



Contemporânea

Contemporary Journal

Vol. 5 Nº. 10: p. 01-19, 2025

ISSN: 2447-0961

Artigo

MICROORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO DE PLANTAS EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE MILHO CRIOULO ORGÂNICO

PLANT GROWTH-PROMOTING MICROORGANISMS IN ORGANIC CREOLE CORN PRODUCTION SYSTEM

MICROORGANISMOS PROMOTORES DEL CRECIMIENTO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE MAÍZ CRIOLLO ORGÁNICO

DOI: 10.56083/RCV5N10-037

Receipt of originals: 9/5/2025

Acceptance for publication: 9/26/2025

Júlia Torres Gomes

Mestre em Ciências Agrárias

Instituição: Universidade Federal de São João del Rei

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: juliatgomes@gmail.com

Mônica Matoso Campanha

Doutora em Fitotecnia

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: monica.matoso@embrapa.br

Walter José Rodrigues Matrangolo

Doutor em Ecologia

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: walter.matrangolo@embrapa.br

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Doutora em Biologia Vegetal

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: christiane.paiva@embrapa.br



Ivanildo Evódio Marriel

Doutor em Agronomia
Instituição: Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil
E-mail: ivanildo.marriel@embrapa.br

Francisco Adriano de Souza

Doutor em Ecologia de Plantas e Microrganismos
Instituição: Embrapa Milho e Sorgo
Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil
E-mail: francisco.adriano@embrapa.br

RESUMO: O mercado para grãos orgânicos de milho é crescente no mundo, e o suprimento dessa demanda requer à adoção de estratégias de cultivo sustentáveis. Avaliou-se parâmetros da produtividade e sustentabilidade da produção de milho crioulo em um sistema orgânico, em resposta a inoculação com microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP). A sustentabilidade do sistema de produção foi avaliada por indicadores da qualidade do solo. O experimento foi conduzido na safra 2021/2022, em área de produtor, em Capim Branco, Minas Gerais, Brasil. Foi utilizada uma variedade de milho crioulo vermelho, com os tratamentos: 1) Controle não inoculado, 2) *Azospirillum* sp., 3) *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, 4) *Rhizoglosum intraradices* e 5) Co-inoculação. O experimento instalado em DBC com 3 blocos. Foram feitas análises químicas e biológicas do solo. Foram avaliados estande, peso e número de espigas, umidade dos grãos, produtividade (kg/ha) e taxa de colonização micorrízica (TCM). O manejo orgânico adotado manteve os níveis de atividade biológica e suprimento de nutrientes do solo indicando uso sustentável. A inoculação com *Bacillus* favoreceu a colonização radicular das raízes por fungos micorrízicos 20% superior ao controle. O estande, número e peso de espigas, umidade e produtividade de grãos não apresentaram diferença estatística em relação ao controle.

PALAVRAS-CHAVE: *Azospirillum*, *Bacillus*, *Rhizoglosum*, milho crioulo, co-inoculação, taxa de colonização micorrízica.

ABSTRACT: The market for organic corn grains is growing globally and meeting this demand requires the adoption of sustainable cultivation strategies. We evaluated productivity and sustainability parameters of creole corn production in an organic system, responding to inoculation with plant growth-promoting microorganisms (PGPM). The sustainability of the production system was assessed using soil quality indicators. The experiment was conducted during the 2021/2022 harvest season in a producer's area in Capim Branco, Minas Gerais, Brazil. A red creole corn variety was used, with the following treatments: 1) Uninoculated control; 2) *Azospirillum* sp.; 3) *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*; 4) *Rhizoglosum intraradices*; and



5) Co-inoculation. The experiment was set up in a DBC with three blocks. Chemical and biological soil analyses were performed. Stand, ear weight and number, grain moisture, yield (kg/ha), and mycorrhizal colonization rate (MCR) were evaluated. The adopted organic management maintained soil biological activity levels and nutrient supply, indicating sustainable use. Inoculation with *Bacillus* favored root colonization by mycorrhizal fungi 20% higher than the control. Stand, ear number and weight, grain moisture, and yield did not show statistical differences compared to the control.

KEYWORDS: *Azospirillum*, *Bacillus*, *Rhizoglosum*, creole corn, co-inoculation, mycorrhizal colonization rate.

RESUMEN: El mercado de granos de maíz orgánico está creciendo a nivel mundial, y satisfacer esta demanda requiere la adopción de estrategias de cultivo sostenibles. Evaluamos los parámetros de productividad y sostenibilidad de la producción de maíz criollo en un sistema orgánico, respondiendo a la inoculación con microorganismos promotores del crecimiento vegetal (MPCV). La sostenibilidad del sistema de producción se evaluó utilizando indicadores de calidad del suelo. El experimento se llevó a cabo durante la temporada de cosecha 2021/2022 en un área de producción en Capim Branco, Minas Gerais, Brazil. Se utilizó una variedad de maíz criollo rojo con los siguientes tratamientos: 1) Control sin inocular, 2) *Azospirillum* sp., 3) *Bacillus subtilis* y *Bacillus megaterium*, 4) *Rhizoglosum intraradices*, y 5) Coinoculación. El experimento se montó en un DBC con tres bloques. Se realizaron análisis químicos y biológicos del suelo. Se evaluaron la población, el peso y número de las mazorcas, la humedad del grano, el rendimiento (kg/ha) y la tasa de colonización micorrízica (TCM). El manejo orgánico adoptado mantuvo los niveles de actividad biológica del suelo y el aporte de nutrientes, lo que indica un uso sostenible. La inoculación con *Bacillus* favoreció la colonización radicular por hongos micorrízicos un 20 % más que el control. La densidad de población, el número y el peso de las mazorcas, el contenido de humedad y el rendimiento de grano no mostraron diferencias estadísticas con respecto al control.

PALABRAS CLAVE: *Azospirillum*, *Bacillus*, *Rhizoglosum*, maíz criollo, coinoculación, tasa de colonización micorrízica.



Artigo está licenciado sob forma de uma licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.



1. Introdução

O milho (*Zea mays* L.) possui uma grande riqueza genética e vasta cultura alimentar associada a diferentes variedades e tipos de grãos. Esta característica, aliada à demanda por produtos orgânicos, culinária gourmet, e qualidade de vida, vem impulsionando a demanda por variedades de milho crioulas (Pereira *et al.*, 2017). Essa demanda impõe desafios e oportunidades para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis na sua base social, ambiental e financeira.

Os milhos crioulos evoluíram com a seleção dos agricultores, seus ambientes, práticas agrícolas e cultura. No entanto, o desenvolvimento científico e tecnológico para sistemas de produção com milhos crioulos ainda é incipiente no Brasil.

Neste contexto, este trabalho avaliou a sustentabilidade do sistema de produção e a produtividade de milho crioulo em sistema de produção orgânico, em resposta à inoculação e co-inoculação com microrganismos promotores de crescimento de plantas (*Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* e *Rhizogloumus intraradices*).

2. Referencial Teórico

A demanda por milho produzido em sistema orgânico é crescente e visa atender a busca por alimentos de origem natural, não transgênicos e saudáveis (Organis, 2023) tanto para a alimentação humana como a animal. Os sistemas orgânicos apresentam importantes componentes de sustentabilidade e trazem inúmeros benefícios para o sistema solo e para a produção vegetal.

Um solo rico em material orgânico é mais resiliente, têm maior capacidade de armazenamento de água e nutrientes, além de possibilitar a manutenção de uma biomassa microbiana ativa e diversa (Primavesi, 2002).



Esta complexa rede microbiana tem sido correlacionada com aumentos de produtividade do milho (Singh; Goodwin, 2022; Tao *et al.*, 2018).

Plantas de milho se beneficiam de diversos microrganismos promotores do crescimento de plantas (Ferrol *et al.*, 2019; Singh; Goodwin, 2022; Tao *et al.*, 2018; Oliveira-Paiva *et al.*, 2024; Smith; Smith 2011), mas nem sempre a microbiota presente no solo e suas comunidades estão ativos e são eficientes para suprir as plantas no tempo necessário para o desenvolvimento das culturas. A inoculação de microrganismos promotores de crescimento de plantas (MPCP), que através da disponibilização de nutrientes no solo, tolerância a estresses bióticos e abióticos, controle biológico ou por outros benefícios esses microrganismos têm sido cada vez mais utilizados nos sistemas de produção.

Dentre os microrganismos mais utilizados na produção de milho no Brasil estão as bactérias do gênero *Azospirillum* (Barbosa *et al.*, 2022; Cassán *et al.*, 2020) e *Bacillus* (Oliveira-Paiva *et al.*, 2024), responsáveis por aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo, como nitrogênio e fósforo, além de produzirem substâncias semelhantes a fitormônios que auxiliam no crescimento e desenvolvimento radicular. Já os fungos micorrízicos arbusculares (MA) estabelecem simbiose mutualísticas com as raízes das plantas, aumentando a área de exploração do solo e, conseqüentemente, a eficiência da absorção de água e nutrientes, em especial o fósforo (Smith; Smith, 2011). O fósforo é um elemento crítico para a produção especialmente escasso em solos tropicais que apresentem alta taxa de fixação de fosfatos e devido à baixa mobilidade desse elemento no solo. Em milho convencional a inoculação de uma estirpe comercial de fungos MA resultou em aumentos de produtividade da ordem de 54% em relação a ausência de inoculação (Stoffel *et al.*, 2020).

Inoculação é o processo de vinculação de microrganismos, como fungos e bactérias, ao cultivo, seja na forma de peletização de sementes, pulverização no solo ou nas folhas, dentre outros. A co-inoculação consiste



na utilização de dois ou mais microrganismos em conjunto com a finalidade potencializar a ação e adicionar funcionalidades complementares ao sistema para aumentar a produtividade e a sustentabilidade agrícola.

3. Metodologia

O experimento foi realizado na safra 2021/2022, na Fazenda Vista Alegre, município de Capim Branco-MG, altitude 839 m, latitude 19.5489 S, longitude 44.1167 W, com temperatura média de 21,5°C e precipitação média de 111 mm/mês (INPE, 2023). O clima é classificado como Cwa, com verões quentes e úmidos e invernos secos (Koppen-Geiger, 2007). A área de produção de grãos é manejada em sistema agroflorestal, com faixas delimitadas por leiras plantadas com banana, limão e mogno africano, desde 2012.

O solo da área é classificado como Latossolo. A tecnologia BioAS de análise de amostras de solo foi utilizada para avaliar a saúde do solo, antes e após o cultivo do milho (Mendes *et al.*, 2021). Para a caracterização química do solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, e para a bioanálise do solo (BioAS), 0-10 cm.

O plantio do milho orgânico foi feito em regime de sequeiro. O preparo da área consistiu de uma gradagem, seguida de adubação com 7,0 toneladas por hectare de esterco de gado curtido. Próximo a data da semeadura, foi realizado revolvimento do solo com enxada rotativa.

A semeadura do milho crioulo foi realizada no dia 28 de outubro de 2021, no espaçamento de 0,20 m entre plantas x 0,80 m entre linhas. O controle de invasoras foi feito por capinas realizadas em 19 e 26 de novembro, respectivamente 22 e 29 dias após o plantio. A produção de grãos foi avaliada em 23 de março de 2022, por amostragens em parcelas de 3,4 m². A colheita total foi realizada de forma mecanizada.

Para a diafanização, acidificação e coloração das raízes foi utilizada a



metodologia descrita por Phillips; Hayman (1970) com modificações conforme descrito abaixo. Foram utilizadas raízes finas previamente preservadas em solução contendo álcool 70%. Essas raízes foram lavadas em água corrente para remoção da solução alcoólica e logo após transferidas para tubos Falcon (50 mL) e foi acrescentado KOH 10% para diafanização do material, em banho-maria à 65°C durante 90min. Após o período do banho-maria, as raízes foram novamente lavadas em água corrente e acidificadas com solução de HCl 1% em temperatura ambiente de um dia para o outro. Em seguida, as raízes foram imersas em solução de corante Trypan Blue 0,05% (500 mL de glicerina, 450 mL de água tipo 1, 50 mL HCl 1% e 0,5g de corante azul de tripano) e aquecidas em banho maria à 65°C por 45min. A avaliação da Taxa de Colonização radicular foi determinada segundo Método de Interseção de Linhas de Grade descrito por Giovanetti; Mosse (1980) com auxílio de microscópio estereoscópico com magnificação de até 60X.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com 5 tratamentos: 1) Controle (T), 2) Inoculação de *Azospirillum* sp. (A), 3) Inoculação com *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* (B), 4) Inoculação com *Rhizoglosum intraradices* (R), e 5) Co-inoculação *Azospirillum* x *Bacillus* x *Rhizoglosum* (ABR), em 3 blocos. Foram utilizadas sementes de variedades de milho crioulo vermelho produzidas na propriedade.

As estirpes para o inóculo de *Azospirillum brasilense* foram CMS 11 e CMS 18 provenientes do Laboratório de Microbiologia do Solo da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, Minas Gerais. Os *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* foram provenientes do inoculante comercial Biomaphos e o fungo micorrízico arbuscular *Rhizoglosum intraradices*, do produto comercial Rootella Br. As doses e o procedimento de inoculação seguiram as recomendações dos fabricantes.

As variáveis resposta analisadas foram: estande, peso das espigas com



palha, número de espigas por planta, teor de umidade nos grãos na colheita, produtividade (kg/ha) e taxa de colonização micorrízica.

Para a análise estatística dos dados foi feito o teste de normalidade de Kolmogórov-Smirnov. Em seguida foi realizada a análise de variância (ANOVA) seguido pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados no software SISVAR (Ferreira, 2011).

4. Resultados e Discussões

O solo da área apresentou bons resultados para a produção de grãos de milho, tanto pela análise química convencional (Tabela 1) como pela Bio-Análise (Tabela 2). A saturação por bases (V), saturação de alumínio e pH, estavam adequados e teor de matéria orgânica, K e Ca, na primeira camada (0-10cm) apresentaram valores acima do considerado nível crítico para a produção (Sousa e Lobato, 2004). Nestes solos, o teor de argila foi 612 g/kg.

Tabela 1. Parâmetros químicos da área de milho orgânico crioulo em sequeiro, Capim Branco - MG.

Parâmetro	Unidade	0 – 20 cm	20 – 40 cm
pH - água	-*	5,91	5,01
pH - CaCl ₂	-*	5,55	4,59
Matéria Orgânica	dag/kg	4,21	3,88
C-org Total	dag/kg	2,43	2,24
Fósforo - P (Mehlich 1)	mg/dm ³	18,3	10
Potássio - K	mg/dm ³	166,07	77,77
Enxofre - S	mg/dm ³	2,78	*
Cálcio - Ca ²⁺	cmol c/dm ³	3,51	2,3
Magnésio - Mg ²⁺	cmol c/dm ³	0,83	0,54
Alumínio - Al ³⁺	cmol c/dm ³	<0,1	<0,1
Acidez Potencial (H+Al)	cmol c/dm ³	3,3	3,22
CTC	cmol c/dm ³	8,06	6,26
Saturação bases (V)	%	59	49
Saturação Al ³⁺ (m)	%	0	0

* valores não obtidos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao longo dos anos, o manejo do solo com adubação orgânica auxilia na construção da fertilidade do solo, o que é fundamental para a boa



produção e bons rendimentos de grãos para a cultura do milho. Na Fazenda Vista Alegre, além da adubação orgânica, há também a adoção do pousio uma parte do ano, para que a área descanse para o plantio seguinte e a incorporação da biomassa de plantas espontâneas produzida no período de pousio. Essa prática fortalece as redes microbianas do solo e podem estar relacionadas com aumento produtividade do milho (Tao *et al.*, 2018).

Os parâmetros que medem a qualidade do solo, resultados da bionálise (BioAS), apresentaram pouca variação da categoria (muito alto) nas avaliações realizadas antes e após o plantio (Tabela 2), embora a atividade das enzimas arilsulfatase e betaglicosidase apresentaram aumentos da ordem de 97,3% e 5,5% respectivamente. Essas enzimas têm relação com a matéria orgânica do solo (Mendes *et al.*, 2021).

Tabela 2. Bionálise do solo (BioAs) da área de milho crioulo orgânico em sequeiro, Capim Branco - MG.

Parâmetros	Antes da Semeadura	Após a Colheita
Arilsulfatase ($\mu\text{g PNF/g.h}$)	253,94 - Muito alto	501 - Muito alto
Betaglicosidase ($\mu\text{g PNF/g.h}$)	164,91 - Muito alto	174 - Muito alto
Matéria Orgânica (g/kg)	42,1 - Muito alto	38 - Muito alto
IQS FerBio	0,88	0,90
IQS Biológico	1,00	0,96
IQS Químico	0,82	0,87
Ciclagem de Nutrientes	1,00	0,96
Armazenamento de Nutrientes	0,99	0,88
Suprimento de Nutrientes	0,64	0,85

Legenda (IQS, Ciclagem, Armazenamento e Suprimento de Nutrientes): 0,81 a 1 - muito alto; 0,61 a 0,8 - alto; 0,41 a 0,6 - médio; 0,21 a 0,4 - baixo; 0 a 0,2 - muito baixo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise de componentes biológicos do solo contribui para avaliação de práticas de manejo mais sustentáveis, como o manejo orgânico. Em outras palavras, podemos dizer que o manejo orgânico adotado manteve os níveis de atividade biológica e suprimento de nutrientes do solo – sugerido que o manejo adotado é sustentável.

A análise de variância dos dados não indicou diferença significativa entre as médias das variáveis resposta: estande, peso de espiga, número de



espigas, umidade e produtividade (kg/ha) de grãos, exceto para a variável taxa de colonização micorrízica.

Tabela 4. Estande, número de espigas e peso das espigas de milho crioulo orgânico em sequeiro, Capim Branco-MG.

Tratamento	Estande (pl/ha)	Número de espigas (nº)	Peso espigas com palha (kg/ha)
<i>Azospirillum</i>	54.687	49.063	7.291,67
<i>Bacillus</i>	52.083	54.063	7.932,23
<i>Rhizogloumus</i>	48.437	49.063	7.036,46
Co-inoculação	46.875	48.438	7.651,04
Controle	48.958	42.813	6.328,13

Fonte: Elaborado pelos autores.

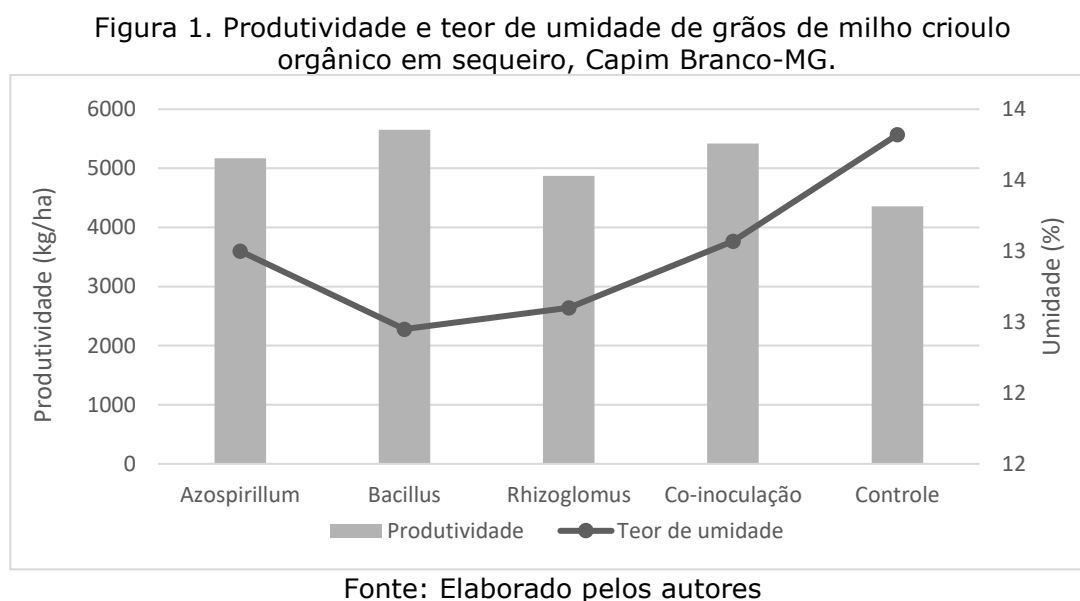
O número de espigas foi maior ou menor que o estande para os tratamentos. A co-inoculação e a inoculação com *Bacillus* favoreceram a produção de espigas, indicando que algumas plantas produziram mais de uma espiga por planta (Tabela 4). A co-inoculação pode ter favorecido a absorção de nutrientes refletindo em uma maior produção de espigas. O estande e o número de espigas médio relatado por Campanha *et al.* (2022) para o milho crioulo amarelo na mesma propriedade foi de 47.970 plantas por hectare e 45.312 espigas por hectare.

O menor peso das espigas com palha (PEP) foi registrado para o tratamento controle (Tabela 4). Embora não houvesse diferença estatística, pode-se observar um aumento de peso de espigas, acima do controle, de 25,34% para *Bacillus*, 20,9% para a co-inoculação, 15,22% para *Azospirillum* e 11,19% para *Rhizogloumus*.

O menor valor de produtividade e o maior valor para teor de umidade dos grãos foram encontrados no controle (Figura 1). Apesar de não haver diferença estatística nos dados avaliados, pode-se perceber, na prática, que o uso de microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP) tendem a favorecerem o desenvolvimento da lavoura e a produção de grãos comparados com o controle, permitindo também que os grãos cheguem à



colheita com menor teor de umidade. Considerando o teor de 13% como adequado para colheita de grãos para armazenamento, os resultados mostram que os tratamentos com inoculação poderiam ter sido colhidos mais cedo que o tratamento controle.



Convertendo os dados para sacas de 60 kg de grãos, vemos que o tratamento com *Bacillus* produziu 21 sacas a mais que o tratamento sem inoculação. Os tratamentos com co-inoculação, *Azospirillum* e *Rhizogloumus* produziram 17,6; 13,5 e 8,6 sacas a mais, respectivamente.

A taxa de colonização micorrízica (TCM) variou significativamente em resposta aos tratamentos (Tabela 5). A menor TCM apresentada no tratamento inoculado com o fungo *R. intraradices*. O tratamento com a maior média de colonização foi o tratamento inoculado com *Bacillus*, seguido dos tratamentos co-inoculação ABR, controle e *Azospirillum* (Tabela 5).

Esse resultado pode ser explicado pela competição entre o fungo introduzido pela inoculação com os fungos nativos e pelo efeito de “helperbactérias” que são bactérias que promovem a micorrização. Neste caso, a TCM obtida pelo tratamento com *Bacillus*, sugere que essas bactérias



estimularam as comunidades de fungos MA nativos favorecendo o desenvolvimento da simbiose micorrízica – efeito “helperbacteria”. A inoculação com *Azospirillum* não favoreceu o desenvolvimento da simbiose micorrízica.

Tabela 5. Percentual de colonização micorrízica média (%) em resposta à inoculação com bioinsumos em raízes de milho crioulo em Capim Branco - MG.

Tratamento	Colonização micorrízica (%)*
<i>Bacillus</i>	63,0 a
Co-inoculação ABR	49,0 a b
Controle (não inoculado)	45,0 b
<i>Azospirillum</i>	44,3 b
<i>Rhizoglo mus</i>	34,0 b

*Teste de Tukey a % de probabilidade.

Decréscimo na TCM devido a inoculação de estirpes comerciais de fungos MA tem sido relatado por outros autores (Janoušková *et al.*, 2013; Bender *et al.*, 2019). Bender *et al.* (2019), estudando inoculação de milho com *Rhizoglo mus irregulars*, verificaram a inoculação aumentou a abundância da estirpe inoculada nas raízes. Porém, efeitos positivos na produtividade da cultura só foram obtidos quando houve aumento na TCM.

A magnitude da resposta a inoculação de fungos MA tem sido relacionada com baixos níveis de disponibilidade de nutrientes no solo, atividade biológica e tipo de solo (Bender *et al.*, 2019; Prettl *et al.*, 2024), compatibilidade entre a estirpe inoculada e a microbiota do solo, presença de patógenos (Lutz *et al.*, 2023) e estresses abióticos.

No caso da inoculação do fungo MA, outro ponto que pode ter contribuído para os resultados é que as variedades crioulas apresentam forte interação com o ambiente por serem continuamente selecionadas para desempenho em uma mesma área, possivelmente refletindo também na interação com a microbiota nativa dessas localidades. Estudos realizados no México comprovaram o melhor desempenho de milhos crioulos em suas localidades de origem (Janzen *et al.*, 2022). Assim, neste estudo, o milho



crioulo pode estar apresentando uma adaptação local a microbiota nativa do solo, em especial, os fungos micorrízicos arbusculares, favorecendo a competição dos fungos autóctones em detrimento do fungo exótico. Assim como o fungo *Rhizoglosum* pode ter apresentado uma baixa capacidade em se estabelecer nesse ambiente e colonizar o sistema radicular do milho crioulo, um milho com uma variabilidade genética imensa e pouco estudado. Quando o inoculante à base de fungo micorrízico foi validado no Brasil, foi utilizado híbridos de milho (Stoffel, 2019).

No presente trabalho realizado a campo não houve uma resposta significativa na produtividade do milho, em resposta aos tratamentos de inoculação e co-inoculação destes bioinsumos, possivelmente devido ao material genético diferente e principalmente a competição dos microrganismos inoculados com as populações nativas do solo.

Estudos comparando a performance simbiótica entre milhos crioulos e híbridos comerciais conduzidos em condições controladas (solo autoclavado) em resposta a inoculação de estirpes de fungos MA indicaram os milhos crioulos como mais responsivos a inoculação do que os milhos híbridos (Londoño *et al.*, 2019).

O tratamento inoculado com *Bacillus* proporcionou a maior taxa de colonização micorrízica. Este resultado sugere um sinergismo entre estes dois grupos de microrganismos, fungos micorrízicos e bactérias do gênero *Bacillus*. É sabido que em condições de extremo baixo fósforo a planta pode desligar a micorrização (Smith; Smith 2011) e nessa condição, a solubilização de fósforo pelo *Bacillus* pode causar uma sinalização da planta para permitir a entrada do fungo na raiz para aumentar a aquisição do fósforo presente no solo.

O solo é um ambiente complexo e os efeitos benéficos das interações entre microrganismos de diferentes grupos funcionais com plantas dependem da compatibilidade genética e complementaridade das funções desses microrganismos com o genoma da planta para um dado ambiente.



No presente trabalho, o milho crioulo foi cultivado em sequeiro, e pode ter sofrido estresse hídrico em algum momento, o que pode explicar os resultados obtidos no tratamento inoculado com *Bacillus*, uma vez que o *Bacillus* reduz a perda de água pelas raízes e FMA, com seu manto hifal, auxilia na absorção de água.

A inoculação e coinoculação com microrganismos promotores do crescimento de plantas (MPCP) se mostraram, com este estudo, tecnologias promissoras para utilização na produção orgânica de milho. Entretanto, é necessário conduzir novos experimentos visando avaliar a consistência da resposta em diferentes safras. Avançar o conhecimento científicos sobre o uso de bioinsumos em sistemas orgânicos, principalmente com variedades tradicionais, como os milhos crioulos com sementes produzidas na própria área onde são utilizados para novos plantios e a competição ou compatibilidade entre microbiota autóctone e exótica (inoculantes).

5. Conclusão

A taxa de colonização micorrízica foi maior no tratamento inoculado com *B. subtilis* e *B. megaterium*, sinalizando um sinergismo entre o inoculante e os fungos micorrízicos nativos do solo.

Não houve resposta significativa para a produtividade de grãos de milho crioulo, em resposta a inoculação de bioinsumos a 5% de probabilidade embora a produção de grãos inoculado com *Bacillus* tenha sido de 21 sacas a mais que no controle.

Agradecimentos

Ao CNPq e FAPEMIG pela concessão de bolsas a primeira autora. A Fazenda Vista Alegre pela concessão de uso de sua área e suporte técnico e logístico para condução do experimento. A Empresa Brasileira de Pesquisa



Agropecuária (Embrapa) pelo suporte financiamento e infraestrutura da pesquisa – projeto SEG 20.20.03.027.00.00 Sistema de produção de milho orgânico na região Central de Minas Gerais.



Referências

ANDRADE, G. Role of functional groups of microorganisms on the rhizosphere microcosm dynamics. In VARMA, V.; ABBOT, L.; WERNE, D.; HAMPP, R. **Plant Surface Microbiology**. New York: editor Springer, p. 51-68, 2004.

ARAUJO, P. M. de; NASS, L.L. Caracterização e avaliação de populações de milho crioulo. **Scientia Agricola**, v.59, p.589-593, 2002

BARBOSA, J. Z.; ROBERTO, L. de A.; HUNGRIA, M.; CORRÊA, R. S.; MAGRI, E.; CORREIA, T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v.170, 2022

BENDER, S. F.; SCHLAEPPI, K.; HELD, A.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Establishment success and crop growth effects of an arbuscular mycorrhizal fungus inoculated into Swiss corn fields. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.273, p.13-24, 2019.

CAMPANHA, M. M.; MATRANGOLO, W. J. R.; DUARTE, J. O.; PIMENTEL, M. A. G.; SOUZA, F. A.; COELHO, A. M.; LANDAU, E. C.; GOMES, J. T.; SOUSA, L. C. A. Produção orgânica de milho crioulo: Fazenda Vista Alegre. **Documentos 269**. Embrapa, ISSN 1518-4277, 2022

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; de CARLAN, C. L. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; de SOUZA, E.; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v.56(4), p.461-479, 2020.

FASSBENDER, H. W. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. **2ª. Ed. Turrialba**, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie de Materiales de Enseñanza no. 29, 1992.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, Lavras (MG), v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C.; PÉREZ-TIENDA, J. Review: Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. **Plant Science** v. 280, p.441-447, 2019.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. Na evaluation of techniques for measuring



vesicular arbuscular Mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, 84, 489-500, 1980.

HERRERA-PERAZA, R. A.; HAMEL, C.; FERNÁNDEZ, F.; FERRER, R. L.; Furrázola, E. Soil-strain compatibility: The key to effective use of arbuscular mycorrhizal inoculants? **Mycorrhiza**, v.21(3), p.183–193, 2011.

INPE, Instituto de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em: **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos** - INPE - Sete Lagoas / MG. Acesso em: 22 de setembro de 2023.

JANOUSKOVA, M.; KRAK, K.; WAGG, C.; ŠTORCHOVÁ, H.; ČAKLOVÁ, P.; VOSÁTKA, M. Effects of inoculum additions in the presence of a preestablished arbuscular mycorrhizal fungal community. **Applied and Environmental Microbiology**, v.79(20), p.6507–6515, 2013.

JANZEN, G. M.; AGUILAR-RANGEL, M. R.; CÍNTORA-MARTÍNEZ, C.; BLOCHER-JUÁREZ, K. A.; GONZÁLEZ-SEGOVIA, E.; STUDER, A. J.; RUNCIE, D. E.; FLINT-GARCIA, S. A.; RELLÁN-ÁLVAREZ, R.; SAWERS, R. J. H.; HUFFORD, M. B. Demonstration of local adaptation in maize landraces by reciprocal transplantation. **Evolutionary Applications**, v.15(5), p.817–837, 2022.

KOPPEN, W.; GEIGER, R. Distribuição actualizada dos tipos de clima segundo a classificação Köppen-GeigerPeel, M. C. and Finlayson, B. L. and McMahon, T. A. " Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification". **Hydrol. Earth Syst. Sci.** v.11, p.1633-1644, 2007

LIU, C.; WANG, J.; WANG, Y.; LI, L.; FENG, Z.; XIAN, Y.; JIANG, Y.; YU, J.; TONG, T.; LI, X.; YAO, M. Crop rotation and fertilization shape the microbiomes of maize rhizosphere soil with distinct mechanisms. **Plant and Soil**, 2024.

LONDOÑO, D. M. M.; MEYER, E.; GONZÁLEZ, D.; HERNÁNDEZ, A. G.; SOARES, C. R. F. S.; LOVATO, P. E. Landrace maize varieties differ from conventional and genetically modified hybrid maize in response to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v.29(3), p.237–249, 2019.

LUTZ, S.; BODENHAUSEN, N.; HESS, J.; VALZANO-HELD, A.; WAELCHLI, J.; DESLANDES-HÉROLD, G.; SCHLAEPPI, K.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A. Soil microbiome indicators can predict crop growth response to large-scale inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. **Nature Microbiology**,



v.8(12), p.2277-2289, 2023.

MAPA. Lei Nº 10.831 de 23 de Dezembro de 2003. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Atualizado em 21/03/2017.

MARTIFNONI, M. M.; GARNIER, J.; HART, M. M.; TYSON, R. C. Investigating the impact of the mycorrhizal inoculum on the resident fungal community and on plant growth. **Ecological Modelling**, v.438, 2020.

MENDES, I. C.; DE SOUSA, D. M. G.; DOS REIS JUNIOR, F. B. Bioindicadores de qualidade do solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, p.1/2 , 2015

ORGANIS. **Associação de Promoção dos Orgânicos. Panorama do consumo de orgânicos no Brasil**. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://organis.org.br/pesquisa-consumidor-organico-2019/>. Acesso em: 13 jan. 2021.

DE OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; DE SOUSA, S. M.; RIBEIRO, V. P.; DOS SANTOS, F. C.; DE PAULA LANA, U. G.; DE SOUZA, F. F.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1-13, 2024.

PEREIRA, V. C.; LÓPEZ, P. A.; DAL SOGLIO, F. K. A. Conservação das variedades crioulas para a soberania alimentar de agricultores: Análise preliminar de contextos e casos no Brasil e no México. **HOLOS**, v. 4, p. 37-55, 2017.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British Mycological Society** v.55, p.158-161, 1970.

PRETTL, N.; BIRÓ, B.; NUGROHO, P. A.; KOTROCZÓ, Z.; KABALAN, S.; KOVÁCS, F.; PADPI, E.; JUHOS, K. Limited effect of mycorrhizal inoculation depending on soil type and fertilization level in a central European field trial. **Plant Growth Regulation**, p.1669-1681, 2024.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo, **Nobel**, 2002.

PROJETO Crioulo. **Nossa História**. Disponível em: <https://www.projetocrioulo.com.br/paginas/nossa-historia>. Acesso em: 24



de mai 2024.

SAXENA, J.; CHANDRA, S.; NAIN, L. Synergistic effect of phosphate solubilizing rhizobacteria and arbuscular mycorrhiza on growth and yield of wheat plants. **Journal of soil science and plant nutrition**. v. 13, n.2, p. 511-525, 2013.

Singh, R.; Goodwin, S. B. Exploring the Corn Microbiome: A Detailed Review on Current Knowledge, Techniques, and Future Directions. **PhytoFrontiersTM**, v.2(3), p.158-175, 2022.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: new paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, v. 62, p. 227-250, 2011.

SOARES, S. A. G.; LIMA, M. R. R.; MAAZE, T. C. U.; MAIA, L. C. Efeito de bactérias na germinação de fungos micorrízicos arbusculares e co-inoculação em mudas de abacaxizeiro. **Revista Caatinga**, v. 22, p. 31-38, 2009.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

STOFFEL, S. C. G.; SOARES, C. R. F. S.; MEYER, E.; LOVATO, P. E.; GIACHINI, A. J. Yield increase of corn inoculated with a commercial arbuscular mycorrhizal inoculant in Brazil. **Ciencia Rural**, v.50(7), p.1-10, 2020.

TAO, J.; MENG, D.; QIN, C.; LIU, X.; LIANG, Y.; XIAO, Y.; LIU, Z.; GU, Y.; LI, J.; YIN, H. Integrated network analysis reveals the importance of microbial interactions for maize growth. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.102(8), p.3805-3818, 2018.