

CRESCIMENTO RADICULAR INICIAL DE PLÂNTULAS DE MILHO COM A UTILIZAÇÃO DE RIZOBACTÉRIAS¹

INITIAL ROOT GROWTH OF CORN SEEDLINGS WITH THE USE OF RHIZOBACTERIA

Ryan Alves Mendanha²

Victor Emanuel Cruz Goulart³

Dennis Ricardo Cabral Cruz⁴

Izabely Vitoria Lucas Ferreira⁵

Adriano Stephan Nascente⁶

RESUMO

A pesquisa em questão teve como objetivo analisar o crescimento inicial de plântulas de milho inoculadas com rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs), utilizando os microrganismos BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*), e um tratamento controle (sem microrganismos). O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, e envolveu quatro tratamentos, com dez repetições cada. As sementes foram microbiolizadas e, após 14 dias de plantio, avaliou-se o desenvolvimento radicular. Os resultados indicaram que os tratamentos com microrganismos aumentaram significativamente em comparação ao controle. O tratamento com *Serratia sp.* obteve o maior comprimento total de raízes, superando em 38,1% o controle. Além disso, *Serratia sp.* e *Bacillus sp.* apresentou maior demonstração positiva com o volume de raízes. Com isso, concluiu-se que a inoculação com *Serratia sp.* e *Bacillus sp.* foi eficaz na promoção do desenvolvimento radicular das plântulas de milho, com impacto positivo em áreas de superfície total, diâmetro médio e massa seca das raízes.

Palavras-chave: RPCPs; Zea Mays; raiz; sustentável; fitormônio.

¹Este artigo é uma versão que faz parte do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Mais de Inhumas - UniMais, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, no segundo semestre de 2024.

² Acadêmico do 10º Período do curso de Agronomia pelo Centro Universitário Mais de Inhumas - UniMais. E-mail: ryanmendanha@aluno.facmais.edu.br

³ Acadêmico do 10º Período do curso de Agronomia pelo Centro Universitário Mais de Inhumas - UniMais. E-mail: victoremannel@aluno.facmais.edu.br

⁴ Professor Orientador. Mestre em Produção Vegetal. Docente do Centro Universitário Mais de Inhumas - UniMais. E-mail: denniscruz@facmais.edu.br

⁵ Mestre em Biotecnologia Aplicada à Agropecuária. Docente do Centro Universitário Mais de Inhumas - UniMais. E-mail: izabelyvitorialucas@facmais.edu.br

⁶Doutor em Produção Vegetal. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: adriano.nascente@embrapa.br.

ABSTRACT

The research in question aimed to analyze the initial growth of corn seedlings inoculated with plant growth-promoting rizobactérias (RPCPs), using the microorganisms BRM 32111 (*Burkholderia* sp.), BRM 63523 (*Serratia* sp.), BRM 63524 (*Bacillus* sp.), and a control treatment (without microorganisms). The experiment was conducted at the greenhouse of Embrapa Rice and Beans in Santo Antônio de Goiás and involved four treatments with ten replications each. The seeds were microbiolized and after 14 days of planting, root development was evaluated. The results indicated that treatments with microorganisms increased significantly compared to the control. Treatment with *Serratia* sp. obtained the highest total root length, surpassing the control by 38.1%. In addition, *Serratia* sp. and *Bacillus* sp. showed the greatest positive demonstration with the volume of roots. Thus, it was concluded that inoculation with *Serratia* sp. and *Bacillus* sp. It was effective in promoting the root development of maize seedlings, with a positive impact on total surface areas, average diameter, and dry mass of the roots..

Keywords: RPCPs; Zea Mays; root; sustainable; phytohormone.

1 INTRODUÇÃO

O milho, pertencente à família Poaceae, destaca-se como uma das principais culturas agrícolas no Brasil, ocupando a segunda posição entre os cereais mais cultivados no país. Além de sua relevância na produção de alimentos, o milho possui diversas outras aplicações (Silva *et al.*, 2022). No cenário global, a produção é liderada pelos Estados Unidos e China, seguidos por Brasil e União Europeia, responsáveis por 72% do volume mundial. Outras nações, como Argentina, Índia, México, Ucrânia e Canadá, também têm registrado crescimento (Contini *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2022). No solo, microrganismos podem beneficiar o desenvolvimento das plantas, facilitando a absorção de nutrientes e contribuindo para a síntese de hormônios de crescimento (Silva *et al.*, 2013).

As bactérias do solo, conhecidas como rizobactérias promotoras do crescimento das plantas, desempenham papel fundamental na melhoria das propriedades do solo e no crescimento dos vegetais, protegendo a rizosfera das plantas e beneficiando o meio ambiente (Amaral *et al.*, 2017). Diante disso, por meio do estudo realizado por Amaral *et al.* (2017), essas bactérias colonizam a rizosfera, a qual corresponde à superfície das raízes das plantas ou aos espaços entre as células vegetais. Com isso, diversos gêneros de bactérias são classificados como RPCPs,

incluindo *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e bactérias diazotróficas.

Nas últimas décadas, a produtividade agrícola aumentou em decorrência dos avanços tecnológicos e do maior uso de recursos naturais, embora com elevados custos e impactos ambientais negativos, como o excesso de defensivos e fertilizantes. Assim, para otimizar a produção e preservar a biodiversidade, a interação simbiótica entre plantas e micro-organismos, especialmente as bactérias da rizosfera, realiza uma importante função. Essas bactérias contribuem para o crescimento e a saúde das plantas, gerando efeitos positivos no ambiente (Vieira Júnior *et al.*, 2013). Logo, os autores ressaltam a relevância científica de se investigar essa temática.

Neste sentido, a análise do crescimento radicular de plântulas de milho com diferentes rizobactérias torna esta pesquisa social e economicamente significativo para os produtores, contribuindo para a otimização dos recursos disponíveis. Esse tipo de estudo pode ajudar a melhorar a eficiência no uso de insumos agrícolas ao diminuir os custos e impactos ambientais, fatores de grande interesse para o setor agrícola.

Esta pesquisa foi conduzida na Embrapa Arroz e Feijão, em Goiás, Brasil, em setembro de 2024, utilizando sementes de milho AG 8088 PRO2 microbiolizadas com diversos microrganismos. Entre esses, destacaram-se bactérias selecionadas da coleção da Embrapa, escolhidas por seu alcance agrícola. Após a microbiolização, os resultados foram submetidos à análise estatística, comparando-se as médias para avaliar o desempenho de cada tratamento. Quanto à escolha dos microrganismos, buscou-se maximizar os benefícios para o crescimento radicular, visando uma aplicação prática para os produtores.

Mediante ao exposto, este trabalho teve como objetivo analisar o crescimento radicular inicial de plântulas de milho com o uso de diferentes rizobactérias, mostrando sua importância e como podem beneficiar a cultura. Portanto, com este estudo, visa-se entender os efeitos dessas interações no desenvolvimento inicial das plantas, bem como auxiliar em práticas agrícolas mais sustentáveis, promovendo uma maior eficiência no uso de recursos e uma redução na utilização de insumos químicos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Cultura de milho

O milho exerce uma função importante na agricultura brasileira, sendo cultivado em todas as regiões do país e abrangendo mais de dois milhões de estabelecimentos agrícolas. Ao longo dos anos, a indústria do milho passou por transformações significativas, refletindo uma diminuição de sua relevância como cultura de subsistência para pequenos agricultores. Em contrapartida, sua importância no âmbito da agricultura comercial tem se intensificado de maneira considerável. Essa evolução resultou em modificações na distribuição geográfica e sazonal da produção de milho, revelando uma reconfiguração nas práticas agrícolas e nas dinâmicas de mercado (Contini *et al.*, 2019).

Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho, com uma produção estimada de 131,87 milhões de toneladas na safra 2022/2023, o que representa um aumento de 9,4% em relação ao volume obtido na safra 2021/2022 (Conab, 2023). Desse total, aproximadamente 60,36% é destinado ao consumo interno, enquanto o volume de exportação alcançou 50 milhões de toneladas na mesma safra. O estado de Mato Grosso lidera a produção nacional, contribuindo com 30,9% do total, seguido pelo Paraná (15,2%), Rio Grande do Sul (9,6%), Goiás (9,6%), Mato Grosso do Sul (8,9%) e Minas Gerais (5,9%) (IBGE, 2023).

Para alcançar a produtividade ideal no cultivo do milho, é imprescindível aprimorar a qualidade do solo por meio da implementação de diversas técnicas de manejo. Entre essas, destaca-se o manejo da fertilidade do solo, que envolve práticas como calagem, gessagem e fertilização equilibrada com macro e micronutrientes, podendo ser realizada com a utilização de fertilizantes químicos ou orgânicos. É importante salientar que o milho possui um imenso potencial produtivo e demonstra um elevado grau de capacidade de resposta às melhorias na fertilidade do solo (Barbosa; França, 2015)

Esse contexto levou ao aumento gradual da aplicação de produtos químicos na agricultura, resultando em uma crescente dependência de defensivos agrícolas na produção nacional. Essa dependência gerou uma série de questões ambientais, suscitando pressões da sociedade para a adoção de práticas mais sustentáveis (Gomes *et al.*, 2021). Assim, para Ávila *et al.* (2021), o solo contém microrganismos que podem ser recursos valiosos para aumentar a disponibilidade de nutrientes e

proteger as plantas contra agentes patogênicos nocivos. Esses microrganismos eficientes, que compreendem uma comunidade de fungos e bactérias derivadas do solo, têm o potencial de beneficiar o crescimento das plantas.

2.2 Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e seu uso em plantas

O advento da revolução agroindustrial promoveu a modernização das técnicas de produção, resultando em mudanças significativas no ambiente agrícola e em impactos ambientais subsequentes. As transformações nos meios rurais não ocorreram de forma uniforme, sendo influenciadas por políticas que buscavam o desenvolvimento rural por meio da modernização da agricultura. Como consequência, o ambiente sofreu deterioração, principalmente devido à utilização inadequada do solo para cultivo. Nesse contexto, a conservação e a restauração dos recursos naturais, em particular do solo, tornaram-se preocupações globais. Os danos infligidos à natureza ressaltam a urgência de preservá-la, com ênfase no estabelecimento de práticas sustentáveis (Barros, 2019).

Diante os desafios enfrentados no domínio da agricultura, especialmente a necessidade de aumentar a produção sem expandir substancialmente as áreas cultivadas, a adoção intensiva de tecnologias inovadoras torna-se imperativa. O objetivo dessa abordagem é possibilitar incrementos sustentáveis na produtividade. Segundo Pascutti *et al.* (2024), no âmbito das tecnologias disponíveis, o uso de microrganismos se sobressai como uma alternativa promissora para a agricultura sustentável, oferecendo benefícios como o aumento do crescimento das plantas, o enriquecimento da fertilidade do solo, o manejo eficiente de pragas e doenças, além da redução da dependência de insumos químicos.

Essas bactérias residem na rizosfera das plantas, onde desempenham várias funções que favorecem o desenvolvimento das plantas. Elas obtêm nutrição a partir dos exsudatos radiculares e empregam vários mecanismos para impactar positivamente as plantas, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfatos, a produção de fitohormônios, além da síntese de sideróforos e biofilmes (Rezende *et al.*, 2021).

Sendo assim, o uso de rizobactérias tem crescido no mercado agrícola. De acordo com Campos *et al.* (2024), existem microrganismos benéficos que podem atuar em simbiose com as plantas ou como saprófitas, vivendo de forma independente. Dentre as espécies mais estudadas, ressaltam-se *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas putida*, *Azospirillum brasilense*, *Serratia marcescens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus megaterium*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Arthrobacter* e *Enterobacter*, além de *Azotobacter*. Logo, o acoplamento de rizobactérias às plantas tem demonstrado um impacto positivo, possibilitando a disponibilidade de nutrientes tanto para o solo quanto para as plantas, além de contribuir para o controle de patógenos.

No campo do agronegócio, uma variedade de microrganismos é atualmente utilizada para diversos propósitos. Entre eles, as bactérias mais empregadas para a fixação de nitrogênio, especialmente no cultivo da soja, são *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Esses inoculantes microbianos fixadores de nitrogênio são aplicados em aproximadamente 78% das terras cultivadas no Brasil, o que equivale a cerca de 36,5 milhões de hectares, permitindo a dispensa da adubação com ureia.

Adicionalmente, microrganismos como *Aspergillus niger* e *Bacillus subtilis* como inoculantes, aumentando a solubilidade do fósforo e de outros nutrientes essenciais presentes no solo. O fungo *Trichoderma harzianum* também se destacou como um importante agente de biocontrole, sendo amplamente utilizado no combate a fitopatógenos que habitam o solo (Florencio *et al.*, 2022).

2.3 Rizobactérias promotoras de crescimento na cultura do milho

Para alcançar altos rendimentos em diversas culturas, especialmente no milho, a aplicação de nitrogênio na forma de fertilizantes é essencial. As doses recomendadas para essa cultura podem ultrapassar 150 kg de N por hectare. O uso elevado de fertilizantes nitrogenados é impulsionado principalmente pela perda de nitratos por meio da lixiviação, pela liberação de amônia por volatilização e pela produção de óxido nitroso durante os processos de desnitrificação. Essas formas de nitrogênio que saem do sistema solo-planta resultam em perdas econômicas e impactos ambientais significativos. Consequentemente, tem-se observado um

aumento na busca por alternativas que reduzam a dependência de fertilizantes, ao mesmo tempo, em que mantêm a produtividade das culturas (Arruda, 2012).

Uma alternativa viável para otimizar a produtividade agrícola é a utilização de Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas (MPCV), que incluem uma variedade de microrganismos, como bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs) e fungos micorrízicos. Diversos gêneros bacterianos foram identificados por suas interações benéficas com as plantas, sendo os mais pesquisados atualmente os gêneros *Azospirillum*, *Bacillus* e *Pseudomonas*. Esses microrganismos proporcionam benefícios ambientais significativos e desempenham um papel econômico crucial na maximização da produtividade agrícola (Carvalho *et al.*, 2009).

Diante disso, a exploração de microrganismos multifuncionais no cultivo do milho torna-se de suma importância para a promoção da sustentabilidade agrícola e a redução do uso de insumos sintéticos. Desse modo, a pesquisa realizada por Picazevicz *et al.* (2019) revelou que a aplicação de *Azospirillum brasilense* ou *Rhizobium tropici* juntamente com molibdênio nas sementes resultou em um aumento significativo no acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas. Este incremento foi de 63% e 60%, respectivamente, eliminando a necessidade de fertilização adicional com nitrogênio.

Segundo Lima *et al.* (2014), a pesquisa sobre inoculações na cultura do milho demonstrou que a introdução de *Bacillus subtilis* derivou em um aumento de 15% na massa fresca da parte aérea durante o cultivo do milho safrinha. Além disso, a utilização de *Azospirillum brasilense* nas sementes levou a um aumento considerável na produtividade do milho, com uma melhoria notável de 21,9% em comparação ao tratamento controle.

Outro gênero de rizobactérias que se destacou é *Serratia sp.*, que, quando em simbiose com plantas, potencializa seu crescimento por diversos mecanismos, incluindo a síntese de fitohormônios e sideróforos, além de contribuir para o manejo de doenças. O conceito apresentado por Silva *et al.* (2022) sugere que *Serratia sp.* possui capacidade de fitorremediação e resistência aos efeitos adversos dos metais pesados, o que é alcançado através da regulação das características fotossintéticas e da ativação de genes relacionados ao estresse.

Conforme as conclusões apresentadas por Nascimento (2017), a aplicação de *Pseudomonas fluorescens* no tratamento de sementes não apenas estimula o desenvolvimento das plantas de milho, como também melhora a absorção e a disponibilidade de fósforo, contribuindo para a nutrição das culturas. Isso decorre em um aumento na produtividade e na qualidade nutricional dos grãos. Em sua pesquisa sobre a seleção e caracterização de agentes para o biocontrole de *Fusarium verticillioides* em cultivos de milho, Diniz (2018) relatou que os gêneros *Bacillus*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Penicillium*, *Candida* e *Aspergillus* foram os microrganismos mais eficazes na inibição do crescimento de *F. verticillioides*.

Para compreender a correlação entre plantas e microrganismos e aproveitar o seu potencial para aumentar a produtividade, bem como usar os recursos naturais de forma eficiente, é fundamental realizar estudos sobre a atividade microbiana durante as diferentes fases do cultivo (Brito *et al.*, 2018). Nesse sentido, uma solução promissora para sistemas agrícolas sustentáveis é o isolamento seletivo e a introdução desses microrganismos como biofertilizantes, visando promover interações sinérgicas entre múltiplas estirpes (Esitken; Ercisli; Gunes, 2010; Stefan *et al.*, 2013). Portanto, a identificação e a recomendação de rizobactérias benéficas para a cultura do milho, com base em sua capacidade de promover o crescimento das plantas, representam uma ação biotecnológica de grande potencial. Microrganismos que ofereçam benefícios à cultura podem ser aplicados futuramente em sistemas de produção agrícola, colaborando para a intensificação sustentável da produtividade.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi conduzida na casa de vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, situada em Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil, durante setembro de 2024. O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos e dez repetições. Os tratamentos envolveram a microbiolização das sementes, a qual consiste em colocar as sementes em contato direto com a solução de microrganismos testada, utilizando a cultivar de milho AG 8088 PRO2. Foram avaliados os seguintes microrganismos multifuncionais: BRM 32111 (*Burkholderia* sp.), BRM 63523 (*Serratia* sp.), BRM 63524 (*Bacillus* sp.) e um

tratamento controle, que não recebeu microrganismos. Os microrganismos selecionados para o experimento foram obtidos da coleção de relevância agrícola mantida pela Embrapa Arroz e Feijão.

Antes da microbiolização, as sementes foram submetidas a um processo de desinfestação. Esse procedimento envolveu a imersão em uma solução de hipoclorito de sódio a 7,5% por sete minutos, seguida por tratamento com álcool a 70% por cinco minutos e três enxágues subsequentes em água destilada, cada um com duração de um minuto, com o intuito de eliminar possíveis resíduos. Em seguida, as sementes foram secas em temperatura ambiente, a 29 °C.

O processo de microbiolização das sementes de milho foi realizado de acordo com o protocolo descrito por Cruz *et al.* (2022). A metodologia consistiu na imersão das sementes em suspensões bacterianas por 4 horas. As rizobactérias foram inicialmente cultivadas em meio sólido (água nutriente) e, posteriormente, transferidas para o meio líquido 523 (caldo nutriente), conforme descrito por Kado e Heskett (1970). As culturas foram incubadas por 4 horas a 28 °C, em uma incubadora com agitação constante. Após esse período, a concentração da solução bacteriana foi ajustada para $A_{540} = 0,5$ (equivalente a 10^8 UFC — Unidades Formadoras de Colônias) por meio de espectrofotometria.

Após o processo de microbiolização, as sementes foram secas à temperatura ambiente. Em seguida, plantaram-se duas sementes em cada recipiente de 500 ml, preenchido com solo de textura média proveniente da camada arável (0,00-0,20 m) e adubado com 2 g de N-P₂O₅-K₂O (4-30-10). Durante o experimento, não houve controle da temperatura ou da umidade relativa do ar. As unidades experimentais foram irrigadas diariamente para manter a umidade do solo próxima à sua capacidade de campo.

Decorridos 14 dias do plantio, as plântulas foram cuidadosamente retiradas dos recipientes e lavadas em água corrente para eliminar os resíduos de solo das raízes. Logo depois, o sistema radicular das plântulas foi separado da parte aérea e fotografado com uma câmera digital sobre um tecido preto. As imagens do sistema radicular das plântulas foram analisadas com o software WinRhizo Pro 2012®, permitindo a obtenção das seguintes métricas: comprimento total da raiz (CompR, cm), diâmetro da raiz (DiamR, mm), área de superfície total das raízes (AreaS, cm²) e volume de raízes (VolR, cm³). As raízes foram acondicionadas em sacos de papel tipo

“kraft” e, em seguida, colocadas em uma estufa de secagem com ventilação forçada a 65 °C, por um período de 72 horas. Após esse processo, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão (0,0001 g) para determinação da massa seca de raízes (MSR).

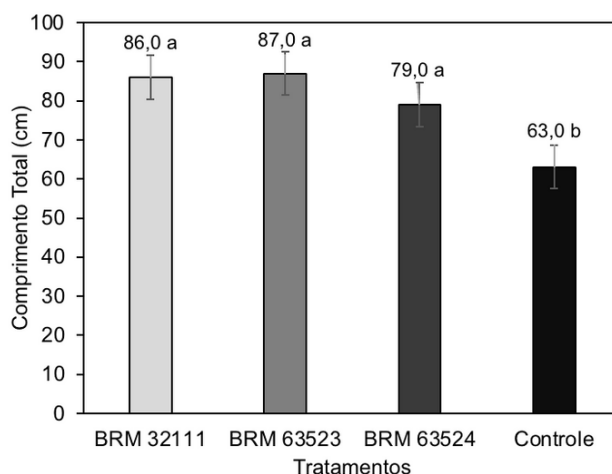
Os dados coletados foram submetidos à análise de variância por meio do software estatístico Sisvar 5.6 (Ferreira, 2019). As médias foram comparadas através do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) (Pietro *et al.*, 2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando comparados ao tratamento controle (sem a aplicação de microrganismos), os que utilizaram os microrganismos multifuncionais apresentaram valores estatisticamente mais elevados nos parâmetros analisados. As raízes das plântulas que receberam o BRM 63523 (*Serratia sp.*) demonstraram o maior comprimento total, superando o controle em 38,1% (Gráfico 1). De acordo com Brito *et al.* (2018), essa bactéria exerce um importante papel no desempenho das plantas, pois, além de oferecer diversos benefícios, consegue colonizar endofiticamente e alterar a estrutura do sistema radicular, promovendo o aumento do comprimento e do volume das raízes, o que resulta em efeitos agronomicamente favoráveis.

Além disso, *Serratia sp.* atua como um eficaz fixador de nitrogênio, viabilizando o crescimento tanto das plantas quanto de suas estruturas. As inoculações com BRM 32111 (*Burkholderia sp.*) e BRM 63524 (*Bacillus sp.*) também apresentaram bons resultados, mostrando-se estatisticamente superiores em relação ao comprimento total de raízes quando comparados ao controle (Figura 1). As Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCPs) residem no ambiente radicular, possibilitando, de forma direta ou indireta, o crescimento e o desenvolvimento das plantas por meio da produção e secreção de várias substâncias reguladoras (Batista, 2012).

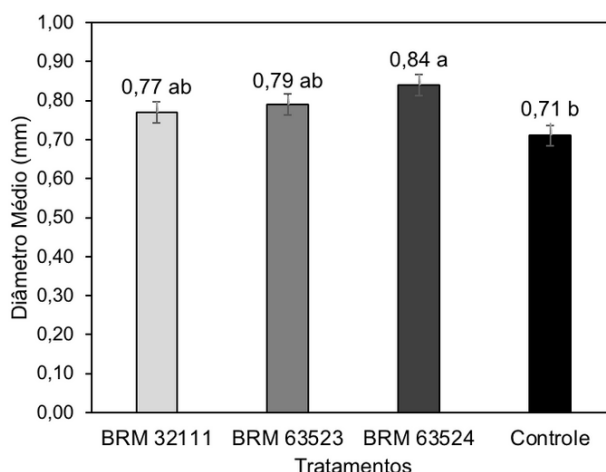
Figura 1. Comprimento total de raízes de milho cultivar AG 8088, em função do tratamento com rizobactérias: BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e controle (sem microrganismos). Avaliação realizada 14 dias após a semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As plântulas inoculadas com o isolado BRM 63524 (*Bacillus sp.*) apresentaram um aumento considerável no diâmetro médio das raízes (em mm) em comparação ao tratamento controle, com um incremento de aproximadamente 18,3% (Figura 2). O gênero *Bacillus sp.* desempenha uma importante função entre os diferentes gêneros de Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCPs), sendo usado ao longo de várias décadas e demonstrando impactos notáveis na estimulação do crescimento vegetal. Esses efeitos benéficos decorrem de vários mecanismos, como a produção de fitohormônios, a solubilização de fosfatos e a fixação de nitrogênio, os quais influenciam diretamente a morfologia das raízes (Botelho *et al.*, 2023).

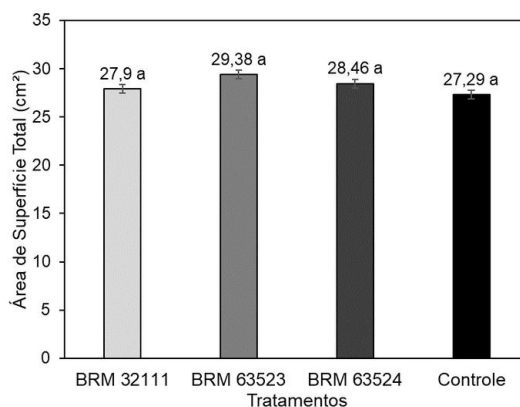
Figura 2. Diâmetro médio de raízes de milho cultivar AG 8088, em função do tratamento com rizobactérias: BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e controle (sem microrganismos). Avaliação realizada 14 dias após a semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Com relação à área de superfície total de raízes, foi analisado que as plântulas microbiolizadas com BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e BRM 32111 (*Burkholderia sp.*) não se diferenciaram estatisticamente. Porém, todas apresentaram um incremento médio de cerca de 7% em comparação ao tratamento controle (Figura 3). Esse resultado corrobora com o estudo de Carvalho *et al.* (2009), o qual mostrou que as rizobactérias do gênero *Serratia sp.*, além do controle biológico já conhecido, estão entre as bactérias com capacidade de produzir fitormônios, promovendo um aumento da área de superfície total de raízes e melhorando sua capacidade de absorção de nutrientes e crescimento das plântulas. A área de superfície total das raízes é um fator importante para compreender a interação entre solo e planta, pois reflete a extensão da exploração radicular. Nesse sentido, microrganismos que conseguem ampliar essa área facilitam a absorção de nutrientes, água e outros recursos pelas plantas.

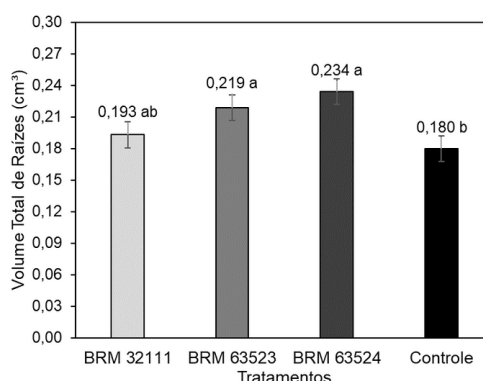
Figura 3. Área de superfície total de raízes de milho cultivar AG 8088, em função do tratamento com rizobactérias: BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e controle (sem microrganismos). Avaliação realizada 14 dias após a semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O tratamento com o BRM 63524 (*Bacillus sp.*) foi o que apresentou o maior volume total de raízes, com um incremento de 30% em comparação ao tratamento controle (Figura 4). O aumento significativo deste parâmetro pode ser atribuído à produção de antibióticos, enzimas e fitormônios que beneficiam as plantas. Esses resultados revelam que as bactérias do gênero *Bacillus sp.* são mais eficazes na promoção do desenvolvimento radicular em relação ao tratamento controle (Mazzuchelli *et al.*, 2014). O isolado BRM 63523 (*Serratia sp.*) também se ressaltou positivamente em relação ao tratamento controle (Gráfico 4), apresentando um incremento de 21,7%.

Figura 4. Volume total de raízes de milho cultivar AG 8088, em função do tratamento com rizobactérias: BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e controle (sem microrganismos). Avaliação realizada 14 dias após a semeadura

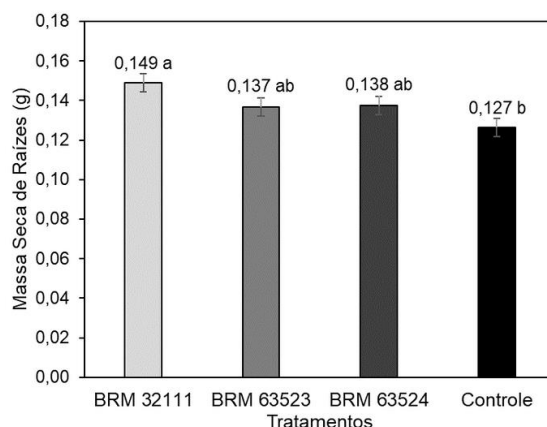


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

As plântulas que receberam o tratamento com BRM 32111 (*Burkholderia sp.*) demonstraram os melhores desempenhos na variável relacionada à massa seca das raízes, alcançando uma massa seca 17,3% maior em comparação ao tratamento controle (Figura 5). As bactérias do gênero *Burkholderia sp.* apresentam grande capacidade de competir com exsudatos vegetais, o que facilita a colonização das raízes. Ademais, possuem a habilidade de produzir compostos antimicrobianos, tornando-se superiores na competição com outros microrganismos do solo, e têm potencial para fornecer nutrientes às plantas, resultando em maior massa radicular (Luvizotto, 2008).

Brito *et al.* (2018) afirmam que, ao trabalhar com a inoculação de bactérias promotoras do crescimento vegetal, especialmente *Burkholderia sp.*, constataram que a utilização dessas bactérias traz benefícios expressivos para o desenvolvimento das plantas. Além disso, a pesquisa evidenciou que a associação dessas bactérias com diferentes doses de fertilização com nitrogênio permite o desenvolvimento de características morfológicas na cultura do milho. Entre essas características, sobressaem-se o crescimento e o aumento da matéria seca da planta.

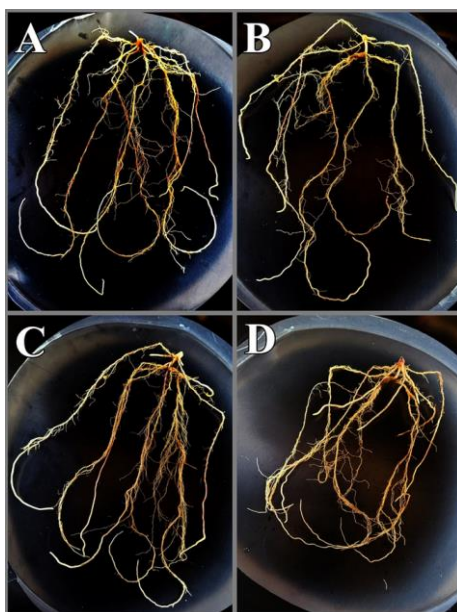
Figura 5. Massa seca de raízes de milho cultivar AG 8088, em função do tratamento com rizobactérias: BRM 32111 (*Burkholderia sp.*), BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e controle (sem microrganismos). Avaliação realizada 14 dias após a semeadura.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ao considerar a qualidade representacional dos tratamentos com microrganismos isolados e as variáveis analisadas, além das imagens do sistema radicular das plântulas (Figura 6), foi possível observar que esses microrganismos favorecem um aumento significativo no comprimento total de raízes, na área de superfície total de raízes, no diâmetro médio de raízes, na massa seca de raízes e no volume total de raízes. Esse incremento no desenvolvimento radicular sucede em uma absorção e captação mais eficaz de nutrientes, permitindo que as plantas de milho explorem uma área mais ampla do solo. Como consequência, isso pode levar a uma diminuição na necessidade de aplicação de fertilizantes químicos na cultura do milho.

Figura 6. Sistema radicular de plântulas de milho cultivar AG 8088 submetidas à microbiolização com rizobactérias multifuncionais: A. BRM 32111 (*Burkholderia sp.*); B. BRM 63523 (*Serratia sp.*); C. BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e D. tratamento controle (sem microrganismo). As plântulas de milho foram fotografadas 14 dias após a semeadura com uma câmera digital. Essas imagens foram posteriormente processadas através do software WinRHIZO 2012, visando uma compreensão mais profunda das interações entre microrganismos e plantas.



Fonte: Acervo dos autores (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os tratamentos com os microrganismos BRM 63523 (*Serratia sp.*) e BRM 63524 (*Bacillus sp.*) apresentaram uma demonstração mais positiva com o volume de raízes das plântulas. Em termos de comprimento total de raízes, todos os tratamentos aplicados tiveram resultados superiores em comparação ao tratamento controle, evidenciando o potencial desses microrganismos na promoção do crescimento radicular. Além disso, o tratamento com BRM 63524 (*Bacillus sp.*) mostrou-se notavelmente variável no diâmetro médio de raízes, superando tanto o controle quanto os demais tratamentos, o que indica a eficácia desse isolado em influência na morfologia radicular.

Com relação à área de superfície total de raízes, como plântulas inoculadas com BRM 63523 (*Serratia sp.*), BRM 63524 (*Bacillus sp.*) e BRM 32111 (*Burkholderia*

sp.) não foram consideradas diferenças estatísticas significativas em comparação ao tratamento controle. Esse resultado sugere que, embora esses microrganismos tenham avançado o crescimento radicular, sua influência na expansão da área de superfície pode ser semelhante às condições testadas. Por outro lado, na análise da massa seca das raízes, a microbiolização com BRM 32111 (*Burkholderia sp.*) sobressaiu-se em relação aos demais, incluindo o controle, revelando que esse tratamento tem um importante papel na promoção do acúmulo de biomassa radicular.

Esses resultados apontam para a importância da utilização de microrganismos multifuncionais como uma alternativa promissora para a melhoria do desenvolvimento radicular de plantas de milho. A inoculação desses microrganismos pode melhorar o crescimento das raízes, bem como reduzir potencialmente a dependência de fertilizantes químicos, favorecendo práticas agrícolas mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, M. B; MONTEIRO, E. de C.; BARBOSA, E. S; SILVA, N. F. P e; CASTILLO, G. J. M. **Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal**: uma revisão de literatura. XXI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VII Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, Paraíba, p. 1-4, 2017.
- ARRUDA, L. M. **Seleção e caracterização de rizobactérias promotoras de crescimento de milho cultivadas no Rio Grande do Sul**. 2012. 58 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- ÁVILA, G. M de A.; GABARDO, G.; RELÓGIO, C. C; LIMA JÚNIOR, OS de. **Utilização de microrganismos eficientes na agricultura**. XII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica da Unicesumar, Ponta Grossa/PR, pp. 1-11, 2021.
- BARBOSA, J. M. P; FRANÇA, L. C. **Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays L.*) submetido à doses de calcário líquido e boro**. 2015. 52p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural da Amazônia – Campus Paragominas, Paragominas, 2015.
- BARROS, J. C. S **Utilização de microrganismos eficientes na produção sustentável de alface (*Lactuca sativa L.*)**. 2019. 41 p. Dissertação (Mestrado) –

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, Minas Gerais, 2019.

BATISTA, B. D. **As Rizobactérias Promotoras do Crescimento de Plantas (RPCPs) residem no ambiente radicular, possibilitando, de forma direta ou indireta, o crescimento e o desenvolvimento das plantas por meio da produção e secreção de várias substâncias reguladoras**. 2012. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2012.

BOTELHO, G. R.; BRASIL, M. Rizobactérias: uma visão geral da importância para plantas e agrossistemas. **Revista Ambientes em Movimento**, [sl], v. 3, pp. 22-46, 2023.

BRITO, T. S.; PAN, R.; BUSS, L. A.; CARVALHO, J. P. F.; EBERLING, T.; MARTINEZ, A. S.; GUIMARÃES, V. F.; CHAVES, E. I. D. O. Promoção do crescimento de Burkholderia ambifaria associada à adubação nitrogenada no desenvolvimento inicial do milho. **Journal Of Agricultural Science**, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 123-135, 2018.

CAMPOS, T. S., VIEIRA, G. R., SOUZA, A. M. B. de, SANTOS, C. H. B., RIGOBELLO, E. C., PIVETTA, K. F. L. Rizobactérias incrementam o crescimento e a qualidade das mudas de Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos. **Revista Árvore**. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.53661/1806-9088202448263634>. Acesso em: 16 out. 2024.

CARVALHO, D. D. C.; OLIVEIRA, D. F.; PASQUAL, M.; CAMPOS, P. C. Rizobactérias produtoras de promotores do crescimento de plantas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 4, pp. 338-341, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/3947>. Acesso em: 15 out. 2024.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira – grãos: 12º levantamento - safra 2022/23, dezembro 2023**. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, v. 12, 2023. 31 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 15 out. 2024.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGH, E.; MIRANDA, R. A de; SILVA, A. F da; SILVA, D. D da; MACHADO, Jr. de A.; COTA, L. V; COSTA, R. V da; MENDES, S. M. **Milho - caracterização e desafios tecnológicos**. Embrapa, [sl], pp. 1-45, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195075/1/Milho-caracterizacao.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.

CRUZ, R. D. C; NASCENTE, A. S; SILVA, M. A; BARROSO NETO, J. Desenvolvimento radicular e caulinar de mudas de milho afetadas por rizobactérias. **Colóquio Agrariae**, v. 1, pp. 53-63, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2022.v18.n1.a479>. Acesso em: 15 out. 2023.

DINIZ, G. F. D. **Seleção e caracterização de agentes para o biocontrole de Fusarium verticillioides na cultura do milho**. 2018. 70f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João Del-Rei, Campus Sete Lagoas, Sete Lagoas, 2018.

ESITKEN, A.; YILDIZ, H. E.; ERCISLI, S.; DONMEZ, M. F.; TURAN, M.; GUNES, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 124, n. 1, p. 62-66, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um sistema computacional de análise para experimentos do tipo parcela dividida com efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, [sl], v. 4, pp. 529-535, 2019. Disponível em: <https://biometria.ufra.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FLORENCIO, C.; BORTOLETTO-SANTOS, R.; FÁVARO, C. P; BRONDI, M. G; VELLOSO, C. C. V; KLAIC, R.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S; MATTOSO, L. H. C Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos evoluindo para uma agricultura mais sustentável. **Química Nova**, São Paulo, v. 9, pp. 1133-1145, 2022. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170909>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GOMES, J. P. A; MOULIN, M.; SOUZA, M.N; SANTOS JÚNIOR, A.C Uso de microrganismos eficientes como alternativa para agricultura sustentável: um referencial teórico. **Agroecologia: Métodos e Técnicas para uma Agricultura Sustentável - Volume 5**, [sl], v. 340-355, 2021. Editora Científica Digital. Disponível em: <http://dxdoi.org/10.37885/210604968>. Acesso em: 12 nov. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa de junho prevê safra recorde de 307,3 milhões de toneladas para 2023**. 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-denoticias/noticias/37373-estimativa-de-junho-preve-safra-recorde-de-307-3-milhoes-de-toneladas-para-2023>. Acesso em: 15 de maio. 2024.

KADO, C. I; HESKETT, M. G. **Meios seletivos para isolamento de Agrobacterium, Corynebacterium, Erwinia, Pseudomonas e Xanthomonas.** *Phytopathology*, v. 60, n. 6, p. 969, 1970. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/phyto-60-969>. Acesso em: 14 out. 2023.

LIMA, A. C. P. **Crescimento radicular em plântulas de tomate em resposta à inoculação da estirpe ENA 4593 de Serratia sp.** 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

LUVIZOTTO, D. M. **Caracterização fisiológica e molecular de Burkholderia spp. associadas às raízes de cana-de-açúcar.** 2008. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MAZZUCHELLI, R. C. L; SOSSAI, B. F; ARAUJO, F. F. Inoculação de Bacillus subtilis e Azospirillum brasilense na cultura do milho. **Colóquio Agrariae**, Presidente Prudente – SP, v. 2, pp. 40-47, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5747/ca.2014.v10.n2.a106>. Acesso em: 12 nov. 2023.

NASCIMENTO, J. do. **Avaliação da associação de rizobactérias na cultura do milho.** 2017. 41 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Fronteira Sul - Campus Laranjeiras do Sul, Laranjeiras do Sul, 2017.

PASCUTTI, M. C. D; SILVESTRE, R. da SF; ORTIZ, T. A. O papel dos microrganismos na agricultura sustentável: uma revisão. **Delos: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 52, pág. 1-18, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.55905/rdelosv1.n52-001>. Acesso em: 18 jan. 2024.

PICAZEVICZ, A. A. C; KUSDRA, J. F; MORENO, A. L Crescimento do milho em resposta a rizobactérias, molibdênio e nitrogênio. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [sl], v. 4, pp. 167-174, 2019. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2019.004.0013>. Acesso em: 15 out. 2024.

PIETRO, Júlia de; MATTIUZ, Ben-Hur; MATTIUZ, Cláudia Fabrino Machado; RODRIGUES, Teresinha de Jesus Deléo. **Qualidade de rosas de corte tratadas com produtos naturais.** Caderno de Recursos, Jaboticabal, v. 2, pp. 123-145, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000071>. Acesso em: 15 out. 2024.

REZENDE, C. C; SILVA, M. A; FRASCA, L. L de M.; FARIA, D. R; FILIPPI, M. C. C de; LANNA, A. C; NASCENTE, A. S. Microrganismos multifuncionais: utilização na

agricultura. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [sl], v. 2, pp. 1-15, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12725>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SILVA, J. M. da; GUEDES, ELFO; MONTALDO, Y. C; TENÓRIO, F. A; ALBUQUERQUE, L. S; SANTOS, T. M. C dos. **Rizobactérias e bactérias diazotróficas na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Costão do Santinho, Florianópolis - SC, pp. 1-3, 2013.

SILVA, M. A; NASCENTE, A. S; REZENDE, C. C; FRASCA, L. L de M.; FILIPPI, MCC de; LANNA, A. C; FERREIRA, E. P de B.; CRUZ, R. D. C; LACERDA, M. C; FERREIRA, E. A. S. **Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura**. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [sl], v. 4, pp. 1-14, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.26971>. Acesso em: 20 nov. 2023.

STEFAN, M.; MUNTEANU, N.; STOLERU, V.; MIHASAN, M.; HRITCU, L. A inoculação de sementes com rizobactérias promotoras do crescimento vegetal aumenta a fotossíntese e a produção de feijão-de-vara (*Phaseolus coccineus* L.). **Scientia Horticulturae**, [S.L.], v. 151, n. 1, p. 22-29, 2013.

VIEIRA JÚNIOR, J. R; FERNANDES, C. de F.; ANTUNES JÚNIOR, H.; SILVA, M. S da; SILVA, D. S. G da; SILVA, U. O da. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotoras de crescimento de plantas**. Embrapa Rondônia, Porto Velho - RO, pp. 7-15, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefndmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/125981/1/doc-155-rizobacterias.pdf>. Acesso em: 15 out. 2024.