plantas que antecederam o cultivo do milho. Esses valores de caracterização de massa auxiliam na interpretação do desempenho da cultura estudada, pois, a depender da quantidade depositada ao solo, pode influenciar nas características químicas, físicas e biológicas, proporcionando maior retenção de água, redução da temperatura, aumento no teor de matéria orgânica, condições adequadas para desenvolvimento da microbiota, a qual participa ativamente do processo de ciclagem de nutrientes.

Os resumos da análise de variância, para massa fresca e seca da parte aérea das leguminosas e plantas espontâneas com seus respectivos coeficientes de variação, estão apresentados na tabela 1.1. Houve diferença significativa para as características avaliadas.

Os resultados mostraram que a massa seca da parte aérea das leguminosas foi maior em crotalária, seguida de feijão de porco e mucuna preta, sendo todas elas maiores que as plantas espontâneas – testemunhas (Tabela 1.2). Resultado semelhante ao encontrado por Nunes et al. (2022), no qual a crotalária apresenta maior massa seca entre as plantas estudadas.

170 Tabela 1.1 Resumo da análise de variância dos dados relativos à massa fresca (MF) e
 171 massa seca (MS) de leguminosas cultivadas como adubo verde e plantas espontâneas
 172 utilizadas como culturas antecessoras ao cultivo do milho Al Bandeirante em sistema
 173 orgânico

FV	Quadrado médio		
	GL	MF	MS
Adubo verde	3	0,7611*	47,8266*
Bloco	3	1,1122 ^{ns}	0,2266 ^{ns}
CV (%)		2,70	4,77

174 *Significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância; ^{ns} não significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância.

175

176 Tabela 1.2. Valores médios de massa seca e massa fresca dos adubos verdes e plantas
 177 espontâneas

Adubo Verde	Massa Fresca (Mg ha ⁻¹)	Massa Seca (Mg ha ⁻¹)
Crotalária	43,6 a	12,6 a
Feijão de porco	35,6 b	8,0 b
Mucuna Preta	34,4 b	6,2 c
Plantas Espontâneas (Control)	15,8 c	4,6 d

178 As medias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey $p \leq 0.05$.

179

180 A massa seca e massa fresca da crotalária foi superior dentre as plantas avaliadas
 181 (tabela 1.2). Esses valores também foram maiores aos encontrados por Kappes et al.
 182 (2013), que pode estar relacionado à inoculação das sementes com estirpe de bactérias
 183 diazotróficas realizada no presente estudo. A relação simbiótica estabelecida entre esses
 184 microrganismos e as plantas leguminosas proporciona um melhor desempenho, pois a
 185 fixação biológica de nitrogênio, neste grupo de plantas, é bem constituída.

Para massa fresca, as leguminosas feijão de porco e mucuna preta não diferiram entre si, e ambas foram superiores em relação às plantas espontâneas. Já para massa seca, o feijão de porco obteve a segunda maior média, seguida da mucuna preta e espontâneas.

A mensuração de massa auxilia no entendimento dos resultados dos trabalhos. Quanto mais alto o valor da massa fresca, maior o potencial de cobertura do solo; e a massa seca mais elevada, maior acúmulo de nutrientes em suas estruturas. Os valores de massa encontrados nas leguminosas estudadas apresentam potencial para serem utilizadas como adubos verde e cobertura do solo.

Arf et al. (2018), trabalhando com cultivo de milho consorciado com leguminosas, dois anos consecutivos, sendo que no primeiro ano as leguminosas foram avaliadas aos 46 dias após a semeadura e segundo anos aos 49 dias, obtiveram valores de massa seca da crotalária de 4,36 Mg ha⁻¹, primeiro ano de cultivo; e 4,97 Mg ha⁻¹, segundo ano. E para o feijão de porco, 3,34 e 4,28 Mg ha⁻¹, respectivamente. Valores inferiores aos encontrados no presente trabalho, o que pode estar relacionado ao tempo de corte das leguminosas, que foi menor ao tempo requerido para um maior desenvolvimento dessas plantas.

Outra questão a ser considerada é o período de cultivo. Ao estudarem os aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde, Teodoro et al. (2011) obtiveram uma produção de massa seca 13,9 Mg ha⁻¹ para crotalária, 8,77 Mg ha⁻¹ para feijão de porco e 7,5 Mg ha⁻¹ mucuna preta. Os resultados presentes foram menores e podem estar relacionados à época de semeadura, que foi de outono-inverno; e as leguminosas utilizadas têm um melhor desenvolvimento primavera-verão.

As plantas espontâneas (testemunha), que teve uma predominância de *Plysalis ixocarpa*, *Cyperus rotundus*, *Andropogon bicornis*, *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Richardsonia grandiflora*, *desmodium tortuosum*, foram as que apresentaram menor

massa seca de parte aérea, que pode ser justificado pelo fato de não ter ocorrido nenhum tipo de semeadura. E essas plantas que nasceram de forma espontânea não possuem uma relação simbiótica estabelecida com bactérias diazotróficas, como ocorre com plantas leguminosas, o que pode ocasionar um menor aporte de nitrogênio.

As leguminosas estudadas, neste trabalho, apresentam potencial para serem utilizadas como adubação verde, pois possuem elevado teor de massa fresca e seca, porém essas plantas possuem características distintas, quanto ao ciclo, hábito de crescimento, relação Carbono Nitrogênio (C/N), as quais devem ser analisadas quanto a sua forma de utilização, se cultivo em sucessão ou consorciadas com a cultura principal. Pereira et al. (2017), estudando a ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura, observaram o acúmulo de nitrogênio de 817,33 kg ha⁻¹ na crotalária, 737,17 kg ha⁻¹ feijão de porco, 219,50 kg ha⁻¹ em mucuna preta, valores estes que atendem à demanda de nitrogênio requerida pela cultura do milho.

Essas plantas foram analisadas para caracterizar o potencial que cada uma delas têm em fornecer nutrientes no cultivo de milho em sucessão, como fonte de adubação verde, compondo, portanto, parte do tratamento do estudo principal que é o desempenho de milho.

Os resumos da análise de variância, para as características diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo, produtividade e seus respectivos coeficientes de variação, estão apresentados na tabela 1.3. Houve diferença significativa para interação dos fatores (adubação verde x inoculação) em todas as características avaliadas, assim como a diferenciação entre os adubos verdes.

Tabela 1.3. Resumo das análises de variância dos dados relativos ao diâmetro de espiga (DE), comprimento da espiga (CE), grãos por fileira (GF), peso de espiga (PE), peso do

236 sabugo (PSA) e produtividade (PRO) e coeficiente de variação de milho AL Bandeirante,
 237 submetido à adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas em cultivo orgânico

FV	Quadrado médio						
	GL	DE	CE	GF	PE	PSA	PRO
Adubo verde	3	709,4572*	264,0995*	1422,0514*	0,0622*	0,0023*	17,4821*
Inoculação	2	128,55*	10,265*	36,2725 ^{ns}	0,0035*	0,00002 ^{ns}	0,8002 ^{ns}
ADV X INO	6	83,4003*	8,8686*	57,0613*	0,0062*	0,00004*	0,1852*
Bloco	3	132,3524	42,6509	223,6012	0,0183	0,0004	1,743
CV (%)		8,49	12,78	14,97	24,92	29,01	9,98

238 *significativo ($p \leq 0,05$) pela análise de variância / NS: não significativo ($p \leq 0,05$)
 239 pela análise de variância.
 240

241 Na tabela 1.4, observa-se o desdobramento da interação entre os fatores. Avaliando a
 242 resposta dos adubos verdes dentro de cada forma de inoculação, é importante salientar
 243 que, em todas as características avaliadas, a testemunha obteve as menores médias em
 244 relação aos demais adubos verdes utilizados.

245

246 Tabela 1.4. Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da
 247 espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do
 248 sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho orgânico

Adubo verde	Inoculação		
	<i>Azospirillum</i>	<i>Herbaspirillum</i>	Sem inoculação
Diâmetro da espiga (mm)			
Crotalária	38.28 bC	43.62 aA	40.99 bB
Feijão de porco	43.44 aA	44.84 aA	43.62 aA
Mucuna preta	44.00 aA	43.24 aA	43.17 aA
Controle	39.30 bA	39.55 bA	37.28 cB
Comprimento da espiga (cm)			
Crotalária	14.82 aA	15.16 aA	14.63 aA
Feijão de porco	15.41 aA	15.82 aA	14.72 aB
Mucuna preta	15.49 aA	14.44 bB	15.30 aA
Controle	12.39 bA	12.45 cA	11.60 bB
Grãos por fileira			
Crotalária	31.71 aA	31.18 bA	31.54 aA
Feijão de porco	32.52 aA	33.13 aA	31.41 aA
Mucuna preta	33.12 aA	29.60 bB	32.51 aA
Controle	25.44 bA	25.63 cA	23.98 bA
Peso da espiga (kg)			
Crotalária	0.1130 bA	0.0795 cB	0.1177 aA
Feijão de porco	0.1242 aB	0.1402 aA	0.1267 aB
Mucuna preta	0.1335 aA	0.1195 bA	0.1265 aA
Controle	0.0835 cA	0.0815 cA	0.0812 bA
Peso do sabugo (kg)			
Crotalária	0.0262 bA	0.0292 aA	0.0280 aA
Feijão de porco	0.0305 aA	0.0320 aA	0.0300 aA
Mucuna preta	0.0305 aA	0.0287 aA	0.0297 aA
Controle	0.0212 cA	0.0210 bA	0.0207 bA
Produtividade (Mg ha ⁻¹)			
Crotalária	5.81 aA	5.96 aA	5.64 aA
Feijão de porco	6.01 aA	6.59 aA	5.75 aA
Mucuna preta	6.42 aA	6.29 aA	5.76 aA
Controle	3.68 bA	3.63 bA	3.58 bA

249 Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Scott-Knott
 250 a 0.05 de probabilidade.

251

252 Para todas as características avaliadas, no presente trabalho, as leguminosas foram
 253 superiores em relação à testemunha, quando associadas ao tratamento sem inoculação,

exceto para diâmetro de espigas. O tratamento com crotalária teve resultado igual às outras leguminosas, nesta variável, apenas mediante à inoculação com *Hesbaspirillum seropedicae* (Tabela 1.4). Ao estudar a interação de *Herbaspirillum seropedicae* e adubação verde, Ávila et al. (2020) observaram efeito positivo na cultura do milho.

Para o comprimento de espiga, a crotalaria, mucuna preta e feijão de porco se igualaram na associação com *Azospirillum* e sem inoculação. Já quando foi utilizado o *Herbaspirillum*, a crotalaria e feijão de porco foram mais eficientes (Tabela 1.4). A interação dessa estirpe com as plantas de crotalária e feijão de porco auxilia no desempenho da cultura do milho, promovendo ganhos nos componentes de produção.

Ao avaliar a produção de grãos por fileira, novamente se igualaram a associação com *Azospirillum* e sem inoculação; e a utilização de *Herbaspirillum* com feijão de porco proporcionou 29,26% de incremento em relação à testemunha, 11,92% em relação à mucuna preta e 6,25% em relação à crotalaria (Tabela 1.4). Essas estirpes são capazes de produzir ácido indol acético – AIA (Sabino et al., 2012; Zhao et al., 2018; Mondal et al., 2019), o que estimula o crescimento das raízes, ampliando a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas.

O peso do sabugo e o peso da espiga mostraram a mesma resposta em relação à associação com *Azospirillum* e sem inoculação. Em ambas características, os adubos verdes foram superiores em relação à testemunha. Ao associar a inoculação com *Herbaspirillum* para o peso da espiga, o feijão de porco foi superior às demais leguminosas e com 72% superior à testemunha; já para o peso do sabugo, os adubos verdes se igualaram, sendo superiores às plantas espontâneas com o crescimento variando de 36,66% a 52,38% (tabela 1.4).

Alves et al. (2020), estudando o rendimento do milho inoculado com bactérias diazotróficas, observaram que a estirpe de *Herbaspirillum seropedicae* promoveu um

aumento na produtividade de grãos, tanto na ausência de adubo nitrogenado quanto na menor dose estudada. As bactérias apresentam potencial de auxiliar o desempenho das culturas, tanto com o fornecimento de nitrogênio como promotoras de crescimentos nas plantas, principalmente quando encontram condições adequadas para seu desenvolvimento.

Os tratamentos com todas as leguminosas estudadas promoveram efeito superior para produtividade de grãos no presente trabalho, mostrando a eficiência da técnica da adubação verde para o cultivo de milho orgânico.

Ao estudar a inclusão da leguminosa feijão de porco no sistema de cultivo, Saldanha et al. (2017) concluíram que a utilização da prática de adubação verde promoveu incremento significativo no desenvolvimento do milho.

De modo semelhante, ao analisar três anos de cultivo de milho em sucessão às leguminosas, Rani et al. (2022) concluíram que essas plantas permitem que os nutrientes sejam liberados e disponibilizados para as culturas seguintes, proporcionando um menor custo de produção, assim como um cultivo mais sustentável, sem perdas na produtividade.

Na safra 2021/2022, a produtividade média nacional de milho foi de 5,24 Mg ha⁻¹ e na Bahia 3,0 Mg ha⁻¹ em sistema convencional de cultivo (CONAB, 2022). No presente trabalho, as produtividades alcançadas com a utilização da adubação verde (Tabela 4) foram superiores à produtividade média do país.

Analisando o desdobramento da interação inoculação dentro de cada fonte de adubação verde, no tratamento controle (plantas espontâneas), observa-se que houve diferença significativa, sendo que os tratamentos com as estirpes foram superiores em relação às plantas não inoculadas, nas variáveis diâmetro e comprimento de espigas (Tabela 1.4). Corroborando o estudo, Matsuo et al. (2022) relatam que o efeito da inoculação de bactéria diazotrófica promove melhores desempenhos na cultura do milho.

Para a produtividade de grãos, no desdobramento da interação da inoculação dentro de cada fonte de adubo verde, observa-se que não houve diferença significativa entre o fator inoculação. Porém, quando comparada dentro da leguminosa feijão de porco, a estirpe de *Hesbaspirillum seropedicae* promove um incremento de quatorze sacas por hectare, em relação ao tratamento sem inoculação. As bactérias associativas podem promover expansão do sistema radicular das plantas, aumentando o potencial de absorção de nutrientes, o que resulta no melhor desempenho produtivo.

Nos tratamentos sem leguminosas (testemunha), quando inoculados com *Azospirillum brasilense*, alcançou-se 3,68 Mg ha⁻¹ e com *Herbaspirillum seropedicae* 3,63 Mg ha⁻¹. Esses valores foram superiores à produtividade média encontrada por Valentini et al. (2021) ao estudar trinta e seis variedades de milho em sistema orgânico de cultivo.

A inoculação das estirpes de *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense*, na ausência de adubação nitrogenada na cultura do milho, promove aumento da produtividade de grãos, segundo Alves et al. (2020), o que corrobora os resultados deste estudo.

Ao analisar a associação da inoculação e adubação verde, na produtividade de grãos, a resposta foi igual para todas as estirpes; e no tratamento sem inoculação, as leguminosas foram superiores em relação à testemunha. A associação com *Azospirillum* e sem inoculação, ambos com mucuna preta, promoveu incrementos de 2,64 Mg ha⁻¹ e 2,18 Mg ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1.4).

Ao utilizar a inoculação com *H. seropedica*, observa-se que, quando associada ao feijão de porco, a produtividade é de 2,96 Mg ha⁻¹, superior em relação à testemunha, perfazendo 44,91% (Tabela 1.4). A interação da adubação verde com as bactérias associativas beneficia o desempenho agrônomo do milho em cultivo orgânico. Isso pode ser explicado pelos benefícios proporcionados pela matéria orgânica, como: cobertura do

solo, temperatura e umidade adequada para proliferação dos microrganismos. Embora o feijão de porco tenha apresentado um menor volume de massa fresca em relação à crotalária, revelou alta eficiência em aporte de nitrogênio, como demonstrado por Pereira et al. (2017).

A resposta positiva da associação de bactérias diazotróficas e adubação verde na cultura do milho, em cultivo orgânico, é essencial para o manejo da cultura, visto que o nitrogênio é um dos principais elementos que limita a produção; e no sistema orgânico, a utilização de fertilizantes sintéticos é proibido, assim, outros meios que consigam disponibilizar esse nutriente e ainda melhorar as condições do solo são de suma importância.

Ao analisar o tratamento com crotalária, a inoculação de *Herbaspirillum* foi superior apenas para a variável diâmetro da espiga e não houve diferença entre os tipos de inoculação no comprimento das espigas, grãos por fileira, peso da espiga e produtividade. Para um melhor desempenho das bactérias, é necessária uma disponibilidade inicial de nitrogênio. A crotalária, por apresentar estruturas mais lignificadas, pode ter dificultado o processo de decomposição por ciclagem.

No tratamento testemunha (plantas espontâneas), observou-se que a inoculação com *Herbaspirillum* e *Azospirillum* foi superior para diâmetro e comprimento de espigas e promoveu incremento de 100 e 50 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos, respectivamente.

A figura 1.2 (A e B) mostra a análise multivariada dos dados apresentados em avaliação dos componentes principais da associação de inoculantes de bactérias diazotróficas e adubo verde em cultivo de milho orgânico, a análise explica 94,38% dos componentes, sendo que o eixo X explica 88,54% das interações.

Observa-se, na figura 1.2A, que o tratamento sem inoculação se distanciou dos demais, não interferindo significativamente no desenvolvimento das características estudadas. Na

354 mesma figura, observa-se que a produtividade e peso do sabugo foram as características
355 mais próximas do eixo X e que se correlacionam fortemente com a utilização do
356 *Herbaspirillum*.

357 Na figura 1.2B, observa-se que as plantas espontâneas se isolam da interação dos
358 fatores de crescimento desse milho orgânico, da produtividade e demais características,
359 sendo fortemente influenciadas pela ação do feijão de porco e mucuna preta.

360

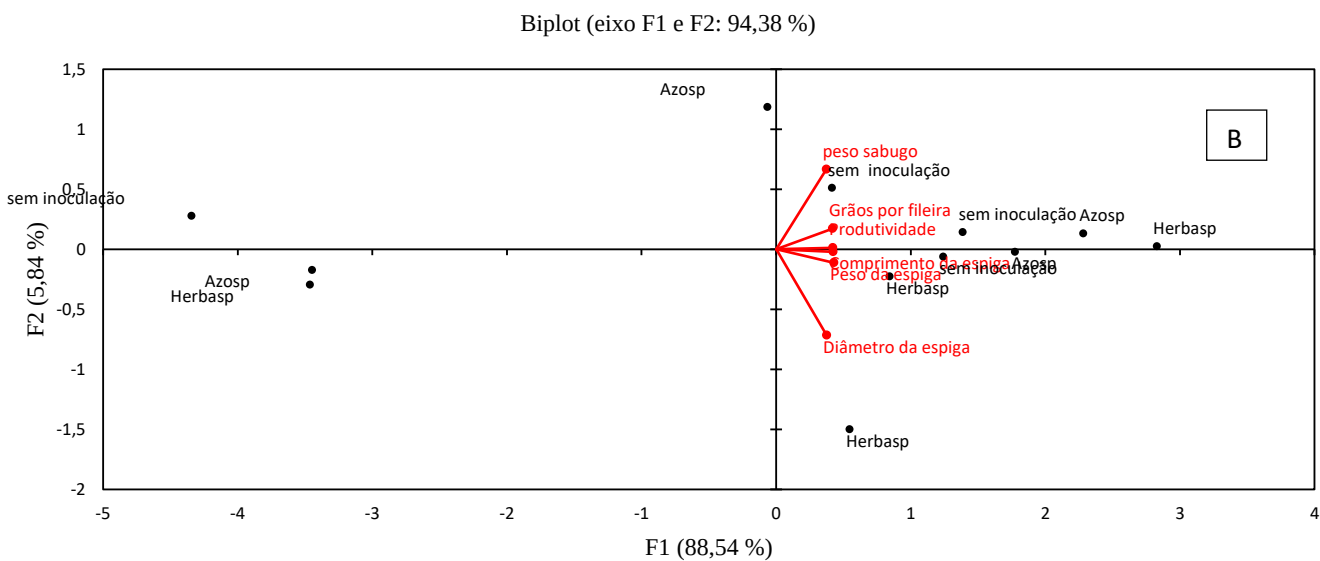
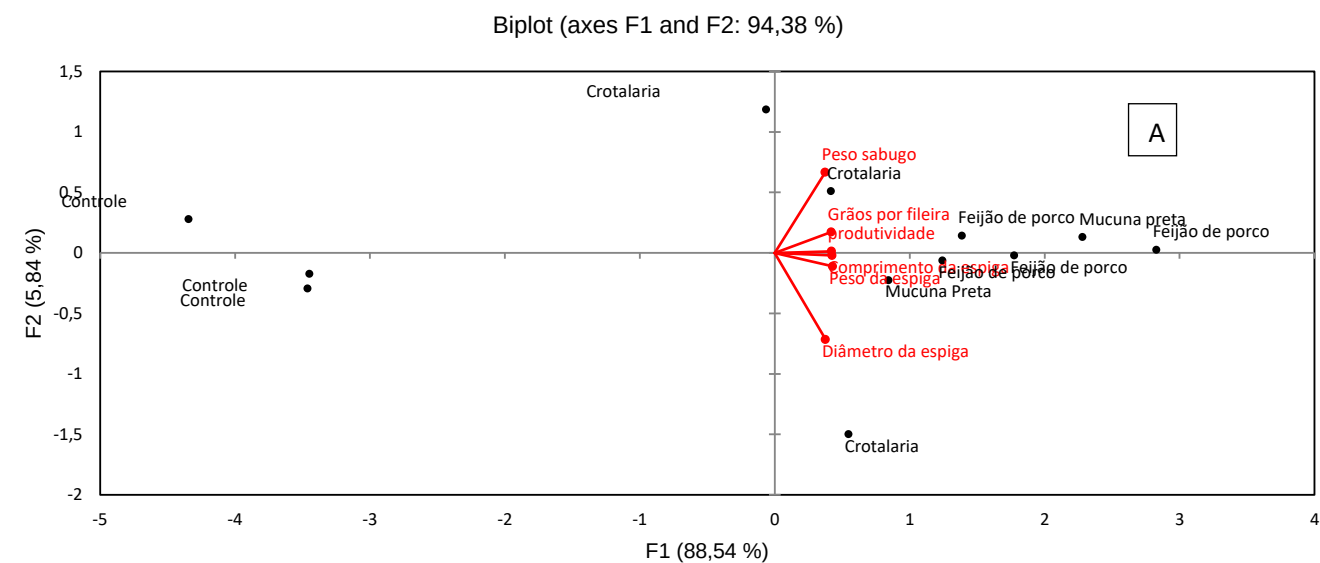


Figura 1.2. Componentes principais da associação de inoculantes de bactérias diazotróficas e adubo verde em cultivo de milho orgânico.

No estudo da análise multivariada, fica mais evidente a ação do *Herbaspirillum* e sua associação positiva com a mucuna preta e o feijão de porco, influenciando positivamente o incremento de produção no milho. Ainda que a produção de massa seca da crotalária tenha sido maior que as outras leguminosas (Tabela 2), seu processo de degradação pode ser mais demorado, permanecendo por maior tempo no solo, devido a sua relação C/N ser superior. Pereira et al. (2017) verificaram que a crotalária e feijão de porco não apresentam diferença significativa quanto ao aporte de nitrogênio.

Chieza et al. (2017), avaliando a produção e aspecto econômico de milho consorciado com crotalária em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico, observaram que a crotalária, quando cultivada na primavera-verão, apresentou potencial de fornecer nitrogênio como alternativa à adubação mineral.

Silva et al. (2021) afirmam que o uso de plantas de cobertura é uma alternativa para melhorar a qualidade do solo, beneficiar as culturas comerciais em sucessão e contribuir para intensificação de uma agricultura sustentável.

A utilização de plantas de cobertura é uma alternativa para melhorar a qualidade do solo, beneficiar as culturas comerciais em sucessão e contribuir para intensificação de uma agricultura sustentável (Silva et al., 2021). No presente trabalho, observa-se que, nos tratamentos com leguminosas, os resultados foram positivos, tanto pelo aporte de nitrogênio e outros nutrientes devolvidos no processo de ciclagem, como na proteção desempenhada por elas, pois não houve incorporação do material vegetal, o que permite uma maior cobertura, menor revolvimento do solo, manutenção das condições adequadas para atividade e proliferação da microbiota do solo.

As bactérias associativas contribuem de forma significativa para alcançar altas produtividades com menores impactos ambientais. Além de auxiliarem na fixação biológica, algumas estipes, como do gênero *Azospirillum*, são capazes de produzir auxinas que melhoram o desempenho das culturas. Matsuo et al. (2022), estudando o crescimento inicial de híbrido de milho coinoculado com *Azospirillum brasilense*, observaram maior desenvolvimento radicular e fitomassa da parte aérea nas plantas que receberam o tratamento com esses microrganismos.

No presente trabalho, fica evidente que o cultivo orgânico de milho associado a bactérias diazotróficas e adubo verde influenciam significativamente a produtividade final do milho, sendo essa alternativa viável para o cultivo orgânico.

CONCLUSÕES

- 1- A produtividade de grãos, obtida através de inoculação das bactérias associadas aos adubos verdes, foi maior que a produtividade de grãos nacionais da safra 2021/2022.
- 2- A associação entre *Herbaspirillum seropedicae* e feijão de porco proporcionou o maior peso de espigas.
- 3- Os incrementos de produtividade proporcionados pela inoculação foram maiores, quando utilizados leguminosas como adubos verdes.

AGRADECIMENTO

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pelo auxílio (AUXPPI-PAR 2018) e (0018/2022).

LITERATURA CITADA

- Alves, G. C.; Sobral, L. F.; Reis, V. M. Grain yield of maize inoculated with diazotrophic bacteria with the application of nitrogen fertilizer. *Revista Caatinga*, v.33, p.644-652, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n307rc>
- Arf, O.; Meirelles, F. C.; Portugal, J. R.; Buzetti, S.; Sá, M. E. de; Rodrigues, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na produtividade em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.17, p.431-444, 2018. <https://doi.org/10.18512/1980-6477%2FRBMS.V17N3P431-444>
- Ávila, J. S.; Ferreira, J. S.; Santos, J. S.; Rocha, P. A. da; Baldani, V. L. D. Green manure, seed inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and nitrogen fertilization on maize yield. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, p.590-595, 2020. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n9p590-595>
- Banzatto, D. A.; Kronka, S. N. Experimentação agrícola. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011. 237p.
- Chieza, E. D.; Guerra, J. G. M.; Araújo, E. da S.; Espindola, J. A.; Fernandes, R. C. Produção e aspecto econômico de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. *Revista Ceres*, v.64, p.189-196, 2017. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764020012>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: DF, v.9, n.12, 2022. 88p.
- Dartora, J.; Guimarães, V. F.; Marini, D.; Sander, G. Adubação nitrogenada associada à inoculação com *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1023-1029,

2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001000001>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. revisada ampliada. Brasília: DF, 2018. 356p.

Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system to fixed effects split-plot designs: Sisvar. *Brazilian Journal of Biometrics*, v.37, p.529-535, 2019. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

Ferreira, J. S.; Santos, R. K. A.; Lima, M. C. D. de; Nascimento, M. dos S.; Ávila, J. S.; Almeida Filho, R. L. da S.; Baldani, V. L. D. Inoculation and reinoculation of the *Herbaspirillum seropedicae* in two rice lowland varieties. *Research, Society and Development*, v.10, p.1-8, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23873>

Gazzola, R.; Souza, G. da S. e; Martinelli, S. S.; Sousa, A. A. de; Proença, R. P. da C. Renta de agricultores y agroindústrias cooperados em Santa Catarina, Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.14, p.69-77, 2019. <https://doi.org/10.18378/rvads.v14i1.5977>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Available on: <http://www.inpe.br>. Accessed on: Fev. 2023.

Kappes, C.; Arf, O.; Andrade, J. A. da C. Produtividade de milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.37, p.1310-1321, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500020>

Leal, M. L. de A.; Chaves, J. da S.; Silva, L. S. da; Soares, R. B.; Nascimento, J. P. S. do; Matos, S. M. de; Teixeira Junior, D. L. T.; Brito Neto, A. F. de B. Effect of management systems and land use on the population of soil microorganisms. *Research, Society and Development*, v.10, p.1-11, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i9.17966>

462 Marcolini, B. P.; Santos, W. F.; Dias, V. C.; Afférri, F. S.; Souza, C. M.; Pelúzio, J. M.
 463 Efeito do nitrogênio e *Azospirillum brasilense* em teores de proteína do milho na
 464 entressafra. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.15, p.1-12, 2022.
 465 <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n2e8892>
 466 Matsuo, O.; Zucareli, C.; Horácio, E. H.; Alves, L. A. R.; Saab, O. J. G. A. Co-inoculation
 467 of *Anabaena cylindrica* and *Azospirillum brasilense* during initial growth and
 468 chloroplast pigments of corn. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
 469 v.26, p.97-102, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n2p97-102>
 470 Mondal, M.; Biswas, J. K.; Tsang, Y. F.; Sarkar, B.; Sarkar, D.; Rai, M.; Sarkar, S. K.;
 471 Hooda, P. A wastewater bacterium *Bacillus* sp. KUJM2 acts as an agent for
 472 remediation of potentially toxic elements and promoter of plant (*Lens culinaris*)
 473 growth, Chemosphere, v. 232, p.439-452, 2019.
 474 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.156>.
 475 Moreno, A. L.; Kusdra, J. F.; Picazevicz, A. A. C. Crescimento do milho em resposta a
 476 *Azospirillum brasilense* e nitrogênio. Revista Ibero Americana de Ciências
 477 Ambientais, v.10, p.287-294, 2019. [http://doi.org/10.6008/CBPC2179-](http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0025)
 478 [6858.2019.005.0025](http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0025)
 479 Nunes, D. O.; Favaro, J. H. de S.; Charlo, H. C. de O.; Loss, A.; Barreto, A. C.; Torres,
 480 J. L. R. Green and sweet corn grown under different cover crops and phases of the no-
 481 tillage system. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.26. p.173-
 482 179, 2022. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n3p173-179>
 483 Oliveira, T. P.; Braz, M. G.; Smaniotto, A. O.; Silva, D. F. P.; Cruz, S. C. S. Advancing
 484 nitrogen fertilization of corn using *Brachiaria ruziziensis* as cover crop. Revista
 485 Caatinga, v.34, p.9-19, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252021v34n102rc>
 486 Pereira, A. P.; Schoffel, A.; Koefender, J.; Camera, J. N.; Golle, D. P.; Horn, R. C.

487 Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. Revista de Ciências
488 Agrárias, v.40, p.799-807, 2017. <https://doi.org/10.19084/RCA17065>

489 Rani, Y. S.; Jamuna, P.; Triveni, U.; Patro, T. S. S. K.; Anaradha, N. Effect of in situ
490 incorporation of legume green manure crops on nutrient bioavailability, productivity
491 and uptake of maize. Journal of Plant Nutrition, v.45. p.1004-1016, 2022.
492 <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2005802>

493 Sabino, D. C. C.; Ferreira, J. S.; Guimarães, S. L.; Baldani, V. L. D. Bactérias
494 diazotróficas como promotoras de desenvolvimento inicial de plântulas de arroz.
495 Biosfera, v.8, p.2337-2345, 2012.
496 <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3742>

497 Saldanha, E. C. M.; Silva Junior, M. L. S. da; Alves, J. D. N.; Marino, D. de C.; Okumura,
498 R. S. Consórcio milho e feijão de porco adubado com NPK no Nordeste do Pará.
499 Global Science and Technology, v.10, p.20-28, 2017.
500 <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/846>

501 Silva, M. A.; Nascente, A. S.; Frasca, L. L. de M.; Rezende, C. C.; Ferreira, E. A. S.;
502 Filippi, M. C. C. de; Lanna, A. C.; Ferreira, E. P. de B.; Lacerda, M. C. Plantas de
503 cobertura isoladas e em mix para melhoria da qualidade do solo e das culturas
504 comerciais no Cerrado. Research, Society and Development, v.10, p.1-11, 2021.
505 <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008>

506 Teodoro, R. B.; Oliveira, F. L. de; Silva, D. M. N. da; Favero, C.; Quaresma, M. A. L.
507 Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto Vale
508 do Jequitinhonha. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.35, p.635-643, 2011.
509 <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200032>

510 United States. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy.12.ed. Lincoln: USDA NRCS.
511 2014. Available at: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey>.

512 Accessed on: Jan 30, 2023

513 Valentine, L; Araújo, M. L. de; Shimoya, A.; Ferreira, J. M.; Oliveira, L. A. A. de; Silva,
514 J. A. da C. e. Produtividade de variedades de milho em sistema de produção
515 convencional e orgânico no Estado do Rio de Janeiro, ano agrícola 2018/2019.
516 Pesagro: Rio de Janeiro, p.1-8, 2021. Available on:
517 https://www.pesagro.rj.gov.br/itonline_2021. Accessed on: Sep. 2022.

518 Ventura, M. V. A. Lucas, L. S. Lima, I. R.; Lopes, P. B.; Dias, T. V. D.; Santos, M. E. F.;
519 Ribeiro, R. M.; Santos, L. B. M.; Souza, R. F.; Moura, J. B. Different methods of
520 inoculation of nitrogen-fixing bacteria (*Azospirillum*) specific of grasses in sorghum.
521 Agronomic Journal, v.4, p.1-8, 2020. [https://doi.org/10.37951/2595-](https://doi.org/10.37951/2595-6906.2020v4i2.6366)
522 6906.2020v4i2.6366

523 Zhao, C.Z.; Huang, J.; Ganeshwar, P.; Zhao, D. *Rhizobium* sp. IRBG74 alters
524 Arabidopsis root development by affecting auxin signaling. *Frontiers in Microbiology*,
525 v.8, p.1-12, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02556>

ARTIGO II

**Produtividade do cultivo orgânico de milho semeado em sucessão à
adubação verde e associado à inoculação de bactérias diazotróficas***

* **Situação:** Não submetido

Produtividade do cultivo orgânico de milho semeado em sucessão à adubação verde e associado à inoculação de bactérias diazotróficas

Joseani Santos Ávila¹. Joilson Silva Ferreira². Rayka Kristian Alves Santos². Pablo Alves da Rocha³. Maida Cynthia Duca de Lima⁴. Sylvana Naomi Matsumoto².

¹Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil

²Professor Titular do Departamento de Fitotecnia e Zootecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil

³Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, Ilheus-BA

⁴Doutora pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, Brasil

Highlights

Produção de milho em sucessão a leguminosas em agroecossistema orgânico.

Adubação verde e inoculação de bactéria no cultivo orgânico de milho.

Efeito residual da adubação verde na produção de milho sob sistema de plantio direto.

RESUMO – O cultivo orgânico de milho tem crescido gradativamente e a busca por produtos agroecológicos tem sido uma opção de muitos, tanto pela alimentação saudável como pelo cuidado com o meio ambiente. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas na produtividade do híbrido milho AG1051, sob o sistema orgânico de cultivo em dois experimentos consecutivos. Os experimentos foram conduzidos no Sítio Vale da Jaqueira (área com certificação orgânica), povoado da Estiva, município de Vitória da Conquista, BA (14° 52' 6" S, 40° 44' 55" O, altitude 917 m), no período de agosto de 2021 a abril de 2022, cultivo das leguminosas e primeiro experimento; e novembro de 2022 a junho de 2023, segundo experimento em plantio direto. O delineamento foi em blocos casualizados, esquema fatorial 4 x 3. Os fatores foram: Adubação verde (mucuna preta, crotalária, feijão de porco, plantas espontâneas) e inoculação (*Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* e sem inoculação), constituindo doze tratamentos com quatro repetições. A semeadura do milho (primeiro experimento) foi realizada após as leguminosas atingirem seu florescimento, as quais foram caracterizadas quanto à produção de massa e, posteriormente, cortadas sobre o solo. O segundo foi realizado em semeadura direta, por cima da palhada do primeiro experimento, seguindo os mesmos tratamentos anteriores, e as sementes foram inoculadas com as mesmas estirpes correspondentes a cada parcela já estabelecida no primeiro. Avaliou-se os componentes de produção: comprimento e diâmetro de espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga despilhada, peso sabugo e a produtividade de grãos em dois experimentos. A associação entre os adubos verde e inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense*, tanto no primeiro como no segundo experimento, apresentou resultado positivo para produtividade de grãos de milho. No segundo experimento, todos os tratamentos da adubação verde associada à inoculação foi superior para *Herbaspirillum seropedicae*, seguido de *Azospirillum brasilense* para produtividade de grãos de milho, e a melhor interação foi verificada entre a crotalária e mucuna preta associada à estirpe de *Herbaspirillum seropedicae*. O sistema de plantio direto, no segundo experimento,

favoreceu para a produtividade de grãos da cultura do milho no sistema orgânico de cultivo.

Palavras-chave: Fixação Biológica de Nitrogênio, leguminosas, bactérias associativas.

ABSTRACT - Organic maize cultivation has gradually grown and the search for agroecological products has been an option for many, both for healthy eating and for caring for the environment. The objective of this study was to evaluate the effect of green manure and inoculation with diazotrophic bacteria on the productivity of the AG1051 maize hybrid, under the organic cultivation system in two consecutive experiments. The experiments were conducted at Sítio Vale da Jaqueira (area with organic certification), village of Estiva, municipality of Vitória da Conquista, BA (14° 52' 6" S, 40° 44' 55" W, altitude 917 m), during the August 2021 to April 2022 cultivation of legumes and the first experiment and November 2022 to June 2023, second experiment in direct planting. The design was in randomized blocks, a 4 x 3 factorial scheme. The factors were: Green manure (mucuna preta, sunn hemp, jack beans, spontaneous plants) and inoculation (*Herbaspirillum seropedicae*, *Azospirillum brasilense* and without inoculation), constituting twelve treatments with four repetitions. Corn sowing (first experiment) was carried out after the legumes reached flowering, which were characterized for mass production and subsequently cut to the ground. The second was carried out in direct sowing, on top of the straw from the first experiment, following the same previous treatments and the seeds were inoculated with the same strains corresponding to each plot already established in the first. The production components were evaluated: ear length and diameter, number of grains per row, husked ear weight, cob weight and grain productivity in the two experiments. The association between green manures and inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense* in both the first and second experiments showed positive results for corn grain productivity. In the second experiment, all green manure treatments associated with inoculation were superior for *Herbaspirillum seropedicae* followed by *Azospirillum brasilense* for corn grain productivity and the best interaction was verified between sunn hemp and black mucuna associated with the strain of *Herbaspirillum seropedicae*. The direct planting system in the second experiment favored the grain productivity of the corn crop in the organic cultivation system.

Keyword: Biological Nitrogen Fixation. Legumes. Associative bacteria.

1 INTRODUÇÃO

O milho é um dos grãos de grande destaque no cenário brasileiro, pois está presente na alimentação humana e animal, sendo o principal cereal cultivado no Brasil. A produção nacional, na safra 2022/2023, foi de 131,9 milhões de toneladas, com uma produtividade média nacional de 5.922 kg ha⁻¹, enquanto a região Nordeste e o estado da Bahia apresentaram produtividade média de 3.138 kg ha⁻¹ e 3.589 kg ha⁻¹, respectivamente (Conab, 2023). Entretanto, esses dados não são separados por sistema de produção. O cultivo orgânico de milho tem crescido gradativamente e a busca por produtos agroecológicos tem sido uma opção de muitos, tanto pela alimentação saudável como pelo cuidado com o meio ambiente.

Para produzir dentro do sistema orgânico, fontes de adubação industrializadas não são permitidas pela legislação que rege a produção orgânica, já que, desde o processo de fabricação até a aplicação dos fertilizantes sintéticos, causam degradação ambiental.

A cultura do milho é extremamente exigente em nitrogênio e sua ausência pode limitar o potencial produtivo da cultura. Uma das formas de fornecer esse nutriente é através da adubação verde e com a utilização da inoculação de bactérias diazotróficas associativas, de formas isoladas ou em conjunto. De forma separada, diversos estudos foram realizados para verificar a contribuição de plantas leguminosas, como adubação verde na cultura do milho com resultados positivos para elevação da produtividade de grãos (Albuquerque et al., 2013; Chieza et al., 2017; Michelon et al., 2019; Alcântara et al., 2022).

Outros estudos também foram realizados com o intuito de verificar o desempenho produtivo de plantas não leguminosas com inoculação de bactérias associativas. Autores relatam a contribuição tanto das bactérias do gênero *Azospirillum* como *Herbaspirillum* no incremento de produtividade das culturas (Ferreira et al., 2011; Estrada et al., 2013; Alves et al., 2020; Ferreira et al., 2021; Nascimento et al., 2021; Santos et al., 2023).

Para verificar o efeito da interação entre as leguminosas junto com a inoculação de bactérias diazotróficas, também já existem alguns trabalhos, como o desenvolvido por Ávila et al. (2020) com uma espécie de leguminosa e uma estirpe de bactéria diazotrófica que apresentou resultado positivo e com diferentes leguminosas e estirpes de bactérias associativas (Ávila et al., 2023), na região sudoeste da Bahia.

Levantamento realizados pela Conab, mostra que cerca de 432 mil hectares (11% da área cultivo de milho da Bahia) são cultivadas por agricultores familiares e a

produtividade média alcançada é de 840 kg ha⁻¹, enquanto os 89% restantes são de médio e grandes produtores que têm a produtividade de 10.800 kg ha⁻¹, com a utilização dos pacotes tecnológicos (Conab, 2021). Inserir práticas como a adubação verde e inoculação de bactérias diazotróficas nos sistemas produtivos dos agricultores familiares pode aumentar o potencial produtivo da cultura sem onerar o custo de produção ao se comparar com os investimentos de insumos agrícolas e com maior cuidado com o meio ambiente.

Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar diferentes espécies leguminosas, como adubação verde, e seu efeito residual associada a duas estirpes de bactérias diazotróficas no cultivo de milho, em sistema orgânico, em dois experimentos consecutivos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de condução e dados Climáticos do primeiro e segundo experimento

A condução dos experimentos foi realizada com o híbrido de milho AG1051, no Sítio Vale da Jaqueira, comunidade Estiva, Vitória da Conquista - BA (14°52'6" S e 40°44'55"W e 917 m de altitude), no período de agosto de 2021 a abril de 2022, primeiro experimento; e o segundo, de novembro 2022 a março 2023. A região apresenta temperatura média anual de 20,4 °C, e pluviosidade anual de 733,9 mm, distribuída de novembro a março (INPE, 2023), conforme pode ser verificado na Figura 2.1, que demonstra dados climáticos durante a condução dos dois experimentos.

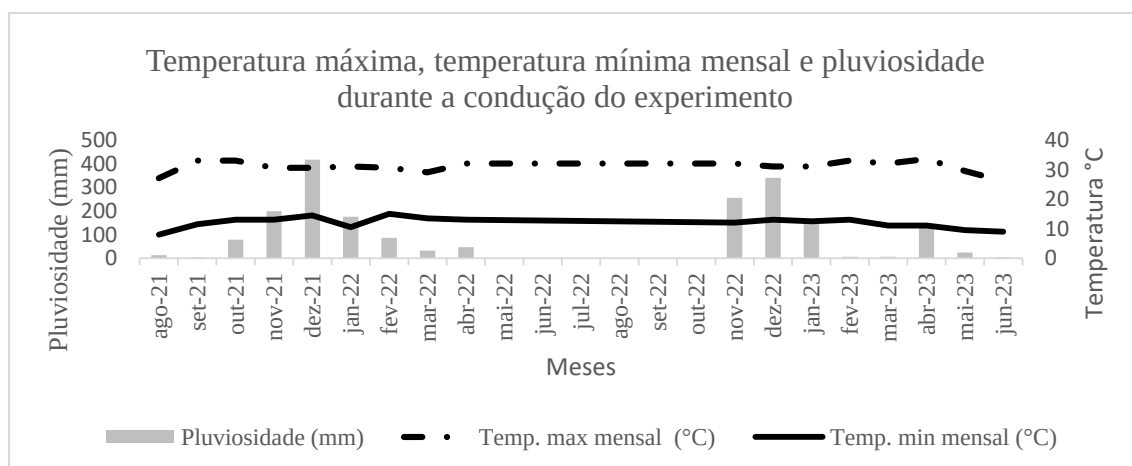


Figura 2.1. Precipitação mensal, temperatura máxima e mínima durante a condução dos dois experimentos. Dados climáticos extraídos da plataforma do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

2.2 Classificação do solo e histórico da área

A classificação do solo é Latossolo Vermelho (Embrapa, 2018), que corresponde a Oxisol (United States, 2014), com classe textural Franco Argilo Arenosa. As características químicas antes da semeadura das leguminosas, na camada de 0-20 cm de profundidade, foram as seguintes: pH em (H₂O) = 6,0; P (mg dm⁻³) = 56; SB (cmol_c dm⁻³ de solo) = 5,6; t (cmol_c dm⁻³ de solo) = 5,8; T (cmol_c dm⁻³ de solo) = 10,3; V(%) = 54. Realizou-se uma calagem, com 2 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 75 dias antes da instalação do experimento, de acordo com Ribeiro et al. (1999), sendo com a distribuição a lanço. Na análise de solo, antes do cultivo do milho, na profundidade de 0-20 cm, os resultados foram os seguintes: pH em (H₂O) = 6,3; P (mg dm⁻³) = 54; SB (cmol_c dm⁻³ de solo) = 6,0; t (cmol_c dm⁻³ de solo) = 6,2; T (cmol_c dm⁻³ de solo) = 11,9; V(%) = 54,5.

O experimento foi conduzido em uma área que possui certificação orgânica, via OPAC. A unidade produtiva passa por transição agroecológica contínua, desde o ano de 2016, adotando-se manejo de acordo com a Lei 10.831/2023. Antes da instalação do experimento, a área havia sido cultivada, durante dezoito meses, com morangos em sistema orgânico e seis meses de pousio. Nessa mesma área, entre os anos de 2015 e 2016, foi conduzido um trabalho de dissertação do mestrado, utilizando-se uma estirpe de bactéria diazotrófica, mucuna preta como adubação verde e dose de nitrogênio recomendada para a cultura (Ávila et al., 2020), onde foi verificada a possibilidade do cultivo de milho sem a utilização de adubação nitrogenada sintética, surgindo a necessidade de realizar outras pesquisas com diferentes adubos verdes e estirpes de bactérias diazotróficas.

2.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 4x3, com quatro repetições, totalizando 12 tratamentos e 48 parcelas, constituídos de quatro tipos de adubação verde (plantas espontâneas – testemunha; mucuna preta; crotalária e feijão de porco) e três modos de inoculação (com estipes de *Herbaspirillum seropedicae* [ZAE

94]; *Azospirillum brasilense* [Ab-V5 e Ab-V6] e sem inoculação [testemunha]). As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de três metros de comprimento, espaçadas com 0,7 metros, totalizando uma área de 8,4 m² por parcela. Como área útil, adotou-se as três linhas centrais de cada parcela, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade (Figura 2.2). Houve uma distância de 0,5 m entre as parcelas e 1,5 m entre blocos (Figura 2.3).

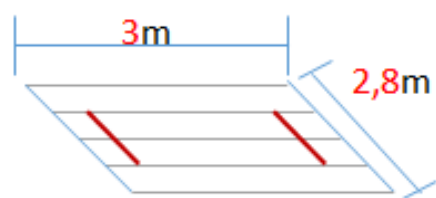


Figura 2.2 – Esquema representativo das parcelas experimentais

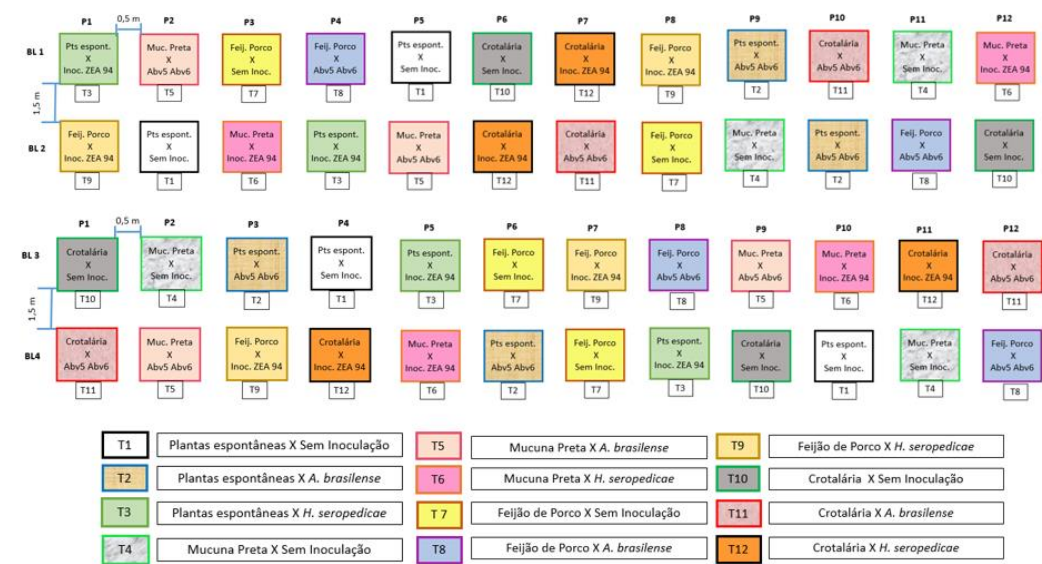


Figura 2.3 – Croqui com a distribuição dos tratamentos

Para compor este trabalho, foram realizados dois experimentos, dos quais o primeiro foi dividido em duas etapas, a primeira foi a semeadura e condução das leguminosas utilizadas como adubação verde, nas parcelas correspondentes ao tratamento, adotando-se um espaçamento de 0,5 metros entre linhas, oito sementes por metro linear para feijão de porco e mucuna preta e quarenta sementes por metro linear para crotalária, segundo a recomendação da Embrapa. As parcelas-testemunha (plantas espontâneas) foram separadas, preservando-se as plantas que nasceram naturalmente no local (Ávila et al., 2023).

As sementes das leguminosas foram inoculadas conforme Ávila et al. (2023). A semeadura foi realizada em agosto 2021, manualmente, e os sulcos foram abertos com enxadas cento e vinte dias antes da semeadura do milho.

O material vegetal das leguminosas e plantas espontâneas foi caracterizado conforme descrito por Ávila et al. (2023). Os resultados de massa seca da parte aérea foram extrapolados para Mg ha^{-1} .

Logo depois que o material foi coletado para caracterização, realizou-se o corte das plantas espontâneas e dos adubos verdes, com uma roçadeira manual. Utilizou-se uma tela de proteção para que todas as plantas permanecessem em suas respectivas parcelas. O material foi depositado ao solo, quinze dias antes da semeadura do híbrido AG1051.

2.4 Semeadura e condução do primeiro experimento

A semeadura do milho (primeiro experimento) foi realizada manualmente em dezembro de 2021, distribuindo-se vinte e cinco sementes por linha. A inoculação da semente de milho foi realizada com bactérias diazotróficas da espécie de *Herbaspirillum seropedicae*, ZAE94 (BR 11417), e *Azospirillum brasilense* (AbV5 e AbV6) com população estabelecida em 10^9 células mL^{-1} . O inoculante foi em meio líquido na dosagem de 100 mL ha^{-1} , conforme recomendação dos fabricantes inoculantes comerciais autorizados pelo Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA).

O desbaste foi realizado aos 25 dias após a semeadura, deixando-se doze plantas na linha de plantio. Os tratos culturais foram conduzidos seguindo as normas estabelecidas para sistema orgânico de cultivo.

A colheita do primeiro experimento foi realizada em abril de 2022, cuja umidade estava em torno de 20%. As espigas foram levadas para secagem a céu aberto, permanecendo no local até atingir a umidade por volta de 13%. Logo após, procedeu-se com as avaliações dos componentes de produção e produtividade de grãos.

Após a colheita, foi realizado o corte das plantas do milho, deixando-as nas mesmas parcelas, formando a palhada para condução do segundo experimento em sistema de plantio direto.

2.5 Semeadura e condução do segundo experimento

O segundo experimento foi realizado em sistema de plantio direto. Após a colheita do milho do primeiro experimento, a palhada foi cortada rente ao solo, deixando-a despoitada nas devidas parcelas. A semeadura direta foi realizada em novembro de 2022, utilizando-se vinte e cinco sementes por linha de plantio em casa parcela, preservando os mesmos tratamentos estabelecidos no primeiro experimento, para verificar o efeito residual das leguminosas, conforme Figura 2.3.

As sementes foram inoculadas, no dia da semeadura, com bactérias diazotróficas da espécie de *Herbaspirillum seropedicae*, ZAE94 (BR 11417), e *Azospirillum brasilense* (AbV5 e AbV6) com população estabelecida em 10^9 células mL⁻¹. O inoculante foi em meio líquido, na dosagem de 100 mL ha⁻¹, conforme recomendação dos fabricantes inoculantes comerciais autorizados pelo Ministério de Agricultura e Pecuária (MAPA).

Foi realizado o desbaste vinte e cinco dias após a semeadura, deixando quatro plantas por metro linear. Os tratos culturais foram conduzidos seguindo as normas estabelecidas para sistema orgânico de cultivo.

A colheita do segundo experimento foi realizada em março de 2023, quando as espigas foram colocadas para secar a céu aberto até atingir a umidade em torno de 13%, para realizar as avaliações de componentes de produção e produtividade de grãos.

2.6 Variáveis analisadas nos dois experimentos

Separou-se aleatoriamente dez espigas de cada parcela experimental, para avaliar os componentes de produção. No mesmo dia da avaliação, foram realizados testes de umidade dos grãos em cada parcela, para posterior correção da produtividade de grãos a 13% de umidade.

Foram avaliados: comprimento e diâmetro de espigas, com o auxílio de régua graduada e paquímetro digital, respectivamente.

O número de grãos por fileira foi mensurado através da média da contagem dos grãos em três fileiras representativas em cada espiga. O peso da espiga sem palha e o peso do sabugo foram retirados com o auxílio de uma balança digital com dois dígitos de precisão.

A produtividade de grãos foi calculada utilizando todos os grãos da área útil (incluindo os grãos das espigas que foram utilizadas para as avaliações dos componentes

de produção). Os grãos foram pesados em balança digital (com dois dígitos de precisão) e os valores foram extrapolados para Mg ha^{-1} , após a correção da umidade para 13%.

2.7 Procedimentos estatísticos dos dois experimentos

Os dados obtidos passaram pela análise de normalidade dos erros (Teste de Lilliefors), homogeneidade das variâncias (Teste de Bartlett), conforme recomendação de Banzatto & Kronka (2011), análise de variância e médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Para as médias e análise de variância das leguminosas e plantas espontâneas que fizeram parte dos tratamentos relacionados ao adubo verde, a nível de caracterização, aplicou-se também o teste Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa Sisvar 5.3 (Ferreira, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resumos da análise de variância para massa fresca (MF) massa seca (MS) da parte aérea das leguminosas e plantas espontâneas, com seus respectivos coeficientes de variação, estão apresentados na Tabela 2.1. A análise estatística indicou que houve diferença significativa para as características avaliadas.

Tabela 2.1 Resumo da análise de variância dos dados relativos à massa fresca (MF) e massa seca (MS) de leguminosas cultivadas como adubo verde e plantas espontâneas utilizadas como culturas antecessoras ao cultivo do híbrido de milho AG 1051 em sistema orgânico

FV	Quadrado médio		
	GL	MF	MS
Adubo verde	3	0,7611*	47,8266*
Bloco	3	1,1122 ^{ns}	0,2266 ^{ns}
CV (%)		2,70	4,77

*Significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância; ^{ns} não significativo ($p \leq 0.05$) pela análise de variância.

Para massa fresca, a crotalária foi superior em relação à testemunha e às outras leguminosas estudadas (Tabela 2.2). Resultado semelhante ao encontrado por Brito et al. (2017). A crotalária é uma espécie que apresenta maior altura de planta em relação à

mucuna preta e ao feijão de porco, conforme o estudo realizado por Santos et al. (2021), o que pode ter contribuído para esse resultado.

Tabela 2.2 Valores médios de massa seca e massa seca dos adubos verdes e plantas espontâneas

Adubo Verde	Massa Fresca (Mg ha ⁻¹)	Massa Seca (Mg ha ⁻¹)
Crotalária	43,6 a	12,6 a
Feijão de porco	35,6 b	8,0 b
Mucuna Preta	34,4 b	6,2 c
Plantas Espontâneas (Controle)	15,8 c	4,6 d

As médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey $p \leq 0.05$.

As leguminosas apresentaram diferença para massa seca da parte aérea, sendo todas superiores em relação à testemunha, e a maior massa seca em crotalária, seguida de feijão de porco e mucuna preta (Tabela 2.2). Santos et al. (2021), estudando o potencial das leguminosas para adubação verde, também verificaram que a crotalária foi a espécie que apresentou maior acúmulo de massa seca.

A massa seca da crotalária, no presente estudo, foi de 12,6 Mg ha⁻¹, resultado superior ao encontrado por Brito et al. (2017), que foi de 10,9 Mg ha⁻¹. Isso pode estar relacionado ao potencial da inoculação das espécies do grupo rizóbio, que foi realizada nas sementes das leguminosa, o que intensifica e/ou melhora a condição da FBN na relação simbiótica entre os microrganismos e a planta.

Os resumos da análise de variância, para as características diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de grãos por fileira (GF), peso da espiga (PE), peso do sabugo (PSA), produtividade (PRO) e seus respectivos coeficientes de variação, dos dois experimentos do milho, estão apresentados na Tabela 2.3. Houve diferença significativa em todas as variáveis analisadas, tanto nos efeitos isolados dos tratamentos como na interação dos fatores.

Tabela 2.3. Resumo das análises de variância dos dados relativos ao diâmetro de espiga (DE), comprimento da espiga (CE), grãos por fileira (GF), peso de espiga (PE), peso do sabugo (PSA), produtividade de grãos (PRO) e coeficiente de variação (CV) de milho Híbrido AG 1051 primeiro e segundo ciclo, submetido à adubação verde e inoculação com bactérias diazotróficas em cultivo orgânico

FV	Quadrado médio Experimento I						
	GL	DE	CE	GF	PE	PSA	PRO
Adubo verde	3	7912,89*	2110,42*	6445,71*	0,1518*	0,0386*	5727503,16*
Inoculação	2	294,29*	719,37*	2674,29*	0,0710*	0,0179*	2598901,34*
ADV X INO	6	56,58*	69,92*	18,93*	0,0015*	0,0005*	160482,06*
Bloco	3	16,465	12,28	39,34	0,0014	0,0001	118893,02
CV (%)		5,49	10,58	8,85	17,80	13,47	10,74

FV	Quadrado médio Experimento II						
	GL	DE	CE	GF	PE	PSA	PRO
Adubo verde	3	5,03550*	236,2598*	980,450000*	0,330263*	0,004730*	57267129,39*
Inoculação	2	5,748896*	198,366083*	481,458333*	0,086854*	0,003001*	14572450,37*
ADV X INO	6	1,389146*	4,10442*	59,041667*	0,002333*	0,000850*	377611,69*
Bloco	3	0,177216	0,750028*	14,494444	0,001591	0,000241	34214,28
CV (%)		5,74	3,76	6,94	8,37	23,33	2,78

*significativo ($p \leq 0,05$) pela análise de variância

O desdobramento da interação entre os fatores apresentados na Tabela 2.4 mostra que todas as características avaliadas, no primeiro ciclo, foram superiores com a utilização das leguminosas em relação à testemunha, assim como as bactérias diazotróficas foram melhores que os tratamentos sem inoculação.

Tabela 2.4. Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051, primeiro experimento em sistema orgânico

Adubo verde	Inoculação		
	<i>Azospirillum</i>	<i>Herbaspirillum</i>	Sem inoculação
Diâmetro da espiga (mm)			
Crotalária	48,51 bA	48,03 cAB	46,86 bB
Feijão de porco	55,12 aAB	56,10 aA	53,85 aB
Mucuna preta	54,01 aA	54,00 bA	52,99 aA
Controle	37,72 cB	39,92 dA	33,90 cC
Comprimento da espiga (cm)			
Crotalária	17,80 bA	17,88 bA	17,01 bA
Feijão de porco	24,16 aA	24,86 aA	18,97 aB
Mucuna preta	23,43 aA	24,38 aA	18,49 aB
Controle	14,61 cA	14,75 cA	11,87 cB
Grãos por fileira			
Crotalária	37,37 bA	37,42 bA	32,02 bB
Feijão de porco	43,75 aA	43,92 aA	36,15 aB
Mucuna preta	42,42 aA	42,87 aA	34,95 aB
Controle	27,17 cA	28,17 cA	20,15 cB
Peso da espiga (kg)			
Crotalária	0,185 bA	0,189 bA	0,166 bB
Feijão de porco	0,231 aA	0,235 aA	0,193 aB
Mucuna preta	0,228 aA	0,235 aA	0,186 aB
Controle	0,156 cA	0,158 cA	0,119 cB
Peso do sabugo (kg)			
Crotalária	0,0505 bA	0,0520 bA	0,0416 bB
Feijão de porco	0,0733 aA	0,0738 aA	0,0513 aB
Mucuna preta	0,0733 aA	0,0736 aA	0,0511 aB
Controle	0,0343 cA	0,0353 cA	0,0158 cB
Produtividade (Mg ha⁻¹)			
Crotalária	3,751 bA	3,634 bA	3,415 aA
Feijão de porco	4,657 aA	4,796 aA	3,783 aB
Mucuna preta	4,655aA	4,745 aA	3,729 aB
Controle	3,221 bA	3,116 bA	2,569 bA

Medias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 0.05 de significância.

Ao avaliar o diâmetro de espigas, todos os tratamentos com leguminosas foram superiores ao controle, o que mostra o efeito positivo das leguminosas nos componentes de produção da cultura do milho. Essas plantas são capazes de atuar na ciclagem de

nutrientes e melhoram o condicionamento físico do solo, como porosidade, densidade, resistência mecânica à penetração, entre outros fatores. Os benefícios da utilização de leguminosa na cultura do milho também foram observados por Brito et al. (2017).

Para a mesma variável, a inoculação com as estirpes de bactérias diazotróficas apresentou diferença significativa na ausência de leguminosas (controle), sendo o melhor resultado para *Herbaspirillum seropedicae*, seguido da *Azospirillum brasilense*, e ambas superiores ao tratamento sem inoculação. Estudos comprovam que essas bactérias estimulam o crescimento de raízes que potencializam um maior aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas (Baldani et al., 1997). Essas bactérias promotoras de crescimento de plantas podem auxiliar, por diversos mecanismos, a produção de fitormônios (alteram a morfologia das raízes que permite uma exploração de maior volume de solo, além da fixação biológica de nitrogênio).

Para as variáveis comprimento de espigas, grãos por fileira, peso da espiga e peso do sabugo, independentemente da inoculação, os tratamentos com feijão de porco e mucuna preta foram superiores aos demais, em que o tratamento controle apresentou resultado inferior. O feijão de porco e mucuna preta apresentam uma relação carbono nitrogênio (C/N) menor que a crotalária. Esse resultado pode ser explicado em razão da degradação e mineralização dos resíduos vegetais serem mais rápidas, disponibilizando os nutrientes através da ciclagem em um menor tempo, para um melhor aproveitamento da cultura seguinte.

A inoculação com *Herbaspirillum* e *Azospirillum* também foram superiores ao tratamento sem inoculação, com a utilização do feijão de porco e mucuna preta para o comprimento de espigas, grãos por fileira, peso da espiga e peso do sabugo e produtividade de grãos no primeiro ciclo. A matéria orgânica proporciona condições favoráveis para manutenção e proliferação dos microrganismos, além de auxiliar na manutenção de umidade do solo, aeração, redução da temperatura, formação de agregados, entre outros benefícios para condicionamento químico, físico e biológico do solo.

Para produtividade de grãos do primeiro ciclo, na ausência da inoculação, todos os tratamentos com adubação verde foram superiores em relação ao controle. A inoculação com as estirpes das bactérias diazotróficas promoveu maiores ganhos em produtividade, quando associados à mucuna preta e feijão de porco, cujos resultados não diferiram entre si, independentemente da bactéria utilizada. Resultados encontrados por Ávila et al. (2020) corroboram os verificados no presente estudo, no qual notou-se, na

interação da mucuna preta com *Herbaspirillum seropedicae*, melhores resultados quando comparados ao tratamento controle. A leguminosa pode fornecer o nitrogênio de forma gradativa, suprimindo a dose inicial requerida pelas bactérias para iniciarem sua atividade de fixação, formando, assim, uma interação positiva para a cultura do milho.

A crotalária por ser uma leguminosa mais lignificada em relação às outras duas, pode não ter se degradado em tempo de fornecer o nitrogênio requerido pela cultura do milho, assim como no fornecimento da dose inicial requerida pelas bactérias para iniciar seu processo de fixação, no primeiro ciclo, o que pode explicar seu resultado ter sido inferior em relação ao feijão de porco e mucuna preta em todos os componentes de produção e produtividade de grãos. No estudo desenvolvido por Brito et al. (2017), os autores observaram que a produtividade de milho com a utilização de crotalária não diferiu do tratamento em pousio, corroborando o presente estudo.

Heinrichs et al. (2005) constataram que, no primeiro ano de cultivo, o rendimento de grãos de milho não foi influenciado pelo cultivo consorciado com adubos verdes, no entanto, no segundo ano, o rendimento de milho foi beneficiado pelo cultivo consorciado com a leguminosa. Picazovicz et al. (2021) constataram uma menor respiração basal na área de crotalária, cujo processo de decomposição e mineralização torna-se mais lento com menor atuação dos microrganismos decompositores.

No tratamento com crotalária, a inoculação com *Azospirillum brasilense* promoveu um incremento de 335,78 kg ha⁻¹ na produtividade de grãos em relação às plantas não inoculadas. A resposta positiva das plantas à inoculação com bactérias diazotróficas pode ser atribuída também a outros fatores, pois as bactérias, além de fixadoras de nitrogênio, são promotoras de crescimento, com o aumento do volume de raízes, favorecendo a absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, o aumento da produtividade. Batista et al. (2018), estudando a atuação das bactérias na promoção de crescimento de plantas de milho e soja, observaram diversas características dos microrganismos, como solubilização de fosfato, produtoras de AIA, fixadoras de nitrogênio, produção de sideróforos.

A interação do feijão de porco e da mucuna preta com as estirpes de *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae* foram positivas. No tratamento com esses adubos verdes, as estirpes não apresentaram diferença entre si, porém, ambas foram superiores ao tratamento não inoculado, mostrando que a associação dessas bactérias com leguminosas no cultivo de milho orgânico eleva a produtividade de grãos.

No controle, a inoculação das bactérias não apresentou diferença significativa no presente trabalho. Isso pode estar relacionado ao baixo volume de massa fresca e seca das plantas espontâneas que não favorece o desempenho das bactérias ao ponto de encontrar diferença estatística. Entretanto, ao analisar a inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Herbaspirillum seropedicae*, pode-se perceber um incremento de 652 Kg ha⁻¹ (25%) e 547 Kg ha⁻¹ (21,3%), respectivamente, em relação ao não inoculado.

Para o segundo ciclo, no desdobramento da interação entre os fatores apresentados na Tabela 2.5, todas as variáveis analisadas tiveram um menor desempenho no tratamento controle, em relação às leguminosas. A inoculação com as bactérias foi superior em todas as características avaliadas na ausência das leguminosas.

Tabela 2.5. Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para diâmetro da espiga, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, peso da espiga, peso do sabugo e produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051 do segundo experimento em sistema orgânico

Adubo verde	Inoculação		
	<i>Azospirillum</i>	<i>Herbaspirillum</i>	Sem inoculação
Diâmetro da espiga (mm)			
Crotalária	46,87 abB	50,20 aA	45,65 abB
Feijão de porco	47,07 aA	48,07 bA	45,20 bB
Mucuna preta	47,05 aA	47,15 bA	47,02 aA
Controle	45,37 bA	45,60 cA	38,32 cB
Comprimento da espiga (cm)			
Crotalária	20,44 aB	21,21 aA	18,75 aC
Feijão de porco	19,04 cB	20,51 bA	17,74 bC
Mucuna preta	19,79 bB	20,30 bA	18,38 aC
Controle	17,33 dA	17,48 cA	15,89 cB
Grãos por fileira			
Crotalária	42,20 aAB	43,50 aA	40,92 aB
Feijão de porco	39,40 bB	42,05 aA	38,57 bB
Mucuna preta	39,67 bAB	40,42 bA	38,65 bB
Controle	36,97 cA	37,52 cA	31,60 cB
Peso da espiga (kg)			
Crotalária	0,265 aB	0,282 aA	0,247 aC
Feijão de porco	0,225 cB	0,245 cA	0,191 cC
Mucuna preta	0,250 bA	0,258 bA	0,220 bB
Controle	0,161 dA	0,162 dA	0,111 dB
Peso do sabugo (kg)			
Crotalária	0,0621 aA	0,0640 aA	0,0553 aB
Feijão de porco	0,0508 bA	0,0565 bA	0,0435 bB
Mucuna preta	0,0611 aA	0,0570 abA	0,0615 aA
Controle	0,0533 bA	0,0532 bA	0,0388 bB
Produtividade Ciclo II (Mg ha⁻¹)			
Crotalária	8,650 aB	9,648 aA	7,390 bC
Feijão de porco	8,174 bB	8,835 bA	7,806 aC
Mucuna preta	8,648 aB	9,859 aA	7,560 abC
Controle	4,212 cB	5,149 cA	3,098 cC

Medias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 0.05 de significância.

Para diâmetro, comprimento e peso da espiga, com a inoculação de *Herbaspirillum seropedicae*, a leguminosa que promoveu melhor resultado foi a crotalária. Estudos mostram que a inoculação dessa estirpe proporciona resposta de

crescimento radicular significativo, o que melhora a arquitetura radicular e, conseqüentemente, aumenta a eficiência da absorção do nitrogênio (Dias et al., 2023).

Nos grãos por fileira, na presença do feijão de porco, a inoculação com *Herbaspirillum seropedicae* foi superior em relação a *Azospirillum brasilense* e o tratamento sem inoculação. Estudo desenvolvido por Wiggins et al. (2022) comprova que a estirpe de *Herbaspirillum seropedicae* promove o crescimento de plantas em poaceas.

Para o peso do sabugo, a inoculação tanto com a *Herbaspirillum* como *Azospirillum* foram superiores, quando associadas aos tratamentos controle, crotalária e feijão de porco. As bactérias têm várias formas de auxiliar no desenvolvimento da cultura, seja pela fixação biológica de nitrogênio, redução de estresse, produção de fitormônios e outros metabólitos (Khatoon et al., 2020).

A resposta dos tratamentos com crotalária, para todas as variáveis analisadas no segundo ciclo, foram maiores em relação à testemunha, desempenho diferente ao observado no primeiro experimento. Isso pode estar relacionado ao tempo requerido pela cultura para o processo de degradação e mineralização da matéria orgânica, além do fato do segundo ciclo ter sido conduzido em sistema de plantio direto, o que pode ter auxiliado para manutenção e proliferação da biota do solo que participa de todo o processo de ciclagem de nutrientes, atuando de maneira mais efetiva sobre o material vegetal da crotalária.

Na produtividade de grãos do segundo ciclo, todas as leguminosas proporcionaram um maior rendimento em relação ao controle. O volume de massa seca das leguminosas 12,6 Mg ha⁻¹ crotalária, 8,0 Mg ha⁻¹ feijão de porco e 6,2 Mg ha⁻¹ mucuna preta está acima da massa seca mínima para cobertura adequada do solo (Alvarenga et al., 2001), o que proporciona condições favoráveis para a cultura subsequente desempenhar seu potencial produtivo. Todas as leguminosas tiveram a inoculação das sementes, o que pode ter sido um dos fatores que potencializou o aumento da massa seca da parte aérea dessas plantas.

O tempo de exposição da matéria orgânica no solo, oriunda das espécies de adubo verde, por se tratar do segundo ciclo, favoreceu para uma maior decomposição. Essa transformação proporciona uma maior disponibilidade de húmus, que aumenta a quantidade de cargas negativas do solo (Loss et al., 2020), fazendo com que os nutrientes fiquem adsorvidos nos colóides do solo, reduzindo as perdas e, conseqüentemente, aumentando a disponibilidade para um melhor aproveitamento pelas plantas. Além disso, a matéria orgânica retém maior umidade do solo, favorecendo uma maior absorção dos

minerais pelas raízes, convertendo em maiores produtividades. O valor da CTC do solo, neste trabalho, variou de 10,3 no primeiro ciclo para 11,9 no segundo ciclo, confirmando a contribuição favorável da matéria orgânica para qualidade do solo.

Corroborando o resultado deste estudo, Loss et al. (2020), pesquisando o efeito da sucessão de culturas sobre a fertilidade do solo, descobriram que, no sistema de plantio direto, há um aumento nos teores de cálcio e na CTC do solo. Relatam ainda que o uso de leguminosa incrementa os atributos químicos do solo em comparação aos tratamentos com ausência de plantas de cobertura.

Para todos os tratamentos com adubação verde na produtividade de grãos no segundo ciclo, as inoculações foram superiores em relação aos tratamentos sem inoculação, sendo a bactéria *Herbaspirillum seropedicae* a de maior destaque nas condições testadas (Tabela 2.4). Alves et al. (2020), ao estudar o rendimento de grãos de milho inoculado com bactérias diazotróficas, verificaram aumento da produtividade de grãos, tanto com estirpe de *Hesbaspirillum* como se *Azospirillum*, sendo a primeira com maior contribuição, corroborando o presente trabalho.

As estirpes de *Herbaspirillum seropedicae* apresentam um potencial de aumento da produtividade e qualidade de grãos, solubilizam fosfato, além de aumentar a eficiência da utilização dos fertilizantes nitrogenados pelas plantas em até 21% (Estrada et al., 2013). Essa característica desse gênero pode ter auxiliado no melhor aproveitamento dos nutrientes liberados pelos adubos verdes, convertendo, assim, em maior produtividade de grãos.

A melhor interação entre as leguminosas e inoculação foi verificada na crotalária e mucuna preta, associada com *Herbaspirillum seropedicae* na produtividade de grãos do segundo ciclo (Tabela 2,5). Essas leguminosas possuem uma relação carbono nitrogênio (C/N) maior que o feijão de porco (Formentini et al., 2008), o que pode ter proporcionado uma maior liberação dos nutrientes no segundo plantio do milho.

Estudo desenvolvido por Alcantara et al. (2022), avaliando os atributos do solo e produtividade de milho em sistema agroecológico, após adubação verde, verificaram que o feijão de porco proporcionou uma maior produtividade de grãos apenas no primeiro ciclo. Já no trabalho desenvolvido por Imbana et al. (2021), os autores relatam que a crotalária é indicada para formação de resíduo orgânico, após dois meses depositadas ao solo, requerendo, portanto, um maior tempo para degradação e mineralização da matéria orgânica.

Produtividade de grãos entre o primeiro e segundo experimento apresentaram valores distintos, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela 2.6. Desdobramento da interação adubo verde × inoculação para produtividade de grãos em cultivo de milho híbrido AG 1051 do primeiro e segundo experimento em sistema orgânico

Adubo verde	Inoculação		
	<i>Azospirillum</i>	<i>Herbaspirillum</i>	Sem inoculação
Produtividade primeiro experimento (Mg ha⁻¹)			
Crotalária	3,751	3,634	3,415
Feijão de porco	4,657	4,796	3,783
Mucuna preta	4,655	4,745	3,729
Controle	3,221	3,116	2,569
Produtividade segundo experimento (Mg ha⁻¹)			
Crotalária	8,650	9,648	7,390
Feijão de porco	8,174	8,835	7,806
Mucuna preta	8,648	9,859	7,560
Controle	4,212	5,149	3,098

Mesmo sem a atuação dos adubos verdes, todos os tratamentos do segundo experimento tiveram valores maiores que o primeiro, sendo o controle com *Herbaspirillum* 2.033 kg ha⁻¹, controle com *Azospirillum* 991 Kg ha⁻¹, e controle sem inoculação 529 kg ha⁻¹ a mais em relação aos mesmos tratamentos no primeiro ciclo. Esse aumento na produtividade pode estar associado ao sistema de plantio direto, pois a semeadura foi realizada por cima da palhada de milho do primeiro experimento. Estudo desenvolvido por Favarato et al. (2015) revela que os atributos químicos do solo em sistema de plantio direto diferem do sistema convencional. Relata ainda que a taxa de decomposição da matéria orgânica no sistema convencional de cultivo é mais acelerada em comparação ao sistema orgânico, devido à utilização de implementos agrícolas no preparo de solo.

A formação de palhada proporciona ao solo diversas qualidades, seja na proteção contra erosões, redução da incidência dos raios solares, redução da temperatura, manutenção de umidade do solo, todas as características que influenciam para um maior potencial produtivo da cultura implantada, como no caso deste trabalho, a maior produtividade de grãos de milho.

Evans et al. (2020), analisando dados de erosões em trinta e oito países, revelam uma relação entre tipo de manejo e tempo de vida do solo. Os autores afirmam que a utilização de práticas de manejo, como plantio direto e plantas de cobertura, podem prolongar a vida útil do solo por longos anos, enquanto os cultivos convencionais sem critérios conservacionistas podem provocar erosões, perda da capacidade de cultivo com expectativa de vida do solo menor que cem anos.

Mesmo com maior volume de chuva, melhor distribuição do período chuvoso e temperaturas mínimas mais altas ocorridas durante o primeiro experimento (Figura 2.1), o que poderiam favorecer maiores valores da produtividade de grãos, não foi o que ocorreu, pois a produtividade de grãos no segundo experimento, dentro do mesmo tratamento, chegou mais que o dobro ao primeiro. Os tratamentos apresentaram diferença de 6.014 kg ha⁻¹, 4.899 kg ha⁻¹ da crotalária com *Herbaspirillum*, *Azospirillum*, respectivamente, mostrando, portanto, que o efeito é referente aos tratamentos com as leguminosas e a inoculação com as estipes das bactérias associativas dentro do sistema de plantio direto.

4 CONCLUSÕES

Na ausência da inoculação, no primeiro ciclo, todas as leguminosas promoveram maior produtividade de grãos em relação ao tratamento controle. E as estirpes associadas ao feijão de porco e mucuna preta também conferiram maior rendimento da cultura.

No segundo experimento, todos os tratamentos da adubação verde associada à inoculação foi superior para *Herbaspirillum seropedicae*, seguido de *Azospirillum brasilense*, para produtividade de grãos de milho, e a melhor interação foi verificada entre a crotalária e mucuna preta associada à estirpe de *Herbaspirillum seropedicae*.

O sistema de plantio direto, no segundo experimento, favoreceu a produtividade de grãos da cultura do milho.

AGRADECIMENTO

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa

de Pós-Graduação em Agronomia e à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

REFERÊNCIAS

Albuquerque AW de, Santos JR, Moura Filho G, Reis LS. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. Rev Bras Eng Agr Amb. 2013;17, 721-726. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700005>

Alcantara, F. A.; Stone, L. F.; Heinemann, A. B.; Martins, E. S. Atributos do solo e produtividade de milho em sistema agroecológico após adubação verde e fertilizantes orgânicos. Embrapa – Goiás, 2022.

Alvarenga, R. C.; Cruz, J. C.; Santana, D. P. Plantas de cobertura do solo para sistema de plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p. 25-36, 2001.

Alves GC, Sobral LF, Reis VM. Grain yield of maize inoculated with diazotrophic bacteria with the application of nitrogen fertilizer. Rev Caatinga. 2020;33;644-652. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252020v33n307rc>

Ávila JS, Ferreira JS, Santos JS, Rocha PA da, Baldani VLD. Green manure, seed inoculation with *Herbaspirillum seropedicae* and nitrogen fertilization on maize yield. Rev Bras Eng Agr Amb. 2020;24;590-595. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n9p590-595>

Ávila JS, Ferreira JS, Santos RKA, Rocha PA da, Lima MCD. Organic maize grown with *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense* associated with green manures. Rev Bras Eng Agr Amb. 2023;27;567-574. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n7p567-574>

Baldani JJ, Caruso L, Baldani VL, Goi SR, Dobereiner J. Recent advances in BNF with non-legume plants. Soil Biology and Biochemistry. 1997;29;911-922. [https://doi.org/10.1016/s0038-0717\(96\)00218-0](https://doi.org/10.1016/s0038-0717(96)00218-0)

Banzatto, D. A.; Kronka, S. N. Experimentação agrícola. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP,

2011. 237p.

Batista BD, Lacava PT, Ferrari A, Teixeira-Silva NS, Bonatelli ML, Tsui S, Mondin M, Kitajima EW, Pereira JO, Azevedo JL, Quecine MCS. Screening of tropically erived, multi-trait plant growth- promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. Microbiological Research. 2018;206;33-42
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.09.007>

Brito MF, Tsujigushi BP, Rocha DP, Silva RF. Reciclagem de nutrientes de adubos verdes e produtividade de milho cultivado em sucessão em agroecossistema de transição agroecológica. Acta Iguazu. 2017;6;11-21.
<https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v6i3.17669>.

Chieza ED, Guerra JGM, Araújo ES, Espindola JA, Fernandes RC. Produção e aspecto econômico de milho consorciado com *Crotalaria juncea* L. em diferentes intervalos de semeadura, sob manejo orgânico. Revista Ceres. 2017;64:189-196.
<https://doi.org/10.1590/0034-737X201764020012>

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra brasileira de grãos, v.10 - Safra 2022/23, n.12 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-111, setembro 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 13 de novembro de 2023

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra brasileira de grãos, v.8 - Safra 2020/21, n.11 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-108, Agosto 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em 30 de novembro de 2023

Dias A.C; Alves, G.C.; Silva, T.F.R; Reis, V. M. Inoculation effects of growth-promoting bacteria on corn root architecture: influence of nitrogen levels, bacterial populations, and plant genotypes. Rev Bras Cienc Solo. 2023;47:e0230059.
<https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20230059>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5.ed. revisada ampliada. Brasília: DF, 2018. 356p.

Estrada GA, Baldani VLD, Oliveira DM, Urquiaga S, Baldani J I. Selection of phosphate-solubilizing diazotrophic *Herbaspirillum* and *Burkholderia* strains and their effect on rice crop yield and nutrient uptake. Plant Soil. 2013; 369; 115-129.

<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1550-7>

Evans DL, Quinton J N, Davies JAC, Zao J, Govers G. Soil lifespans and how They can be extended by land use and management change. Environmental Research Letters, 2020;15.

<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba2fd>

Favarato LF, Souza JL, Galvão JCC, Souza CM, Guarconi RC. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto orgânico. Rev Bras Agropec Sustentável. 2015;5;19-28. <https://doi.org/10.21206/rbas.v5i2.312>

Ferreira, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system to fixed effects split-plot designs: Sisvar. Brazilian Journal of Biometrics, v.37, p.529-535, 2019.

<https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

Ferreira JS, Santos RKA, Lima MCD de, Nascimento M dos S, Ávila JS, Almeida Filho RL da S, Baldani VLD. Inoculation and reinoculation of the *Herbaspirillum seropedicae* in two rice lowland varieties. Research, Society and Development.

2021;10;1-8. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23873>

Ferreira, J.S.; Guimarães, S.L.; Baldani, V.L.D. Produção de grãos de arroz em função da inoculação com *Herbaspirillum seropedicae*. Enciclopédia Biosfera. 2011;7;826-833. <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4168>

Formentini, E. A.; Lóss, F. R. Bayerl, M. P.; Lovati, M. P.; Baptisti, E. Adubação verde e compostagem. Incaper, Vitória, 2008.

Heinrichs R, Vitti GC, Moreira A, Figueredo PAM, Fancelli AL, Corazza EJ.

Características químicas de solo e rendimento de fitomassa de adubos verdes e de grãos de milho, decorrente do cultivo consorciado. Rev Bras Ciênc Solo. 2005;29;71- 79.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100008>

Imbana R, Blum SC, Aguiar MJ, Sousa GG, Ndami M, Dabó I. Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo. Rev Verde. 2021;16;351-357.

<https://doi.org/10.18378/rvads.v16i4.8861>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Available on: <http://www.inpe.br>. Accessed on: Set. 2023.

Khatoon Z, Huang S, Rafique M, Fakhar A, Kamran MA, Santoyo G. Unlocking the potential of plant growth-promoting rhizobacteria on soil health and the sustainability of agricultural systems. *J. Environ. Manag.* 2020;273;111-118.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111118>.

Loss A, Ferreira LB, Gonzatto R, Giumbelli LD, Mafra AL, Goedel A, Kurtz C. Effect of crop succession or rotation on soil fertility after seven years of onion cultivation.

Brazilian Journal of Development. 2020;6;16587-16606.

<https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-507>

Michelon CJ, Junges E, Casali CA, Pellegrini JBR, Neto LR, Oliveira ZB, Oliveira MB. Atributos do solo e produtividade de milho cultivado em sucessão a plantas de cobertura de inverno. *Rev Ciênc Agrov.* 2019;18;230-239.

<https://doi.org/10.5965/223811711812019230>

Nascimento CC, Ferreira JS, Santos RKA, Lima MCD, Ladeia CA, Ávila JS, Almeida-Filho RLS. Desenvolvimento de *Eucalyptus urophylla* submetido à inoculação de bactérias diazotróficas nativas. *Brazilian Journal of Development.* 2021;7;47287-

47304. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-234>

Picazevicz AAC, Shockness LSF, Rodrigues BHS, Silva KAM, Marquarte L, Eller MHD, Jasinski VA, Souza WFL. Características físicas, químicas e biológicas do solo em resposta a adubos verdes na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira da Agropecuária Sustentável.* 2021;11;213-217. <https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.12413>

Ribeiro AC, Guimaraes PCG, Alvarez V VH. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999;359.

Santos JJ, Leão AG, Santos DSE, Rabelo PE, Braga-Neto AM, Fávero C. Potencial de leguminosas para adubação verde nas condições edafoclimáticas da fazenda Rio Manso em Couto de Magalhães de Minas. *Brazilian Journal of Development.* 2021; 7;92319-

92331. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n9-411>

Santos RKA, Ferreira JS, Santos JS, Rodrigues VA, Baldani VLD. Bactérias associativas como promotoras de crescimento em *Eucalyptus urophylla*. Ver Agro Amb 2023;16;1-10. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2023v16n3e10704>

United States. Soil Survey Staff. Keys to soil taxonomy.12.ed. Lincoln: USDA NRCS. 2014. Available at: <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey>. Accessed on: Dez 20, 2023

Wiggins G, Thomas J, Rahmatallah Y, Deen C, Haynes A, Degon Z, Glazko G, Mukherjee A. Common gene expression patterns are observed in rice roots during associations with plant growth-promoting bacteria, *Herbaspirillum seropedicae* and *Azospirillum brasilense*. Sci Rep. 2022;12;8827;1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12285-3>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação verde associada à inoculação com bactérias diazotróficas associativas *Herbaspirillum seropedicae* e *Azospirillum brasilense* apresenta resultados promissores para o cultivo de milho orgânico da variedade AL Bandeirante e híbrido AG 1051.

Essas alternativas à adubação nitrogenada sintética, além de proporcionar maior retorno econômico para os produtores, pelo fato de reduzir o custo de produção com aquisição de fertilizantes industrializados, reduzem os impactos ambientais gerados desde a fabricação dos produtos químicos, que requerem fontes de energia não renováveis para elevar temperaturas e pressões adequadas para fabricação dos adubos, como os grandes impactos que são causados na aplicação dos mesmos. Cerca de cinquenta por cento do nitrogênio aplicado no solo foram perdidos por volatilização, lixiviação, imobilização, erosão, fazendo com que, cada vez mais, aumente a quantidade desse fertilizante sintético.

O processo de fixação de nitrogênio pelas bactérias diazotróficas ocorre com temperaturas e pressões ambientes, não causando danos ambientais. A adubação verde com culturas leguminosas também tem a atuação dessas bactérias, que fazem com que as culturas tenham um maior aporte de nitrogênio, o qual é devolvido para o sistema de forma natural, com atuação da biota do solo que tem importância crucial para manutenção da vida.

Dessa forma, pode-se verificar que essas técnicas são capazes de auxiliar um sistema produtivo menos agressivo ao meio ambiente, fornecendo alimentos saudáveis, tanto para os humanos como para compor a cadeia de produção animal em sistema orgânico, possibilitando, ainda, a produção de sementes orgânicas que fazem parte de insumos necessários dentro do campo de produção agroecológico.

Novos estudos nessa linha de pesquisa são interessantes, como, por exemplo, realizar este experimento em diferentes agroecossistemas, com um maior número de ciclos, além de testar outras variedades de milho utilizadas por agricultores familiares. E estudos com a metodologia da abundância natural do nitrogênio.