

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

MARIA DE NAZARÉ GOMES DE SOUSA

**BIOFERTILIZANTE E INOCULAÇÃO RIZOBIANA NO AMENDOIM
EM SOLO ARENOSO**

RECIFE -PE

2021

Maria de Nazaré Gomes de Sousa
Engenheira Agrônoma

Biofertilizante e inoculação rizobiana no amendoim em solo arenoso

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Newton Pereira Stamford.

Coorientadora: Dra. Emmanuella Vila Nova da Silva.

RECIFE - PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S725b Sousa, Maria de Nazaré Gomes de
Biofertilizante e inoculação rizobiana no amendoim em solo arenoso / Maria de Nazaré Gomes de Sousa. - 2021.
47 f. : il.
- Orientador: Newton Pereira Stamford.
Coorientador: Emmanuella Vila Nova da Silva.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2022.
1. Agricultura sustentável. 2. *Arachis hypogaea* L. 3. Fixação biológica de nitrogênio. 4. Nutrição de planta. I. Stamford, Newton Pereira, orient. II. Silva, Emmanuella Vila Nova da, coorient. III. Título

CDD 631.4

MARIA DE NAZARÉ GOMES DE SOUSA

Biofertilizante e inoculação rizobiana no amendoim em solo arenoso

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovada em 20 de dezembro de 2021

Prof. Dr. Newton Pereira Stamford
Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mario de Andrade Lira Junior
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Emmanuella Vila Nova da Silva (UFRPE)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o sino que tine.

E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e todas as ciências, e ainda que tivesse toda a fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.

E ainda que distribuísse toda a minha fortuna para sustento dos pobres, e ainda que entregasse o meu corpo para ser queimado e não tivesse amor, nada disso me aproveitaria. O amor é sofredor, é benigno; o amor não é invejoso; o amor não trata com leviandade, não se ensoberbece.

Não se porta com indecência, não busca os seus interesses, não se irrita, não suspeita mal; não folga com a injustiça, mas folga com a verdade; tudo sofre, tudo crê, tudo espera, tudo suporta.

O amor nunca falha; mas havendo profecias, serão aniquiladas; havendo línguas, cessarão; havendo ciência, desperecerá. Porque, em parte, conhecemos, e em parte profetizamos, mas, quando vier o que é perfeito, então o que o é em parte será aniquilado.

Quando eu era menino, falava como menino, sentia como menino, discorria com as coisas de menino. Porque agora vemos por espelho em enigma, mas então veremos face a face; agora conheço em parte, mas então conhecerei como também sou conhecido. Agora, pois, permanecem a fé, a esperança e amor, estes três, mas o maior destes é o amor.

1 Coríntio 13:1-13

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois Ele tem sido minha fortaleza durante toda essa jornada.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, em particular ao programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pelo apoio e incentivo aos discentes.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de mestrado, que foi primordial para a minha formação acadêmica.

À minha família, especialmente à minha mãe, Maria, e às minhas irmãs, pelo incentivo e motivação durante toda minha formação para que eu conseguisse chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Newton Pereira Stamford, pela orientação, acolhimento, confiança e ensinamento. Pela oportunidade que me fez amadurecer profissionalmente e pessoalmente.

À Dra. Emmanuella Vila Nova da Silva, pela coorientação e por estar sempre à disposição para sanar as minhas dúvidas e pelo ensinamento repassado.

A todos os professores do programa, especialmente aos que tive o privilégio de aprender sobre Ciência do Solo.

Ao meu namorado Raimundo Henrique, pelo apoio incondicional, paciência, conselhos e companheirismo durante este período.

À minha cunhada Paula Caroline, pelo incentivo, apoio e paciência durante todo esse tempo.

Aos meus amigos de turma Pablo, Andressa, Joel e Djennyfer, os quais tive o privilégio de conviver durante o período de mestrado. E aos demais amigos e colegas do programa que contribuíram direta e indiretamente para minha formação.

Aos meus amigos de laboratório, Magally, Marllon e Jamilly pelo o convívio e experiências vividas.

Agradeço também aos funcionários da UFRPE, especialmente a Socorro, Pedro, Eudes, Vania e Vera pelo o convívio e suporte dado durante esse período.

Biofertilizante e inoculação rizobiana no amendoim em solo arenoso

RESUMO

O crescente aumento populacional levou ao uso intenso dos fertilizantes convencionais, a fim de atender à crescente demanda por alimentos. O uso intensivo destes insumos, principalmente fertilizantes fosfatados, potássicos e nitrogenados, tem causado sérios impactos ambientais. Neste contexto, o uso de insumos orgânicos tornou-se uma alternativa ao uso dos fertilizantes solúveis, uma vez que reduz os impactos ambientais causados pelo uso intensivo dos fertilizantes solúveis e preserva a saúde física, química e biológica do solo. Sendo assim, este trabalho teve como o objetivo avaliar o uso de biofertilizante à base de pó de rocha fosfatada e potássica sobre a nutrição, a produção de biomassa e grãos da cultura do amendoim associado à bactéria fixadora de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* spp., além de seus efeitos sobre as propriedades químicas em solo arenoso. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE em vasos (capacidade de 8 kg). Para o experimento foi utilizado um solo arenoso, proveniente da unidade geoambiental da usina Japungu situada no município de Rio Tinto, Paraíba-Brasil, sob as coordenadas geográficas 6°59'28.37'' de latitude Sul e 35°01'23.10'' de longitude Oeste, o solo foi classificado como Espodosolo Humilúvico órtico dúrico, o clima da região é classificado como AS, quente e úmido. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados, com arranjo fatorial 7 x 2 com cinco repetições. O primeiro fator foram as fontes de nutrição: Biofertilizante - 100% (10 t ha⁻¹); Biofertilizante - 150% (15 t ha⁻¹); Bioprotetor - 100% (10 t ha⁻¹); Bioprotetor - 150% (15 t ha⁻¹); fertilizante convencional - NPK 100% (dose recomendada); húmus de minhoca (12 t ha⁻¹); e o controle (sem fertilização). O segundo fator consistiu na utilização ou não da bactéria fixadora de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* spp. Foram feitas análises biométricas, produção da biomassa e grãos por planta após 90 dias de cultivo e realizadas análises químicas (N, P e K) do solo e da planta. Dentre os resultados encontrados, os parâmetros biométricos e de produção por planta foram influenciados pelos fertilizantes. A inoculação com *Bradyrhizobium* spp. refletiu positivamente, na razão massa seca da parte aérea/massa seca da raiz, no número de vagens, e na massa de grãos. O biofertilizante à base de pó de rocha PK influenciou os teores de P no solo e na planta e de N no solo, sobressaindo o fertilizante convencional. O húmus influenciou os teores de K no solo e na planta. Diante dos resultados obtidos a recomendação do uso do biofertilizante à base de pó de rocha PK e o composto de minhoca são alternativas aos fertilizantes convencionais para a cultura do amendoim.

Palavras-chave: Agricultura sustentável. *Arachis hypogaea* L. Fixação biológica de nitrogênio. Nutrição de planta.

Biofertilizer and rhizobian inoculation in peanut in sandy soil

ABSTRACT

The growing population has led to the intensive use of conventional fertilizers in order to meet the growing demand for food. The intensive use of these inputs, mainly phosphate, potassium and nitrogen fertilizers, has caused serious environmental impacts. In this context, the use of organic inputs has become an alternative to the use of soluble fertilizers, since it reduces the environmental impacts caused by the intensive use of soluble fertilizers and preserves the physical, chemical and biological health of the soil. Therefore, this study aimed to evaluate the use of biofertilizer based on phosphate rock and potassium powder on nutrition, production of biomass and grains of peanut culture associated with nitrogen-fixing bacteria of the genus *Bradyrhizobium* spp., in addition to of its effects on chemical properties in sandy soil. The experiment was carried out in a greenhouse at the Agronomy Department of the Federal Rural University of Pernambuco-UFRPE in pots (8 kg capacity). For the experiment, a sandy soil was used, from the geoenvironmental unit of the Japungu plant located in the municipality of Rio Tinto, Paraíba-Brasil, under the geographic coordinates 6°59'28.37" South latitude and 35°01'23.10" West longitude, the soil was classified as Orthic Duric Humiluvic Spodosol, the climate of the region is classified as AS, hot and humid. The experiment was carried out in a randomized block design, with a 7 x 2 factorial arrangement with five replications. The first factor was the sources of nutrition: Biofertilizer - 100% (10 t ha⁻¹); Biofertilizer - 150% (15 t ha⁻¹); Bioprotector - 100% (10 t ha⁻¹); Bioprotector - 150% (15 t ha⁻¹); conventional fertilizer - NPK 100% (recommended dose); earthworm humus (12 t ha⁻¹); and the control (without fertilization). The second factor consisted of the use or not of the nitrogen fixing bacterium of the genus *Bradyrhizobium* spp. Biometric analysis, biomass and grain production per plant after 90 days of cultivation and chemical analyzes (N, P and K) of the soil and the plant were performed. Among the results found, the biometric and production parameters per plant were influenced by fertilizers. Inoculation with *Bradyrhizobium* spp. positively reflected in the dry mass of the shoot/dry mass of the root, in the number of pods, and in the mass of grains. The biofertilizer based on PK rock powder influenced the levels of P in the soil and in the plant and of N in the soil, standing out the conventional fertilizer. The humus influenced the levels of K in the soil and in the plant. In view of the results obtained, the recommendation for the use of biofertilizer based on PK rock dust and earthworm compost are alternatives to conventional fertilizers for peanut cultivation.

Keywords: Sustainable agriculture. *Arachis hypogaea* L. Biological nitrogen fixation. Plant nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema representativo da produção do biofertilizante obtido a partir da mistura de pó de rocha fosfatada e potássica com enxofre inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* com adição de húmus de minhoca e inoculação da bactéria *Beijerinckia indica* (bactéria diazotrófica de vida livre), e adição do fungo *Cunninghamella elegans* (bioprotetor).
..... 22

Figura 2. Aplicação e incorporação dos tratamentos nos vasos; **A-** Biofertilizante, **B-** Fertilizante convencional (NPK); **C-** Húmus de minhoca e **D-** Bioprotetor. 24

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química e física do Espodossolo Humilúvico..... 20
- Tabela 2.** Teores de fósforo e potássio disponível, pH e nitrogênio total em amostra do húmus de minhoca e em amostras do biofertilizante e do bioprotetor aos 90 dias após a inoculação com *Acidithiobacillus thiooxidans*, adição de húmus de minhoca e inoculação com *Beijerinckia indica*, e aos 120 dias após a inoculação com *Cunninghamella elegans*..... 22
- Tabela 3.** Altura da planta (ALT), Diâmetro do caule, Número de ramos principais, Número de ramos secundários e Massa seca da parte aérea (MSPA) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 27
- Tabela 4.** Massa seca da raiz (MSR), Razão massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) e Volume da raiz (VR) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 30
- Tabela 5.** Número de nódulos (NN) e Massa seca dos nódulos (MSN) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 32
- Tabela 6.** Número de vagens (NV), Massa seca da vagem (MSV), Número de grãos/vagem em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 33
- Tabela 7.** Número de grãos e Massa de grãos em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 34
- Tabela 8.** Fósforo disponível, Potássio trocável e Nitrogênio total determinados no solo submetido a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. no final do ciclo da cultura do amendoim em solo arenoso 35
- Tabela 9.** Acúmulo de Fósforo, Potássio e Nitrogênio na biomassa do amendoim submetido a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio 37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. Hipóteses	14
3. Objetivo geral	14
4. Objetivos específicos	14
5. REVISÃO DE LITERATURA	15
5.1. Biofertilizantes	15
5.2. Importância da fixação biológica de nitrogênio	16
5.3. Cultura do amendoim	17
6. MATERIAL E MÉTODOS	19
6.1. Condução do experimento	19
6.2. Cultivar utilizada.....	20
6.4. Produção do biofertilizante.....	21
6.5. Multiplicação dos microrganismos e preparo dos inoculantes.....	22
6.3. Delineamento experimental e recomendação de adubação	23
6.6. Biometria aos 90 dias e produção de biomassa e de grãos.....	24
6.7. Análises química das plantas	25
6.8. Análises química do solo	25
6.9. Análise estatística	25
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
7.1. Parâmetros biométricos da planta	26
7.2. Componentes de rendimentos.....	33
7.3. Teores de nutriente no solo e nas plantas	35
8. CONCLUSÕES	39
9. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional tem ampliado a demanda por alimentos, com isso o setor agrícola vem sendo pressionado a produzir cada vez mais alimentos para suprir a demanda mundial. Para suprir tal demanda, os agricultores têm feito uso intensivo de insumos agrícolas como fertilizantes solúveis e produtos fitossanitários para alcançar máxima produtividade das culturas.

O uso intensivo destes insumos, principalmente fertilizantes convencionais fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, têm causado sérios impactos ambientais. A poluição dos recursos hídricos, depreciação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e emissão de gases de efeito estufa são considerados os principais problemas ocasionados atualmente pela agricultura convencional. A grande maioria destes impactos ocasionados no solo são decorrentes do uso indiscriminado dos insumos agrícolas ou do mau manejo dos mesmos, e conseqüentemente são difíceis de serem contornados.

O modelo de agricultura sustentável surgiu com o propósito de aumentar a produção agrícola evitando ou reduzindo os impactos negativos causados pela agricultura convencional ao meio ambiente. O surgimento desse modelo de agricultura impulsiona o uso de insumos orgânicos como fertilizantes biológicos compostos por bactérias promotoras de crescimento de planta e vermicompostos. Os insumos orgânicos são alternativas ao uso dos fertilizantes convencionais, pois têm como finalidade atender a demanda nutricional das culturas, reduzir os impactos ambientais e preservar a saúde física, química e biológica do solo.

Nesse contexto, o uso de fertilizantes biológicos à base de pó de rocha fosfatada e potássica têm sido amplamente estudados, pesquisas recentes têm mostrado resultados promissores deste produto em culturas anuais e perenes. O fertilizante à base de pó de rocha fosfatada tem suprido a demanda nutricional das culturas, e apresenta efeito residual no solo quando comparado aos fertilizantes convencionais.

O amendoim é uma das principais leguminosas cultivadas no Brasil, seus grãos possuem elevados teores de proteínas, vitaminas, aminoácidos e óleo, apresentando valores nutricionais e econômicos, sendo amplamente utilizado na produção de doces e óleos vegetais. Seu cultivo é bastante difundido na região Sudeste, considerada a principal produtora da cultura. No Nordeste, o seu cultivo se concentra principalmente no Agreste dos estados da Paraíba, Sergipe, Bahia e na região seminária no Cariri cearense.

A cultura do amendoim possui maior exigência por nutrientes nitrogenados e fosfatados. O nitrogênio é um importante componente de todas as proteínas, enzimas e influencia praticamente todos os processos biológicos das plantas. O fósforo é um componente essencial da ATP, ácido desoxirribonucleico, ribonucleico e controla a síntese proteica. Quando há uma adequada nutrição de fósforo, ocorre um aumento nos processos fundamentais da fotossíntese, fixação simbiótica de nitrogênio, floração e frutificação.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de biofertilizante a base de pó de rocha fosfatada e potássica sobre a nutrição, a produção de biomassa e a produtividade da cultura do amendoim associado à bactéria fixadora de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* spp., além de seus efeitos sobre as propriedades químicas em solo arenoso.

2. Hipóteses

Os fertilizantes biológicos favorecem as propriedades químicas do solo sendo uma fonte sustentável de nutriente para a cultura do amendoim.

A interação entre bactérias fixadora de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* spp., com os fertilizantes biológicos favorecem a nutrição e produtividade da cultura do amendoim.

3. Objetivo geral

Avaliar o uso de fertilizantes biológicos à base de pó de rocha fosfatada e potássica sobre a nutrição, a produção de biomassa e a produtividade da cultura do amendoim associado à bactéria fixadora de nitrogênio do gênero *Bradyrhizobium* spp., além de seus efeitos sobre as propriedades químicas em solo arenoso.

4. Objetivos específicos

Determinar o efeito biofertilizante sobre características químicas do solo.

Avaliar o efeito das diferentes aplicações de fertilizantes em associação com bactéria do gênero *Bradyrhizobium* spp., sobre a nutrição e a produção de biomassa de amendoim.

5. REVISÃO DE LITERATURA

5.1. Biofertilizantes

O crescente aumento populacional tem impulsionado a agricultura convencional ao uso intensivo dos fertilizantes convencionais a fim de atender à crescente demanda por alimento (MAHANTY et al., 2017). O uso intensivo e inadequado de fertilizantes solúveis contendo principalmente nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) tem causado a deterioração do equilíbrio dinâmico do ecossistema do solo, da flora e da fauna, assim como a contaminação dos cursos d'água (CHEW et al., 2019).

Existem 17 elementos essenciais para o bom desenvolvimento das plantas. Entres eles, N, P e K são necessários em quantidades relativamente grandes pela as plantas (RHEINHEIMER et al., 2008; SILVA et al., 2017). Em vista disso, a agricultura é altamente dependente do processo de adubação do solo para a obtenção do alto rendimento na safra (KOUR et al., 2020). A adubação do solo pode ser feita através de fertilizantes solúveis, orgânicos ou biofertilizantes, sendo que cada um destes possui capacidade diferente de disponibilizar nutrientes para o solo suprindo assim a demanda nutricional das culturas (KOUR et al., 2020).

No entanto, os fertilizantes solúveis são usados com maior frequência no sistema de produção agrícola devido à sua alta disponibilidade de nutrientes em curto prazo, porém, apresentam muitas desvantagens quanto ao seu uso, principalmente quando não manejados corretamente (MAHDI et al., 2010). Nessa visão, a adubação do solo utilizando adubos orgânicos e biofertilizantes tem ganhado cada vez mais adeptos, tendo em vista ser uma forma promissora de agregar produtividade nas culturas de forma ecologicamente correta (KOUR et al., 2020).

Com base nessa vertente, surgiu o modelo de agricultura sustentável, que tem como objetivo aumentar a produção das culturas de modo a atender os parâmetros econômicos, preservando as propriedades físicas, químicas e a biodiversidade do solo (JEHANGIR et al., 2017). Os biofertilizantes, na sua maioria, são compostos que contêm cepas de microrganismos, produtos orgânicos e tecidos mortos de plantas capazes de fornecer nutrientes para as plantas (SAHOO et al., 2013). Os microrganismos presentes nos biofertilizantes exercem diferentes papéis, aumentam a disponibilidade de nutrientes, promovem a fixação do nitrogênio atmosférico e a solubilização de fosfato insolúvel, produzem substâncias promotoras de crescimento no solo e contribuem com o aumento

da diversidade biológica do solo (MAZID & KHAN, et al., 2015; MAHANTY et al., 2017).

Vários estudos têm apresentado resultados promissores quanto ao uso de fertilizantes biológicos como fonte de nutrientes para as culturas, como cana-de-açúcar (STAMFORD et al., 2008), banana (BARROS et al., 2021) feijão caupi (STAMFORD et al., 2008; ANDRADE et al., 2013), melão (STAMFORD et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2016), uva (STAMFORD et al., 2011; STAMFORD et al., 2014; SILVA et al., 2018), esses estudos apresentaram evidências satisfatórias quanto ao uso de fertilizantes biológicos nessas culturas, substituindo parcialmente os fertilizantes convencionais.

5.2. Importância da fixação biológica de nitrogênio

O nitrogênio é um macronutriente requerido em grande quantidade pelas plantas, fundamental no processo fotossintético e está presente nos aminoácidos que atuam na síntese das proteínas funcionais e estruturas (NETO et al., 2012; BARBIERI et al., 2017). Porém, o acesso as formas disponíveis de nitrogênio pelas plantas têm limitado a produtividade das culturas, sendo observada uma redução na produção de alimentos por falta deste nutriente (POOLE et al., 2016). Algumas espécies de plantas, principalmente as leguminosas, formam associação com bactérias fixadoras de nitrogênio. Nessa associação, as bactérias formam nódulos no sistema radicular onde ocorre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) (FIGUEIREDO et al., 2008; SANTOS et al., 2018).

A FBN por simbiose entre as plantas leguminosas e bactérias do grupo dos rizóbios contribuí com a redução no uso de fertilizantes químicos nitrogenados, melhorando a nutrição de plantas em condições de baixa fertilidade do solo (KYEI et al., 2017; SANTOS et al., 2018). Esse processo é capaz de suprir total ou parcialmente a necessidade de nitrogênio da planta bem como aumentar o rendimento das culturas (HUNGRIA et al., 2013; MORETTI et al., 2020).

A redução do nitrogênio atmosférico (N_2) a amônia (NH_3) é realizada pelo complexo enzimático nitrogenase, presente nas células de alguns microrganismos pertencentes ao grupo das bactérias e archaeas (BRADY & WEIL et al., 2009). Em algumas leguminosas o NH_3 liberado pelos bacteroides é reduzida a ureídeos, sendo esses ureídeos a principal forma de transporte de N em leguminosas, que é exportado do nódulo pelo xilema para a parte aérea das plantas (SMITH et al., 2002; CARTER et al., 2016).

A cultura do amendoim requer grandes quantidades de N, na ausência deste nutriente ocorre redução de produtividade da cultura (GERICÓ et al., 2020). Para suprir a demanda da cultura por N são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes solúveis, que não só elevando o custo da produção como também esgota a saúde química e biológica do solo, contribuindo também para a deterioração do cultivo (MONDAL et al. 2020). As plantas de amendoim podem se associar com uma grande quantidade de bactérias do gênero *Rhizobium*, porém possui maior afinidade por microrganismos do gênero *Bradyrhizobium*, de crescimento lento (BONIGO et al., 2011). O processo de associação do amendoim pelo seus simbioses ocorrem através de um mecanismo denominado de “entrada de fissura”, onde ocorre a invasão intercelular via lesões epidérmicas durante a emergência das raízes laterais (BOOGERD et al., 1997).

Além do gênero *Rhizobium*, algumas bactérias de vida livre desempenham papel importante no ciclo do nitrogênio, estudos relatam o aumento significativo no rendimento da culturas após a inoculação com bactérias de vida livre com contribuição de até 30 kg de nitrogênio ao ano no solo (SMERCINA et al., 2021; NOSHEEN et al., 2021). Contudo, além de fixar quantidades consideráveis de N ao solo as bactérias de vida livre possuem a capacidade de produzir fitormônios, vitaminas, inibir a produção de etileno, melhorar a absorção de nutriente, aumentar a resistência a estresses, promover a solubilização de fósforo inorgânico e a mineralização do fósforo orgânico, contribuindo para o rendimento das plantas (DOBBELAERE et al., 2003; SHIN et al., 2016).

Pesquisadores que desenvolveram estudos relacionados ao uso de isolados de bactérias de vida livre como fonte de nitrogênio associado ao biofertilizante à base de pó rocha fosfatada e potássica inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* em culturas como uva, feijão caupi, cana-de-açúcar, alface, pimentão, têm relatado resultados positivos com incremento na produtividade (SANTANA et al., 2014; STAMFORD et al., 2014; SILVA et al., 2018; STAMFORD et al., 2019).

5.3. Cultura do amendoim

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma leguminosa originária da América do Sul, sendo cultivada em diversos países (VARSHNEY et al., 2016; SANTOS et al., 2017). O amendoim é considerado uma importante leguminosa, tanto pelo seu valor econômico como nutricional (CARNEIRO et al., 2019), seu grão é rico em proteínas, óleos, aminoácidos e vitaminas (BELTÃO et al., 2011; GERICÓ et al., 2019), sendo

amplamente utilizado na indústria de alimentos, na produção de doces e óleo vegetal (FAYE et al., 2018; GERICÓ et al., 2020).

O Brasil é o 11^a maior produtor mundial e o segundo maior exportador da América Latina (APARECIDO et al., 2021). Na safra de 2020 o Brasil obteve uma produção de 575, 8 mil toneladas (CONAB, 2020). Na região Sudeste concentra-se a maioria da produção de amendoim do país, em torno de 547,6 mil toneladas, sendo o estado de São Paulo o maior produtor (CONAB, 2020). A região nordeste é a segunda maior produtora de amendoim, sendo cultivado principalmente por pequenos produtores do semiárido, com uma produção de 2,2 mil toneladas, destacando-se os estados da Bahia, Ceará e Paraíba (CONAB, 2020).

A cultura do amendoim adapta-se a várias condições de solos, porém os grãos são bastantes exigentes em fontes de P e N (SANTOS et al., 2017). Durante seu desenvolvimento, cerca de 19% do P absorvido é utilizado na fase vegetativa, e de 30 a 51% do P absorvido é destinado para fase reprodutiva e manutenção da cultura (GIABASTANI et al., 1996; ANZUAY et al., 2015) de modo que são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes fosfatados para suprir a necessidade da cultura tendo em vista que aplicação de fertilizantes fosfatados é o principal aporte de P para as culturas.

A suplementação de N para as culturas pode ser feita por meio de fertilizantes solúveis ou por meio da FBN. A FBN é considerada um dos processos biológicos mais importantes para a agricultura sustentável (UNKOVICH et al., 2013; UDWARDI & POOLE et al., 2013; OLDROYD et al., 2011). Estima-se que a FBN por leguminosas insere por ano cerca de 40 milhões de toneladas de N ao solo (AKRAM et al., 2018). O amendoim assim como outras leguminosas tem capacidade de fixar N₂ por meio da simbiose bacteriana. Estima-se que o amendoim pode fixar em torno de 100 a 190 kg N/ha (BODDEY et al., 1990; AKRAM et al., 2018).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, em vasos (capacidade de 8 kg). Para o experimento foi utilizado um solo arenoso, proveniente da unidade geoambiental da usina Japungu situada no município de Rio Tinto, Paraíba sob as coordenadas geográficas 6°59'28.37'' de latitude Sul e 35°01'23.10'' de longitude Oeste, o solo foi classificado como Espodossolo Humilúvico órtico dúrico (EMBRAPA, 2013), o clima da região é classificado, segundo Köppen, como AS, quente e úmido.

O solo foi coletado na camada de 0,0 m a 0,60 m de profundidade posteriormente seco ao ar, peneirado em peneiras de 4 mm e previamente autoclavado (120 °C por uma hora) duas vezes com intervalo mínimo de 72 horas entre as esterilizações. Antes da instalação do experimento foram coletadas amostras de solo para caracterização físico-química (tabela 1).

Foram determinados os seguintes atributos químicos, pH do solo determinado em água na suspensão de 1:2,5 (solo:solução) Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} trocáveis, P disponível, acidez potencial (H+Al), matéria orgânica do solo (M.O). O Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ foram extraídos por NH_4Cl (1,0 mol L^{-1}), o Ca^{2+} e Mg^{2+} foram determinados por absorção atômica e K^+ por fotometria de chama. O Al^{3+} foi extraído por KCL (1,0 mol L^{-1}) e determinado por volumetria (RAIJ et al., 2001). O P disponível foi extraído por Melhich-1 e determinado por colorimetria (EMBRAPA, 2011). A acidez potencial (H+Al) foi extraída por solução-tampão SMP e determinada por potenciometria.

A M.O foi oxidada em solução ácida de dicromato de potássio (0,167 mol L^{-1}) com ácido sulfúrico (5 mol L^{-1} e determinada por colorimetria). Na caracterização física, a granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta com dispersante de hidróxido de sódio 1 mol L^{-1} a densidade do solo pelo o método do anel volumétrico, a densidade de partícula pelo o método do balão volumétrico (EMBRAPA, 2011).

Tabela 1. Caracterização química e física do Espodossolo Humilúvico.

Atributos químicos	
pH (H ₂ O)	6,5
M.O. (mg dm ⁻³)	11,16
P (mg dm ⁻³)	5,38
S (mg dm ⁻³)	6,99
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻¹)	1,12
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻¹)	0,52
K ⁺ (cmol _c dm ⁻¹)	0,43
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻¹)	0,04
H+Al (cmol _c dm ⁻¹)	1,71
SB (cmol _c dm ⁻¹)	1,6
CTC _{total} (cmol _c dm ⁻¹)	3,38
V (%)	49,55
m (%)	2,33
Atributos físicos	
Areia (g kg ⁻¹)	970,60
Silte (g kg ⁻¹)	1,20
Argila (g kg ⁻¹)	22,6
Ds (g cm ⁻³)	1,62
Dp (g cm ⁻³)	2,92
Classe textural	Arenoso

Matéria orgânica (M.O); Fósforo(P); Enxofre(S), Calcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺); Potássio (Mg²⁺); Alumino (Al³⁺); Hidrogênio + aAlumínio (H+Al); Soma de Bases (SB); Capacidade de troca de Cátions total (CTC_{total}); Saturação por base (V); Saturação por Alumínio (m); Densidade do solo (Ds); Densidade de partícula (Dp).

6.2. Cultivar utilizada

A cultivar de amendoim utilizada no experimento foi BRS 151 L7, foram semeadas três sementes por vaso, após quinze dias de germinação foi feito o desbaste deixando apenas uma planta por vaso para evitar a competição intraespecífica entre as plantas. A irrigação foi realizada diariamente com auxílio de uma proveta graduada, no qual correspondia a água perdida por evapotranspiração estimada por meio da pesagem dos vasos.

6.3. Produção do biofertilizante

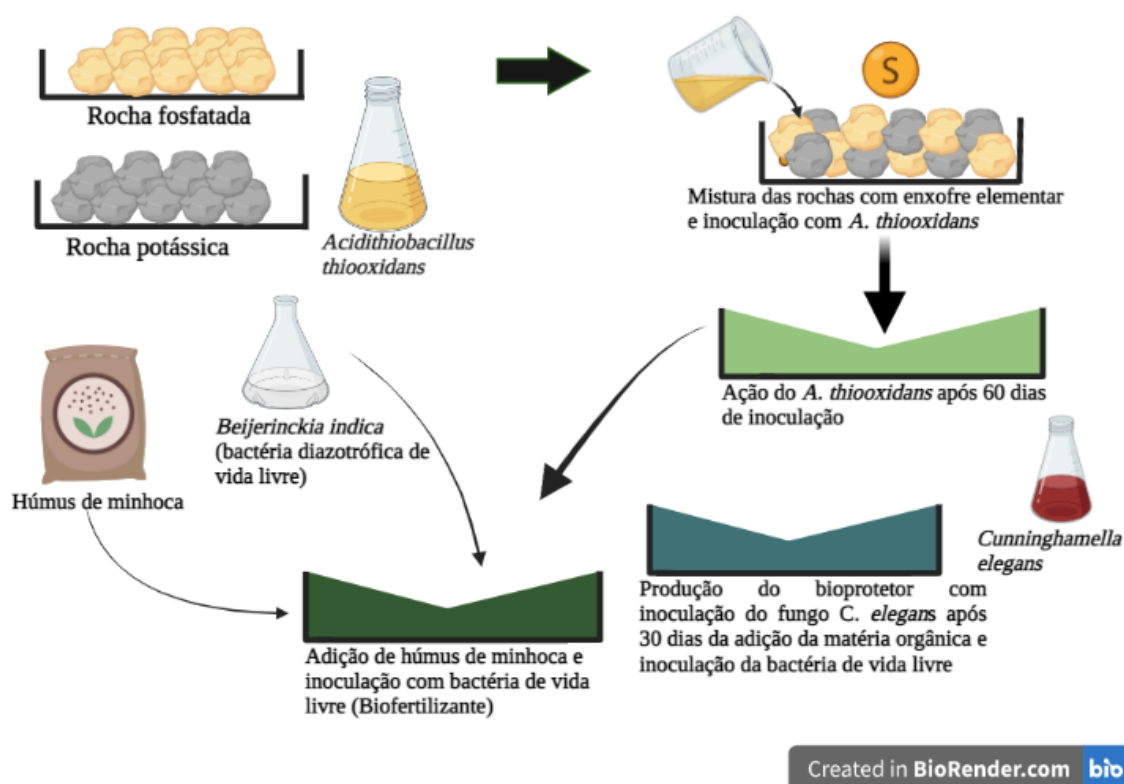
O biofertilizante e o bioprotetor utilizados foram produzidos no Laboratório de Biotecnologia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O biofertilizante foi produzido a partir da mistura de rochas fosfática e potássica com adição de enxofre elementar inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*. Nesse processo é inoculado com *A. thiooxidans* para reagir com oxigênio e hidrogênio produzindo ácido sulfúrico que atuará na solubilização das rochas disponibilizando os nutrientes por um período de 60 dias (STAMFORD et al., 2007). Posteriormente adicionou-se matéria orgânica (húmus de minhoca) e foi inoculada a bactéria diazotrófica de vida livre (*Beijerinckia indica*) tornando-se um fertilizante rico em N pelo processo de fixação biológica. A *B. indica* foi cultivada em meio LG (líquido) durante cinco dias em Erlenmeyer de 2000 mL, contendo 1000 mL do meio, em temperatura de 28 °C.

O bioprotetor foi produzido a partir do biofertilizante inoculado com massa micelial do fungo *Cunninghamella elegans* (Figura 1). Esse fungo possui quitina e quitosana em sua parede celular, sendo uma alternativa para a proteção das plantas devido à ação fungicida e bactericida da quitosana. Para a produção do bioprotetor o *C. elegans* foi purificado em placas de Petri contendo meio BDA (ágar, batata, dextrose) por 10 dias a 28 °C. Após purificação o fungo foi cultivado em meio BD (batata, dextrose) em Erlenmeyers de 2000 mL, contendo 1000 mL do meio, a uma temperatura de 28 °C, sob agitação constante a 150 rpm por 96 horas, conforme metodologia descrita Franco et al. (2005). Foram aplicados 200 mL da suspensão contendo massa micelial do fungo no biofertilizante, com auxílio de um regador, sendo incubado durante 30 dias. Os teores de Fósforo, Potássio e Nitrogênio presentes no húmus de minhoca, no biofertilizante e no bioprotetor estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Teores de fósforo e potássio disponível, pH e nitrogênio total em amostra do húmus de minhoca e em amostras do biofertilizante e do bioprotetor aos 90 dias após a inoculação com *Acidithiobacillus thiooxidans*, adição de húmus de minhoca e inoculação com *Beijerinckia indica*, e aos 120 dias após a inoculação com *Cunninghamella elegans*

Nutrientes	Biofertilizante	Bioprotetor	Húmus
	90 dias	120 dias	-----
pH	4,6	4,6	6,3
P disponível (mg dm ⁻³)	3058,50	3462,00	2514,2
P total (g kg ⁻¹)	3,05	3,46	2,41
K disponível (mg dm ⁻³)	1979,93	1931,92	3879,13
K Total (g kg ⁻¹)	1,93	1,97	3,87
Nitrogênio total (g kg ⁻¹)	3,41	3,44	2,86

Figura 1. Esquema representativo da produção do biofertilizante obtido a partir da mistura de pó de rocha fosfatada e potássica com enxofre inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* com adição de húmus de minhoca e inoculação da bactéria *Beijerinckia indica* (bactéria diazotrófica de vida livre), e adição do fungo *Cunninghamella elegans* (bioprotetor).



6.4. Multiplicação dos microrganismos e preparo dos inoculantes

A estirpe de *Bradyrhizobium* spp. utilizada foi SEMIA 6144 (BR 1436). Essa bactéria foi fornecida pela Embrapa Semiárido-Petrolina-PE. Para produção do inoculante, a bactéria foi multiplicada em meio YMA (yeast, mannitol, agar - ágar,

manitol, extrato de levedura) durante sete dias e posteriormente foi cultivada em meio YM (yeast, mannitol - manitol, extrato de levedura), em Erlenmeyers de 125 mL contendo 50 mL do meio, a uma temperatura de 28°C, sob agitação mecânica de 200 rpm, durante 96 horas, seguindo a metodologia proposta por Vincent (1970).

6.5. Delineamento experimental e recomendação de adubação

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em arranjo fatorial duplo (7 x 2) e cinco repetições (n = 70). O primeiro fator foram as fontes de nutrição: biofertilizante - BIO 100% (10 t ha⁻¹); biofertilizante - BIO 150% (15 t ha⁻¹); bioprotetor - PRO 100% (10 t ha⁻¹); bioprotetor - PRO 150% (15 t ha⁻¹); fertilizante convencional - FNPk 100% (dose recomendada); húmus de minhoca (12 t ha⁻¹); e o controle (sem fertilização). O segundo fator consistiu na utilização ou não de bactéria fixadora de nitrogênio, no qual cada semente foi inoculada utilizando 1 mL da suspensão de *Bradyrhizobium* spp. SEMIA 6144 (BR 1438), (10⁸ UFC.mL⁻¹) no momento do plantio.

O cálculo da adubação para os tratamentos com biofertilizante e bioprotetor foram feitos de acordo com o teor de P obtidos nas amostras de cada fonte (Tabela 2), e a quantidade aplicada em cada vaso para suprir o amendoim (Tabela 2). Os tratamentos com fertilizante convencional e húmus foram calculados em função da análise do solo e a necessidade da cultura de acordo com IPA (2008).

Figura 2. Aplicação e incorporação dos tratamentos nos vasos; **A-** Biofertilizante, **B-** Fertilizante convencional (NPK); **C-** Húmus de minhoca e **D-** Bioprotetor.



6.6. Biometria aos 90 dias e produção de biomassa e de grãos

Após 90 dias da semeadura, as plantas foram retiradas dos vasos. Os parâmetros avaliados foram: altura da planta (ALT), diâmetro do caule, número de nódulos (NN), volume da raiz (VR), número de vagens (NV), massa seca da vagem (MSV), número de grãos por vagem. Após as medições e contagens, todo o material vegetal foi colocado em estufa de circulação de ar forçada até obtenção de peso constante para a quantificação de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca dos nódulos (MSN), razão MSPA/MSR. As medições do diâmetro de caule foram feitas com auxílio de um paquímetro digital a 2 cm acima do solo, a altura das plantas foi realizada utilizando uma fita métrica medindo da base ao ápice do caule principal. O volume da raiz foi realizado pelo método do deslocamento de água na proveta. O método consiste em mergulhar as raízes em uma proveta contendo água, sendo o volume radicular equivalente ao volume de água deslocado.

6.7. Análises químicas das plantas

Após a pesagem, a massa seca da parte aérea das plantas foi moída em moinho do tipo Willey para determinação dos teores de N, P e K. As amostras foram pesadas e colocadas em tubo de digestão e adicionada uma solução nitroperclórica ($\text{HNO}_3/\text{HClO}_4$, 2:1, v/v) e posteriormente colocadas em bloco digestor em temperatura constante até o processo final de digestão para obtenção do extrato. Após esse processo, as amostras foram diluídas com água destilada para determinação de P e K.

O K foi determinado por fotometria de chama, o P por espectrometria com amarelo de vanadato, no qual o ânion H_2PO_4^- reage com molibdato e vanadato formando complexo de coloração amarela que absorve a luz no espectrofotômetro a 420 nm. A determinação do N total foi realizado pelo método Kjeldhal com a mistura de H_2SO_4 e H_2O_2 seguida pela destilação a vapor e titulação para a quantificação do NH_4^+ (EMBRAPA, 2017).

6.8. Análises químicas do solo

Após a colheita das plantas foram feitas coletas de solo para análises de P e K disponível e N total conforme a metodologia da Embrapa (2017). O P e K foram extraídos com solução de Mehlich 1. O P foi determinado em espectrofotômetro no comprimento de onda de 660 nm, o K^+ foi determinado por fotometria de chama.

O N total do solo foi determinado pelo método Kjeldahl (1883). O método consiste na conversão do N orgânico (R-NH_2) em NH_4^+ por meio da digestão sulfúrica e a dosagem deste por meio da quantidade de NH_3 liberado durante a destilação em meio alcalino, nesse método o N é processado em três etapas: digestão sulfúrica, destilação e titulação.

6.9. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homogeneidade de variâncias paramétricas de Bartlett. Posteriormente, foram aplicadas a análise de variância para determinar as diferenças significativas entre os tratamentos pelo teste F a 5% de probabilidade, as médias foram comparadas pelo método Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando Software R Version 3.2.1 (R Core team, 2015).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1. Parâmetros biométricos da planta

Os fertilizantes utilizados não influenciaram significativamente a altura das plantas (Tabela 3). A mesma constatação foi feita por outros autores (BARROS et al., 2021), que realizaram a aplicação de fertilizante biológico em combinação com lodo de esgoto na cultura na banana, no qual não foi observado efeito na altura de plantas. Os autores associaram esse comportamento ao desequilíbrio dos cátions bases do solo principalmente de K que interfere na biometria da cultura. Em nosso estudo, a forma de condução do ensaio em vasos, pode ter interferido na altura das plantas, visto que os vasos não possuíam espaço suficiente para o crescimento do sistema radicular refletindo em menor crescimento da parte aérea. Já Stamford et al. (2020) obtiveram resultados promissores ao avaliar a altura de plantas de feijão-caupi sob a interação de fertilizante biológico com lodo têxtil em um Argissolo brasileiro.

Tabela 3. Altura da planta (ALT), Diâmetro do caule, Número de ramos principais, Número de ramos secundários e Massa seca da parte aérea (MSPA) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	ALT (cm)	Diâmetro (mm)	Nº de ramos principais
BIO 100%	21,91 ± 3,66	4,34 ± 0,50 A	5,70 ± 0,30 A
BIO 150%	19,75 ± 3,12	4,54 ± 0,16 A	5,70 ± 0,42 A
PRO 100%	19,75 ± 2,29	4,15 ± 0,19 A	5,90 ± 0,44 A
PRO 150%	17,81 ± 1,37	4,46 ± 0,18 A	6,00 ± 0,36 A
NPK	20,90 ± 2,08	4,28 ± 0,25 A	6,30 ± 0,37 A
Húmus	19,13 ± 2,16	3,80 ± 0,40 AB	5,60 ± 0,31 A
CON	15,36 ± 2,07	3,01 ± 0,30 B	3,60 ± 0,31 B
<i>Bradyrhizobium</i> +	18,63 ± 2,69	3,99 ± 0,37 A	5,60 ± 0,55 A
<i>Bradyrhizobium</i> -	19,83 ± 2,39	4,17 ± 0,36 B	5,49 ± 0,46 B
Bloco (4,52)	1,62 ^{N.S.}	3,24**	1,16 ^{N.S.}
Fertilizante (F) (6,52)	1,50 ^{N.S.}	6,93**	11,89**
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) _(1,52)	0,82 ^{N.S.}	1,49 ^{N.S.}	0,34 ^{N.S.}
F x Bra (6,52)	0,81 ^{N.S.}	0,97 ^{N.S.}	1,04 ^{N.S.}
Fertilizante	Nº de ramos secundários	MSPA (g)	
BIO 100%	5,10 ± 0,95 AB	13,48 ± 1,50 B	
BIO 150%	6,50 ± 1,04 A	16,11 ± 1,03 AB	
PRO 100%	8,30 ± 1,97 A	17,96 ± 2,32 AB	
PRO 150%	6,90 ± 1,60 A	18,22 ± 1,92 A	
NPK	6,10 ± 1,42 A	20,54 ± 1,89 AB	
Húmus	6,10 ± 1,14 A	16,22 ± 1,68 A	
CON	1,90 ± 0,57 B	4,86 ± 0,98 C	
<i>Bradyrhizobium</i> +	6,69 ± 1,62 A	16,98 ± 2,72 A	
<i>Bradyrhizobium</i> -	5,00 ± 1,29 B	13,70 ± 2,43 B	
Bloco (4,52)	4,05**	0,30 ^{N.S.}	
Fertilizante (F) (6,52)	6,30**	23,38**	
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) _(1,52)	7,89**	16,86*	
F x Bra (6,52)	1,73 ^{N.S.}	1,59 ^{N.S.}	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **, * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. Biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

A altura das plantas também não foi influenciada pela inoculação com *Bradyrhizobium* spp. (Tabela 3). Esses dados diferem dos obtidos por Mondal et al. (2020), esses autores demonstraram que a aplicação de fertilizantes nitrogenados em diferentes doses suplementado com *Bradyrhizobium* em plantas de amendoim resultou em maiores alturas de plantas em relação às plantas que as sementes não foram inoculadas, no entanto, se deve considerar que a condução do experimento em condições de campo sobre cobertura morta de polietileno contribuiu para os resultados obtidos pelos autores.

Contudo, o estabelecimento simbiótico entre planta e bactérias fixadoras de nitrogênio pode ser afetado por vários fatores bióticos e abióticos, que por vez altera alguns processos acima do solo, como por exemplo a fotossíntese, reduzindo assim o crescimento das plantas direta e indiretamente (SANZ-SAEZ et al., 2017; MITRAN et al., 2018; JANATI et al., 2021). O aumento na altura de plantas de amendoim sobre condições de estresse hídrico utilizando a estipe *Bradyrhizobium* spp. SEMIA 6144 foi relatado por Barbosa et al. (2018).

Observou-se diferença estatística ao avaliar o diâmetro do caule das plantas sob a influência dos fertilizantes (Tabela 3), foi observado que todos os tratamentos com fertilizantes foram estatisticamente iguais, diferindo do tratamento controle. Resultados semelhantes ao efeito de fertilizantes fosfatados no diâmetro das plantas foram encontrados por outros pesquisadores ao estudarem os efeitos de diferentes níveis de pó de rochas fosfatadas na cultura do feijão-verde (EMAM et al., 2018).

Esses resultados corroboram com os encontrados por Stamford et al. (2019) em plantas de feijão-caupi sob a interação de fertilizantes biológicos com lodo têxtil em um Argissolo brasileiro. No citado artigo, o resultado foi atribuído ao fato do biofertilizante contribuir com a suplementação nutricional do solo tanto quanto os fertilizantes solúveis, refletindo em maior diâmetro em relação ao controle. A nutrição adequada favorece o crescimento das culturas em condições adversas, sendo crucial para alcançar altos rendimentos e atender ao requisito de qualidade desejada dos produtos agrícolas. A aplicação de *Bradyrhizobium* spp. assim como observado para os dados de altura, não influenciou significativamente o diâmetro do caule das plantas (Tabela 3).

Os tratamentos com os fertilizantes influenciaram significativamente no número de ramos principais das plantas de amendoim (Tabela 3), contudo, não diferiram estatisticamente entre si, mas foram estatisticamente superiores em relação ao tratamento controle. Foi observado um aumento de 75% no número de ramos principais quando comparado ao tratamento controle. Esse resultado indica que tanto a fertilização com biofertilizantes quanto com o húmus de minhoca contribuíram para o crescimento das plantas de amendoim de modo equivalente à adubação convencional com NPK. Não foi observado efeito significativo da utilização de *Bradyrhizobium* spp. sobre o número de ramos principais.

A utilização dos tratamentos fertilizantes e *Bradyrhizobium* spp. afetaram o número de ramos secundários, porém, não ocorreu interação significativa entre os fatores (Tabela 3). Os fertilizantes utilizados não diferiram, a única diferença observada foi em

relação ao controle, em que foi observado um aumento de 330% com a utilização do bioprotetor na dose 100% em relação ao controle. Sendo constatado que tanto as doses de biofertilizantes como o vermicomposto e o fertilizante convencional contribuíram para o crescimento de plantas de amendoim. Os tratamentos inoculados com *Bradyrhizobium* spp. foram estatisticamente superiores em relação aos tratamentos que não foram inoculados, sendo observado um aumento de cerca de 30% no número de ramos secundários com a utilização de *Bradyrhizobium* spp. Kanzaria et al. (2021) demonstraram em seus estudos que a inoculação de semente de amendoim com *Bradyrhizobium* junto com doses recomendadas de NPK contribuem para aumento do número de ramos por plantas.

De acordo com os resultados obtidos observou influencia dos fertilizantes sob massa seca da parte aérea, os tratamentos com o bioprotetor nas doses 100%, 150% e húmus foram estatisticamente maiores, sobressaindo aos tratamentos com biofertilizante nas doses 100%, 150% e NPK, o tratamento controle foi estatisticamente menor em relação aos fertilizantes (Tabela 3). Observou-se que as plantas inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. não diferiram estatisticamente das plantas não inoculadas para a variável MSPA, porém houve um aumento de 22,9% na MSPA das plantas inoculadas em relação às plantas não inoculadas. Esses resultados discordam dos relatados na literatura, em estudo referente ao efeito de biofertilizante e fungos micorrízicos no rendimento e nodulação do feijão-caupi, em que os autores observaram que a máxima produção de biomassa seca foi obtida quando o biofertilizante foi aplicado na dose de 1,5 vezes a taxa de recomendação do P e K (ANDRADE et al., 2013).

Stamford et al. (2019) também observaram efeito significativo na produção da biomassa seca de alface ao avaliarem a eficiência do biofertilizante enriquecido com nitrogênio, e concluíram que após três ciclos consecutivos da cultura o bioprotetor melhorou as características agrônômicas da alface com respostas semelhante ao fertilizante convencional. Chaoui et al. (2003) relataram efeitos significativos na produção de biomassa seca de plantas de trigo de inverno por vermicomposto, em quantidades equivalentes aos fertilizantes convencionais. O vermicomposto é rico em nutrientes, o que favorece o desenvolvimento das plantas, como também, aumenta a reserva destes nutrientes para as safras seguintes (JAT & AHLAWAT et al., 2006; NURHIDAYATI et al., 2018).

O volume de raízes foi afetado de modo significativo pelos tratamentos fertilizantes (Tabela 4), sendo superiores ao tratamento controle, com incremento de 70%

no volume radicular. A inoculação com *Bradyrhizobium* spp. não influenciou o volume radicular, da mesma forma não foi observado interação significativa para o fator fertilização e inoculação com *Bradyrhizobium* spp.

Houve interação significativa entre os fertilizantes e a inoculação com *Bradyrhizobium* spp. para os parâmetros massa seca da raiz e razão massa seca da parte aérea/ massa seca da raiz (Tabela 4). Observou-se que na presença do *Bradyrhizobium* spp. a MSR das plantas que receberam húmus, biofertilizante na dose 100% e bioprotetor nas doses 100% e 150% foram estatisticamente maiores. Na ausência do *Bradyrhizobium* spp. os tratamentos doses do biofertilizante, bioprotetor NPK e húmus foram estatisticamente iguais, diferindo estatisticamente do tratamento controle. Mondal et al. (2020), relataram maior produção de massa seca da raiz de amendoim inoculadas com *Bradyrhizobium* quando utilizou adubação nitrogenada 100% da dose recomendada.

Tabela 4. Massa seca da raiz (MSR), Razão massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) e Volume da raiz (VR) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	MSR (g)		MSPA/MSR	
	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>
	+	-	+	-
BIO 100%	1,62 ± 0,11 BCa	2,25 ± 0,21 Aa	10,46 ± 2,03 Aa	5,01 ± 0,29 Ba
BIO 150%	2,15 ± 0,27 ABa	2,28 ± 0,17 Aa	8,45 ± 1,20 ABa	6,63 ± 0,45 ABa
PRO 100%	2,34 ± 0,39 ABa	1,96 ± 0,29 Aa	9,48 ± 1,07 ABa	7,55 ± 0,93 ABa
PRO 150%	2,81 ± 0,38 ABa	1,91 ± 0,27 Ab	7,68 ± 1,03 ABa	8,66 ± 1,10 ABa
NPK	2,09 ± 0,43 Aa	2,09 ± 0,20 Aa	9,91 ± 1,07 Aa	10,72 ± 1,44 Aa
Húmus	1,55 ± 0,12 BCa	1,86 ± 0,20 ABa	11,74 ± 0,95 Aa	7,81 ± 0,41 ABb
CON	1,00 ± 0,21 Ca	0,95 ± 0,17 Ba	5,66 ± 1,04 Ba	4,61 ± 0,49 Ba
<i>Bradyrhizobium</i> +	-	-	-	-
<i>Bradyrhizobium</i> -	-	-	-	-
Bloco (4,52)	2,70*		4,68**	
Fertilizante (F) (6,52)	9,56**		6,39**	
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra)	0,10*		12,30**	
F x Bra (6,52)	2,69*		3,079**	
Fertilizante	VR (cm ³)			
BIO 100%	25,50 ± 3,45 A			
BIO 150%	25,50 ± 2,25 A			
PRO 100%	27,05 ± 4,12 A			
PRO 150%	26,95 ± 2,88 A			
NPK	25,95 ± 3,80 A			
Húmus	26,60 ± 4,55 A			
CON	15,90 ± 2,53 B			
<i>Bradyrhizobium</i> +	24,90 ± 3,55			
<i>Bradyrhizobium</i> -	24,66 ± 3,89			
Bloco (4,52)	5,13**			
Fertilizante (F) (6,52)	3,47**			
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra)	0,02 ^{N.S.}			
F x Bra (6,52)	1,83 ^{N.S.}			

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **, * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

Na relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz observou-se que os tratamentos biofertilizante e bioprotetor na dose de 100%, NPK e húmus foram maiores estatisticamente (Tabela 4). Na ausência do *Bradyrhizobium* spp., os tratamentos bioprotetor nas doses de 100% e 150% e húmus foram maiores estatisticamente. Silva et al. (2012) relataram melhores resultados da relação raiz/parte aérea na presença de *Rhizobium* em leucena (*Leucaena leucocephala*) quando associado ao biofertilizante PK. Uma menor razão parte aérea/raiz indica que a o crescimento da parte aérea foi menor em relação ao crescimento radicular, a razão raiz/parte aérea é proporcional a suplementação de nutriente com maiores proporções em baixa disponibilidade de nutrientes no solo (LYNCH et al., 2014). Uma maior razão parte aérea/raiz no amendoim está associada ao maior crescimento da parte aérea refletindo em maior estrutura reprodutiva da cultura.

Foi observado interação significativa entre os fatores fertilizantes e *Bradyrhizobium* spp. para o parâmetro número de nódulos (Tabela 5), o tratamento com NPK foi estatisticamente maior em relação aos outros tratamentos, a menor média foi observada no tratamento controle. Este resultado demonstra que a taxa aplicada de nitrogênio no tratamento com fertilizante convencional não inibiu a nodulação do amendoim. Sendo que a formação dos nódulos é melhorada quando o nitrogênio mineral é aplicado de forma moderada (MATHENGE et al., 2019). Mondal et al. (2020) observaram maior número de nódulos quando foi aplicado 50% da dose recomenda de nitrogênio mineral, ocorrendo uma redução do número de nódulos quando foram aplicadas 100% da dose recomendada de nitrogênio mineral em plantas de amendoim, estando este resultado coerente com os observados neste estudo.

Tabela 5. Número de nódulos (NN) e Massa seca dos nódulos (MSN) em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	NN	
	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>
	+	-
BIO 100%	114,00 ± 42,91 BCa	0,00 ± 0,00 Bb
BIO 150%	45,00 ± 12,31 Ca	0,00 ± 0,00 Ba
PRO 100%	157,40 ± 32,31 Ba	0,00 ± 0,00 Bb
PRO 150%	165,60 ± 24,34 Ba	0,00 ± 0,00 Bb
NPK	98,60 ± 19,47 BCa	0,00 ± 0,00 Bb
Húmus	281,60 ± 31,96 Aa	0,00 ± 0,00 Ab
CON	49,20 ± 12,47 Ca	0,00 ± 0,00 Ba
Bloco (4,52)	3,51*	
Fertilizante (F) (6,52)	16,79*	
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) (1,52)	147,48*	
F x Bra (6,52)	6,01*	
Fertilizante	MSN (g)	
	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>
	+	-
BIO 100%	0,22 ± 0,03 Ba	0,00 ± 0,00 Bb
BIO 150%	0,26 ± 0,04 Ba	0,00 ± 0,00Bb
PRO 100%	0,28 ± 0,01 Ba	0,00 ± 0,00 Bb
PRO 150%	0,48 ± 0,10 Aa	0,00 ± 0,00 Bb
NPK	0,26 ± 0,03 Ba	0,00 ± 0,00 Bb
Húmus	0,31 ± 0,03 Ba	0,00 ± 0,00 Ab
CON	0,04 ± 0,01 Ca	0,00 ± 0,00 Ba
Bloco (4,52)	0,25 ^{N.S.}	
Fertilizante (F) (6,52)	7,82*	
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) (1,52)	96,20*	
F x Bra (6,52)	5,87*	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **; * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

A massa seca dos nodulos no tratamento bioprotetor na dose 150% foi estatisticamente superior em relação aos demais tratamentos. O maior número de nodulos observados no tratamento NPK não refletiu em maior massa seca de nódulos. Esses resultados corroboram os encontrados por Andrade et al. (2013) que observaram que a aplicação de fertilizante N mineral reduz drasticamente a biomassa dos nódulos de plantas de feijão-caupi, ocasionado pelo o efeito inibitório do N mineral na formação dos nódulos, e os mesmos autores observaram que aplicação de 8 t ha⁻¹ de biofertilizante proporcionou maior peso de biomassa dos nódulos, e este mesmo resultado foi observado em nosso estudo, ao aplicar bioprotetor na dose 150%. Uma maior massa do sistema radicular apresentará consequentemente uma maior área de sítios de nodulação, refletindo no peso de nódulos (SCHEFFER-BASSO et al., 2001).

7.2. Componentes de rendimentos

Foi observado efeitos significativos isolados das fontes de variação fertilizantes e inoculação com *Bradyrhizobium* spp. para o número de vagem e massa seca de vagem (Tabela 6), em que os tratamentos bioprotetor na dose 100%, NPK e húmus obtiveram os maiores valores referentes as duas variáveis estudadas. A inoculação com *Bradyrhizobium* spp. aumentou em 43% o número de vagens e em 84% a massa seca das vagens em relação ao tratamento sem inoculante. Os tratamentos com fertilizantes não influenciaram o número de grão por vagem (Tabela 6), da mesma forma que não foi observado diferença significativa quando inoculado com *Bradyrhizobium* spp.

Tabela 6. Número de vagens (NV), Massa seca da vagem (MSV), Número de grãos/vagem em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	NV	MSV (g)	Número de grãos/vagem
BIO 100%	11,6 ± 2,04 A	12,22 ± 3,05 CD	1,27 ± 0,18 AB
BIO150%	10,9 ± 1,54 A	10,64 ± 2,75 D	1,15 ± 0,25 AB
PRO 100%	15,4 ± 3,40 A	17,65 ± 3,88 ABC	1,40 ± 0,13 AB
PRO 150%	13,1 ± 2,63 A	13,93 ± 3,65 BCD	1,33 ± 0,13 AB
NPK	16,2 ± 1,35 A	22,43 ± 1,90 AB	1,59 ± 0,11 A
Húmus	14,9 ± 1,37 A	19,76 ± 2,80 A	1,33 ± 0,15 AB
CON	5,1 ± 1,12 B	4,24 ± 1,30 E	1,08 ± 0,19 B
<i>Bradyrhizobium</i> +	14,69 ± 2,25 a	18,65 ± 3,39 a	1,47 ± 0,14 A
<i>Bradyrhizobium</i> -	10,23 ± 2,43 b	10,17 ± 3,14 b	1,15 ± 0,18 B
Bloco (4,52)	1,04 ^{N.S.}	1,33 ^{N.S.}	0,52 ^{N.S.}
Fertilizante (F) (6,52)	9,58**	19,02**	2,54*
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) (1,52)	23,14**	63,54**	16,32*
F x Bra (6,52)	1,73 ^{N.S.}	1,995 ^{N.S.}	1,73 ^{N.S.}

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **, * não significativo, significativo a 5% e a de e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

Houve interação significativa entre as fontes de variação fertilizante e *Bradyrhizobium* spp. para os parâmetros número e massa de grãos (Tabela 7). Os fertilizantes utilizados proporcionaram o mesmo número de grãos, cerca de 3 vezes superior à testemunha na presença do *Bradyrhizobium* spp. Na ausência do *Bradyrhizobium* spp. o tratamento com húmus foi estatisticamente superior em relação aos outros fertilizantes.

Tabela 7. Número de grãos e Massa de grãos em plantas de amendoim submetidas a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	Número de grãos		Massa de grãos (g)	
	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobim</i>	<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i>
	+	-	+	-
BIO 100%	23,4±2,73Aa	7,6±1,16BCDb	8,74±0,94 BCa	2,43±0,74 Cb
BIO150%	20,6±3,26Aa	6,2±0,73CDb	7,59±1,16 Ca	1,62±0,29 Cb
PRO 100%	26,8±0,73Aa	14,6±4,25BCb	11,3±0,64 ABCa	5,82±2,08 BCb
PRO 150%	26±2,88Aa	9,8±1,56BCDb	10,55±1,45ABCa	2,66±0,57 Cb
NPK	26,6±1,47Aa	24±1,18Ab	13,37±0,77 Aa	10,31±0,64 Ab
Húmus	23,4±1,36Aa	15,8±1,24ABb	12,45±0,78 ABa	8,00±0,93 ABb
CON	6±1,48Ba	4,6±1,11Da	1,82±0,58 Da	1,83±0,43 Ca
<i>Bradyrhizobium</i> +	-	-	-	-
<i>Bradyrhizobium</i> -	-	-	-	-
Bloco (4,52)		0,14 ^{N.S}		0,58 ^{N.S}
Fertilizante (F) (6,52)		17,54*		24,50*
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra)		76,85*		81,23*
F x Bra (6,52)		4,286*		3,44*

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **, * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

Em relação à massa de grãos, os tratamentos bioprotetor nas doses 100% e 150%, NPK e húmus foram estatisticamente maiores, quando submetidos a inoculação (Tabela 7). Na ausência do *Bradyrhizobium* spp. os tratamentos bioprotetor na dose 100%, NPK e húmus foram estatisticamente maiores.

Em experimento de campo conduzido por Stamford et al. (2019) foi observado efeito significativo na produtividade de *Lactuca sativa* L. em resposta ao uso de fertilizantes biológicos e fertilizantes solúveis, uma observação semelhante foi encontrada em nossos experimentos. Os mesmos autores observaram que o tratamento controle no qual utilizaram húmus de minhoca não contribuiu para a produtividade da alface, diferindo dos observados em nossos estudos. É provável que às condições distintas de condução dos experimentos tenha influenciado nos resultados observados, tendo em vista que nossa pesquisa foi realizada em casa de vegetação com solo autoclavado. Outro fato a se relevar é que o material utilizado na produção do húmus de minhoca pode influenciar na disponibilidade de nutrientes do mesmo, o que pode refletir diretamente na produção das culturas. Nurhidayati et al. (2018) que concluíram que a disponibilidade de nutriente, absorção de nutriente e produtividade das culturas são afetados pelos os matérias de vermicompostos usados.

7.3. Teores de nutriente no solo e nas plantas

Os tratamentos com os fertilizantes influenciaram significativamente nos teores de P no solo (Tabela 8), sendo observado os maiores valores nos tratamentos biofertilizante na dose 150%, e bioprotetor nas doses 100% e 150%.

Tabela 8. Fósforo disponível, Potássio trocável e Nitrogênio total determinados no solo submetido a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. no final do ciclo da cultura do amendoim em solo arenoso

Fertilizante	P mg dm ⁻³	K cmolc dm ⁻³	N total g kg ⁻¹
BIO 100%	27,77±3,79BC	0,012±0,001B	0,53 ±0,06A
BIO150%	38,12±3,85AB	0,012±0,001B	0,58 ±0,06A
PRO 100%	37,45±6,61AB	0,012±0,001B	0,59±0,06A
PRO 150%	46,10±9,00A	0,013±0,001B	0,56 ±0,04A
NPK	14,97±1,23CD	0,015±0,002B	0,44 ±0,03AB
Húmus	33,96±6,96AB	0,123±0,001A	0,44 ±0,04AB
CON	6,08±0,76D	0,012±0,003B	0,33 ±0,04B
<i>Bradyrhizobium</i> +	28,04±6,67B	0,028±0,017B	0,52±0,07A
<i>Bradyrhizobium</i> -	30,38±8,75A	0,031±0,019A	0,47±0,05B
Bloco (4,52)	5,32 **	2,51 ^{N.S.}	2,32 ^{N.S.}
Fertilizante (F) (6,52)	18,54 **	86,65**	6,43**
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra) (1,52)	0,89 ^{N.S.}	0,92 ^{N.S.}	3,89*
F x Bra (6,52)	0,91 ^{N.S.}	0,35 ^{N.S.}	0,56 ^{N.S.}

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **; * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

Os maiores teores de P no solo foram obtidos nos tratamentos com biofertilizante e bioprotetor na dose de 150%, demonstrando possível efeito residual no solo, por outro lado os fertilizantes convencionais apresentaram baixos teores de P após a colheita do amendoim. Barros et al. (2021) observaram maior eficácia do fertilizante biológico nos teores de P no solo em condições de campo quando aplicaram o bioprotetor a 150% no cultivo de banana. Resultados semelhantes foram observados por Stamford et al. (2017) que relataram o aumento de P no solo, quando aplicaram o biofertilizante e o bioprotetor em maiores taxas, após a colheita da cultura da banana.

Os teores de K no solo foram afetados pela utilização dos fertilizantes (Tabela 8), o tratamento com húmus foi estatisticamente maior, enquanto os tratamentos com biofertilizantes, fertilizante convencional e controle foram estatisticamente iguais. Não foi observado diferença estatística para os teores de P e K no solo na presença de

Bradyrhizobium spp., também não foi observada interação significativa entre os fatores fertilizantes e *Bradyrhizobium* spp.

Os maiores teores de K no tratamento com húmus é referente aos teores de K observado no húmus de minhoca (Tabela 1). Demir et al. (2018) relataram aumento nos teores de K no solo após adição de vermicomposto devido aos elevados teores de K presentes no mesmo. O principal fator que influenciou os resultados pode estar relacionado ao tipo de rocha utilizado como fonte K na produção do fertilizante biológico no qual foi utilizado Relinktum, essa rocha possui baixos teores de K (BARROS et al., 2021). Stamford et al. (2017) observaram resultados significativos para a disponibilidade de K no solo quando o fertilizante biológico foi aplicado em taxas mais altas na cultura da banana, contudo, esses autores utilizaram biotita como fonte de K para a produção do fertilizante biológico, a biotita possui maiores teores de K_2O com relação à Relinktum o que explicaria os resultados obtidos.

Os teores de N no solo foram afetados de modo significativo quando submetidos aos tratamentos com fertilizantes e a inoculação com *Bradyrhizobium* spp. de modo isolado (Tabela 8). Os tratamentos com os fertilizantes biológicos foram maiores estatisticamente, e superiores aos tratamentos com NPK, húmus e controle. A inoculação com *Bradyrhizobium* spp. aumentou significativamente nos teores de N nos solos, sem interação significativa entre os fatores fertilizante e *Bradyrhizobium* spp.

Os fertilizantes biológicos apresentaram melhores resultados de N total no solo, o uso do biofertilizante com composto de minhoca enriquecido com bactérias de vida livre pode aumentar os teores de matéria orgânica do solo resultando no aumento de N total do solo. Resultados semelhantes foram observados por Stamford et al. (2019) ao utilizarem um fertilizante biológico à base de pó de rocha PK no cultivo de alface. Stamford et al. (2017) também observaram teores de N total no solo maiores após aplicação de fertilizante biológico à base de rocha PK em taxas mais altas no cultivo de banana. O uso de *Bradyrhizobium* spp. aumentou significativamente os teores de N total no solo. Algumas leguminosas como a soja fixam em torno de 300 kg de N ha, e liberam cerca de 20 a 30 kg de N ha para as culturas sucessoras (HUNGRIA et al., 2013).

Quanto à influência dos tratamentos nos teores de nutrientes na planta encontramos que os tratamentos com os fertilizantes influenciaram significativamente os teores de K nas plantas. O tratamento com húmus apresentou maior média diferindo estatisticamente dos demais fertilizantes (Tabela 9). Quando submetidos a inoculação com *Bradyrhizobium* spp. os teores de K na parte aérea da planta foram estatisticamente

superior em cerca de 58% quando comparado aos tratamentos com *Bradyrhizobium* spp. (Tabela 9). Não foi observada interação significativa entre os fatores estudados para os teores de K.

Tabela 9. Acúmulo de Fósforo, Potássio e Nitrogênio na biomassa do amendoim submetido a tratamentos de fertilização com e sem inoculação com *Bradyrhizobium* spp. em solo arenoso, aos 90 dias após o plantio

Fertilizante	K -----g kg ⁻¹ -----	N	P (g kg ⁻¹)	
			<i>Bradyrhizobium</i> +	<i>Bradyrhizobium</i> -
BIO 100%	12,09±1,59B	23,16±5,48AB	4,59±0,31BCDa	8,40±0,30Ba
BIO150%	12,60±1,77B	22,62 ±4,47AB	9,99±0,81Aa	16,13±3,19Aa
PRO 100%	9,35 ±1,29B	26,60 ±3,74AB	5,77±0,67ABCa	8,46±0,66Ba
PRO 150%	11,58±1,42B	25,28 ±5,71AB	8,70±0,95ABa	14,15±1,27Aa
NPK	10,92±2,57B	27,44±4,57A	2,85±0,64CDb	2,17±0,32CDa
Húmus	21,59±2,80A	24,38 ±4,55AB	4,49±0,40BCDb	6,36±1,37BCa
CON	7,59±2,03B	16,03 ±3,30B	1,00±0,34Da	0,58±0,35Da
<i>Bradyrhizobium</i> +	10,92±2,43B	28,91±3,88A	-	-
<i>Bradyrhizobium</i> -	13,58±2,79A	18,38±3,88B	-	-
Bloco (4,52)	1,34 ^{N.S}	1,43 ^{N.S}	1,29 ^{N.S}	
Fertilizante (F) (6,52)	11,02**	3,89 **	32,34*	
<i>Bradyrhizobium</i> (Bra)	6,86**	52,93**	21,05*	
F x Bra (6,52)	0,94 ^{N.S}	0,82 ^{N.S}	2,92*	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, dentro do mesmo parâmetro avaliado, são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. N.S.; **: * não significativo, significativo a 5% e a de probabilidade pelo teste f, respectivamente. biofertilizante (BIO); bioprotetor (PRO); fertilizante convencional (NPK); controle (CON); 100% e 150% (doses).

O composto de minhoca possui alta concentração de nutrientes facilmente disponíveis, o que explica os resultados observados no estudo atual. Resultados semelhantes foram observados por Demir et al. (2018) quando estudaram o efeito da aplicação de vermicomposto nas propriedades físico-química do solo na produção de alface. Os tratamentos com fertilizantes biológicos tiveram aumento médio em torno de 3,6 % nos teores de K na biomassa do amendoim em relação ao tratamento com NPK e controle que contribuíram com 1 e 0,7 % com os teores de K na biomassa.

As concentrações de N acumulado na biomassa do amendoim foram afetadas significativamente pelo uso dos fertilizantes (Tabela 9). Sendo que todos os fertilizantes utilizados foram superiores ao controle em cerca de 72%. As plantas que foram inoculadas com *Bradyrhizobium* spp. obtiveram maiores teores de N na parte aérea, com um aumento de 58% em relação às plantas sem inoculação de *Bradyrhizobium* spp. (Tabela 9).

Stamford et al. (2019) observaram resultados semelhantes ao estudo atual nos valores de N, quando avaliaram a aplicação de fertilizante biológico à base de pó de rocha

PK na cultura da alface. Da mesma forma, Júnior et al. (2018) observaram que aplicação de biofertilizante à base de pó de rocha PK aumentou os teores de N na folha de uva. Barros et al. (2021) também observaram que a maior dose de fertilizante biológico foi mais eficiente na concentração de N em plantas de banana que o fertilizante convencional.

Houve interação significativa entre as fontes de variação fertilizantes e *Bradyrhizobium* spp. para os teores de P na parte aérea das plantas de amendoim (Tabela 9). Observou-se que tanto na ausência como na presença do *Bradyrhizobium* spp. os tratamentos biofertilizante e bioprotetor na dose 150% obtiveram maiores médias diferindo estatisticamente do tratamento NKP e controle, que foram estatisticamente menores, contudo, na ausência do *Bradyrhizobium* spp. os teores de P na parte aérea da planta, independentemente dos tratamentos, foram maiores que na presença do *Bradyrhizobium* spp.

O P desempenha papel importante no metabolismo das plantas, está envolvido na biossíntese como um dos principais constituintes das células, e participa de alguns processos vitais como geração de energia (ATP). A FBN é um processo que requer grande gasto de energia, para cada grama de N fixado são gastas em torno de 16 moléculas de ATP. De modo que o P exerce papel importante na FBN, embora sua ausência cause redução nas funções gerais e crescimento das plantas, causa impactos indireto na FBN em leguminosas, sendo também importante para a sobrevivência de diversos microrganismos do solo, principalmente para as bactérias diazotróficas que requerem quantidades de P adequadas para seu crescimento (MALHOTRA et al., 2018).

Sanz-Saez et al. (2017) verificaram que a exigência de P pelas plantas fixadoras de N₂ é maior que as plantas não fixadoras de N₂. No presente estudo foi observado que na presença do *Bradyrhizobium* spp. as plantas obtiveram menores teores de P em sua biomassa, contudo na ausência do *Bradyrhizobium* spp. as plantas obtiveram maiores teores de P na biomassa. Tanto na presença como na ausência do *Bradyrhizobium* spp. os tratamentos bioprotetor nas doses 100% e 150% obtiveram maiores teores de P na biomassa seguidos pelo os tratamentos biofertilizantes nas doses 100% e 150%, os tratamentos NPK e controle foram estatisticamente iguais, demonstrando de fato que FBN gasta grande quantidade de energia envolvendo principalmente os intermediários fosforilados (VAUCLARE et al., 2013; LIU et al., 2018).

8. CONCLUSÕES

1. O biofertilizante à base de pó de rocha fosfatada e potássica nas doses estudadas mostraram ser uma alternativa viável na substituição do fertilizante convencional, pois foram estatisticamente iguais ou superiores ao fertilizante solúvel na maioria dos parâmetros avaliados.
2. Assim como o biofertilizante o húmus também apresentou resultados promissores na nutrição e no rendimento da cultura do amendoim, sendo também uma alternativa aos fertilizantes convencionais, contudo, para ser utilizado como fonte alternativa aos fertilizantes convencionais é necessário que o mesmo apresente teores nutricionais adequado para suprir a necessidade das culturas.
3. A interação entre fertilizantes e *Bradyrhizobium* spp. mostrou melhores resultados para as variáveis MSPA, MSR, razão MSPA/MSR, número de grãos, massa de grãos e teores de P na planta.
4. Os biofertilizantes contribuíram para o aumento dos teores de nutrientes no solo após a coleta das plantas de amendoim em relação ao fertilizante convencional, em casa de vegetação, sendo importante a condução de novos experimentos em condições de campo, em ciclos consecutivos, da cultura do amendoim para possíveis comprovações dessas evidências em condições de campo.

9. REFERÊNCIAS

- AKRAM, N. A.; SHAFIQ, F.; ASHRAF, M. Peanut (*Arachis hypogaea* L.): A prospective legume crop to offer multiple health benefits under changing climate. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v.17(5), p.1325-1338, 2018. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12383>.
- ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R.; FREITAS, A. D. S.; SOUSA, C. A.; JUNIOR, M. A. L. Effects of biofertilizer with diazotrophic bacteria and mycorrhizal fungi in soil attribute, cowpea nodulation yield and nutrient uptake in field conditions. **Scientia Horticulturae**, v.162, p.374-379, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.019>.
- ANZUAY, M. S.; LUDUEÑA, L. M.; ANGELINI, J. G.; FABRA, A.; TAURIAN, T. Beneficial effects of native phosphate solubilizing bacteria on peanut (*Arachis hypogaea* L) growth and phosphorus acquisition. **Symbiosis**, v. 66(2), p.89-97, 2015. <https://doi.org/10.1007/s13199-015-0337-z>
- APARECIDO, L. E.O.; LORENÇONE, J. A.; LORENÇONE, P. A.; MENESES, K. C.; MORAES, J. R. S.C. Climate risk to peanut cultivation in Brazil across different planting seasons. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11145>
- BARROS, J. A.; STAMFORD, N. P.; MEDEIROS, E. V.; SILVA, E. V. N.; OLIVEIRA, W. S.; COSTA, D. P.; MARTINS, M. S. Biological fertilizer combined with sewage sludge as nutrient sources in banana cultivation. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p.1-16, 2021. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1958206>.
- BELTRÃO, N.E.M.; SOUSA JUNIOR S.P.; OLIVEIRA, M.I.P.; FILHO, J.M.F.; SILVA, M.N.B. Ecofisiologia do amendoim. I. **Embrapa Informação Tecnológica**, Brasília, p. 125–162, 2011.
- BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; NEVES, M. C. P.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. Quantification of the contribution of N₂ fixation to field- grown grain legumes – a strategy for the practical application of the 15N isotope dilution technique. **Soil Biology and Biochemistry**, v.22, p.649–655, 1990. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.034>.
- BOOGERD, F.; VAN ROSSUM D. Nodulation of groundnut by *Bradyrhizobium*: a simple infection process by crack entry. **FEMS Microbiology Reviews**, v.21, p.5–27. 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1997.tb00342.x>.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. São Paulo, Bookman Editora, 2009.
- CARNEIRO, F. M.; FURLANI, C. E.; ZERBATO, C.; MENEZES, P. C. D.; GÍRIO, L. A. D. S. Correlations among vegetation indices and peanut traits during different crop development stages. **Engenharia Agrícola**, v.39, p.33-40, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430->.
- CARTER, A. M.; TEGEDER, M. Increasing nitrogen fixation and seed development in soybean requires complex adjustments of nodule nitrogen metabolism and partitioning processes. **Current Biology**, v. 26.15, p. 2044-2051, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2016.06.003>.

CARVALHO, L. R.; PEREIRA, L. E. T.; HUNGRIA, M., CAMARGO, P. B.; SILVA, S. C. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.278, p.96-106, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.016>.

CHAOUI, H.I.; ZIBILSKA L.M.; OHNO, T. Effects of earthworms cast and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. **Soil Biology and Biochemistry**, www.elsevier.com/locate/soilbio, v. 35, p.295–302, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00279-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00279-1)

CHEW, K. W., CHIA, S. R., YEN, H. W., NOMANBHAY, S., HO, Y. C., & SHOW, P. L. Transformation of biomass waste into sustainable organic fertilizers. **Sustainability**, v. 11-8, p. 2266, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11082266>

CHOTCHUTIMA, S.; TUDSRI, S.; KANGVANSACHOL, K.; SRIPICHITT, P. Effects of sulfur and phosphorus application on the growth, biomass yield and fuel properties of leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) as bioenergy crop on sandy infertile soil. **Agriculture and Natural Resources**, v.50(1), p.54-59, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anres.2015.09.002>.

CONAB, **Companhia Nacional de Abastecimento**, Brasília, v. 20. p.24. 2020.

DEMIR, Z. Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.50(17), p.2151-2168, 2019. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508>.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical reviews in plant sciences**, v.22, p.107-149, 2003. <https://doi.org/10.1080/713610853>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa solo, Rio de Janeiro, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**, 3. ed. rev. e ampl., Brasília: Embrapa, p. 573, 2017.

EMBRAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2. ed. Campina Grande, 2010.

FAYE, B.; WEBBER, H.; DIOP, M.; MBAYE, M.; OWUSU-SEKYERE, J.; NAAB, J.B.; GAISER, T. Potential impact of climate change on peanut yield in Senegal, West Africa. **Field Crops Research** v.219, p.148–159, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.034>.

FIGUEIREDO, M.V.B.; BONIFACIO, A.; RODRIGUES, A.C.; ARAUJO, F.F. Plant growth-promoting rhizobacteria: key mechanisms of action. **In Microbial-mediated induced systemic resistance in plants**. Springer, Singapore, pp. 23-37, 2016.

FRANCO, L. O.; STAMFORD, T. C. M.; STAMFORD, N. P.; TAKAKI, G. M. C. *Cunninghamella elegans* (IFM 46109) como fonte de quitina e quitosana. **Revista Analytica, São Paulo**, v. 4, p. 40-44, 2005.

FURLAN, A. L.; BIANUCCI, E.; CASTRO, S.; DIETZ, K. J. Metabolic features involved in drought stress tolerance mechanisms in peanut nodules and their

contribution to biological nitrogen fixation. **Plant Science**, v.263, p.12-22, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.06.009>.

GABDEL-RAHMAN, N. Evaluation of Natural and Chemical Phosphorus Fertilizers on Plant Growth, and Yield of Some Green Beans Cultivars. **Annals of Agricultural Science, Moshthohor**, v. 56, n. 2, p. 349-358, 2018. <http://aasj.bu.edu.eg/index.php>.

GERICÓ, T. G.; TAVANTI, R. F. R.; DE OLIVEIRA, S. C.; LOURENZANI, A. E. B. S.; DE LIMA, J. P.; RIBEIRO, R. P.; DOS REIS, A. R. *Bradyrhizobium* sp. enhance ureide metabolism increasing peanuts yield. **Archives of microbiology**, Berlin, v. 202. (3), p.645-656, 2020.

GIABASTANI, G. Cultivo de maní. cereales y oleaginosas. **Facultad de Ciencias Agrarias**. Universidad Nacional de Córdoba. URL:<http://www.agro.uncor.edu/ceryol/documentos/mani/mani-pdf>, 1996.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils** v. 49, p. 791-801, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0771-5>

JANATI, W.; BENMRID, B.; ELHAISSOUFI, W.; ZEROUAL, Y.; NASIELSKI, J.; BARGAZ, A. Will phosphate bio-solubilization stimulate biological nitrogen fixation in grain legumes. **Frontiers in Agronomy**, v. 637196, 2021. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.637196>

JAT, R.S.; AHLAWAT, I.P.S. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers and phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize sequence. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 28(1), p.41–54, 2006. https://doi.org/10.1300/J064v28n01_05

JEHANGIR, I. A.; MIR, M. A.; BHAT, M. A.; AHANGAR, M. A. Biofertilizers in Approach to Sustainability in Agriculture: A Review. **International Journal of Pure and Applied Bioscience**, New Delhi, v. 5, n. 5, p. 327-334, 2017.

KANZARIA, K. K.; GEVARIYA, S. N.; AKBARI, L. F. Impact of Rhizobium isolates on groundnut (*Arachis hypogaea* L.) under field condition. **The Pharma Innovation Journal**, Ivano, v.500, p.1, 2021.

KJELDAHL, C. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. **Z Anal Chem**, v. 22, p. 366, 1883. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01338151>

KOUR, D.; RANA, K. L.; YADAV, A. N.; YADAV, N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; SAXENA, A. K. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 23, p.101487, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101487>.

KYEI-BOAHEN, S.; SAVALA, C. E. N.; CHIKOVE, D.; ABIDOO, R. Gerwth and yield responses of cowpea to inoculation and phosphorus fertilizantion in diferente environments. **Frontiers in Plant science**, v. 8. 646, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00646>.

LENIN, M.; SELVAKUMAR, G.; THANGADURAI, R. Growth and nutrient content variation of groundnut *Arachis hypogaea* L. under vermicompost application. **Journal of Experimental Sciences**, Tamil Nadu, v.1(8), 2010.

LIU, A.; CONTADOR, C. A.; FAN, K.; LAM, H. M. Interaction and regulation of carbon, nitrogen, and phosphorus metabolisms in root nodules of legumes. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p.1860, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01860>.

LYNCH, J.; MARSCHNER, P.; RENGEL, Z. **Effect of internal and external factors on root growth and development**. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic Press, p. 331-346, 2012. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00013-3>.

MAHANTY, T.; BHATTACHARJEE, S.; GOSWAMI, M.; BHATTACHARYYA, P.; DAS, B.; GOSH, A.; TRIBEDI, P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24.4, p. 3315-3335, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8104-0>

MAHDI, S. S.; HASSAN, G. I.; SAMOON, S. A.; RATHER, H. A.; DAR, S. A.; ZEHRRA, B. Bio-fertilizers in organic agriculture. **Journal of phytology**, Lisboa, v.2(10), p.42-54, 2010.

MALHOTRA, H.; SHARMA, S.; PANDEY, R. Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. **In Plant nutrients and abiotic stress tolerance**, pp. 171-190, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8>

MATHENGE, C.; THUITA, M.; MASSO, C.; GWEYI-ONYANGO, J.; VANLAUWE, B. Variability of soybean response to rhizobia inoculant, vermicompost, and a legume-specific fertilizer blend in Siaya County of Kenya. **Soil and Tillage Research**, v.194, p.104290. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.06.007>.

MAZID, M.; KHAN, T. A. Future of bio-fertilizers in Indian agriculture: an overview. **International Journal of Agricultural and Food Research**, v.3(3), p.10-23 2015. <https://doi.org/0.24102/ijafr.v3i3.132>

MELO, E.B.S.; LIMA, L.M.D.; FERNANDES-JÚNIOR, P.I. ALDAR, S.D.T.; FREIRE, M.A.O.; FREIRE, R.M.M.; SANTOS, R.C. Nodulation, gas exchanges and production of peanut cultivated with *Bradyrhizobium* in soils with different textures. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v.7, p.160, 2016.

MITRAN, T.; MEENA, R. S.; LAL, R.; LAYEK, J.; KUMAR, S.; DATTA, R. **Role of soil phosphorus on legume production**. **Legum. Soil Heal. Sustain. Manag.** doi: 10.1007/978-981-13-0253-4_15, Springer, Singapore, p.487–510, 2018.

MONDAL, M.; SKALICKY, M.; GARAI, S.; HOSSAIN, A.; SARKAR, S.; BANERJEE, H.; LAING, A. M. Supplementing nitrogen in combination with rhizobium inoculation and soil mulch in peanut (*Arachis hypogaea* L.) production system: Part II. Effect on phenology, growth, yield attributes, pod quality, profitability and nitrogen use efficiency. **Agronomy**, v.10(10), n. 1513, p.1-25, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101513>.

MORETTI, L. G., CRUSCIOL, C. A, KURAMAE, E. E., BOSSOLANI, J. W., MOREIRA, A., COSTA, N. R., HUNGRIA, M. Effects of growth-promoting bacteria on soybean root activity, plant development, and yield. **Agronomy Journal**, v. 112 (1), p. 418-428, 2020. <https://doi.org/10.1002/agj2.20010>.

NEELIPALLY, R. T. K. R.; ANORUO, A. O.; NELSON, S. Effect of Co-Inoculation of *Bradyrhizobium* and *Trichoderma* on growth, development, and yield of *Arachis*

hypogaea L. (Peanut). **Agronomy**, v. 10, n. 1415, p.1-12, 2020.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10091415>.

NOORHOSSEINI, S A.; DAMALAS, C.A. Environmental impact of peanut (*Arachis hypogaea* L.) production under different levels of nitrogen fertilization. **Agriculture**, v.8(7), p.104, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture8070104>.

NOSHEEN, S.; AJMAL, I.; SONG, Y. Microbes as biofertilizers, a potential approach for sustainable crop production. **Sustainability**, v.13(4), p.1868, 2021.
<https://doi.org/10.3390/su13041868>.

NURHIDAYATI, N.; MACHFUDZ, M.; MURWANI, I. Direct and residual effect of various vermicompost on soil nutrient and nutrient uptake dynamics and productivity of four mustard Pak-Coi (*Brassica rapa* L.) sequences in organic farming system. **International journal of recycling of organic waste in agriculture**, v.7(2), p.173-181, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0203-0>.

OLDROYD, G.E.; MURRAY, J.D.; POOLE, P.S.; DOWNIE, J.A. The rules of engagement in the legume-rhizobial symbiosis. **Annual Review of Genetics**, v.45, p.119–144, 2011. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-110410-132549>.

OLIVEIRA, W. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N. D.; ARNAUD, T. S.; IZQUIERDO, C. G.; HERNÁNDEZ, T. Microbial fertilizer from PK rocks on lettuce nutrients and soil attributes in consecutive crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, 202. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01371>.

POFFENBARGER, H. J.; SAWYER, J. E.; BARKER, D.W.; OLK, D.; SIX, J.; CASTELLANO, M. J. Legacy effects of long-term nitrogen fertilizer application on the fate of nitrogen fertilizer inputs in continuous maize. **Agriculture, ecosystems & environment**, v.265, p.544-555, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.005>.

POOLE, P. S.; GEDDES, B.; MUS, F.; CROOK, M. B.; GARCIA, K.; KOURI, E. D.; VOIGT, C. A. Symbiotic nitrogen fixation and challenges to extending it to non-legumes. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 82(13), 2016. Oxford

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing URL <https://www.R-project.org>. Vienna, Austria, 2020.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, p. 285, 2001.

RHEINHEIMER, D. D. S.; MARTINAZZO, R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SILVA, L. S. D. Amplitude no fósforo microbiano em um Argissolo em pastagem nativa submetida à roçada e à introdução de espécies forrageiras com fertilização fosfatada em diferentes épocas. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30(4), p.561-567, 2008. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i4.5319>

SAHOO, R. K.; BHARDWAJ, D.; TUTEJA, N. Biofertilizers: a sustainable eco-friendly agricultural approach to crop improvement. **In Plant acclimation to environmental stress**. Springer, New York, p. 403-432, 2013.

SANTANA, R. S.; STAMFORD, N. P.; SILVA JUNIOR, S.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; ARNAUD, T. M. S. Influence of bioprotector with microbial

- inoculation on green pepper yield and improvement on soil nutrients availability. **International Journal of Agriculture Innovations and Research**, Bhopal, v.2(6), p. 1027-1034, 2014.
- SANTOS, A. A.; SILVEIRA, J. A. G. D.; BONIFACIO, A.; RODRIGUES, A. C.; FIGUEIREDO, M. V. B. Antioxidant response of cowpea co-inoculated with plant growth-promoting bacteria under salt stress. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49(3), p. 513-521, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.12.003>.
- SANTOS, J. W. M.; SILVA, J. F.; FERREIRA, T. D. S.; DIAS, M. A. M.; FRAIZ, A. C. R.; ESCOBAR, I. E. C.; FERNANDES-JÚNIOR, P. I. Molecular and symbiotic characterization of peanut bradyrhizobia from the semi-arid region of Brazil. **Applied Soil Ecology**, v.121, p.177-184, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.09.033>.
- SANZ-SAEZ, A.; MORALES, F.; ARRESE-IGOR, C.; ARANJUELO, I. **P deficiency: a major limiting factor for rhizobial symbiosis. In legume nitrogen fixation in soils with low phosphorus availability.** Springer, Cham, pp. 21-39, 2017.
- SCHEFFER-BASSO, S. M.; VOSS, M.; JACQUES, A. V. Á. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de *Adesmia latifolia* e *Lotus corniculatus* em vasos de Leonard. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, p.687-693, 2001.
- SHIN, W.; ISLAM, R.; BENSON, A.; JOE, M. M.; KIM, K.; GOPAL, S.; SA, T. Role of diazotrophic bacteria in biological nitrogen fixation and plant growth improvement. **Korean journal of soil science and fertilizer**, v.49(1), p.17-29, 2016. <http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.1.017>.
- SILVA JUNIOR, S.; STAMFORD, N. P.; OLIVEIRA, W. S.; SILVA, E. V. N.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; SILVA, V. S. G. Microbial biofertilizer increases nutrient uptake on grape (*Vitis labrusca* L) grown in an alkaline soil reclaimed by sulfur and *Acidithiobacillus*'. **Australian Journal of Crop Science**, v.12(10), p.1695-1701, 2018. <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.18.12.10.pne1454>
- SILVA, E. V. N.; STAMFORD, N. P.; BARRETO, M. D. C. S.; OLIVEIRA, W. S.; DE MORAES, R. L. C.; FIGUEIREDO, M. D. V. B. Rizóbios e fungo micorrízico arbuscular inoculados em leucena com aplicação de biofertilizantes PK, mais enxofre e *Acidithiobacillus*. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.17(1), p.66-72. 2012. <http://dx.doi.org/10.4322/pap.2012.012>.
- SILVA, V. N.; SILVA, A. J. N.; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G. R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. **Agriculture and Natural Resources**, v.51(3), p.142-14, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.01.001>.
- SIZENANDO, C.I.T.; RAMOS, J.P.C.; FERNANDES-JUNIOR, P.I.; LIMA, L.M.; FREIRE, R.M.M.; SANTOS, R.C.; Agronomic efficiency of Bradyrhizobium in peanut under diferente environments in Brazilian Northeast. **African Journal of Agricultura Research**, v.11, p. 3482–3487. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11294>. 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11294>
- SMERCINA, D. N.; EVANS, S. E.; FRIESEN, M. L.; TIEMANN, L. K. Temporal dynamics of free-living nitrogen fixation in the switchgrass rhizosphere. **GCB Bioenergy**, v. 13-11, p. 1814-1830, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12893>.

SMITH, P. M., ATKINS, C. A. Purine biosynthesis. Big in cell division, even bigger in nitrogen assimilation. **Plant Physiology**, v. 128(3), p. 793-802, 2002.

<http://dx.doi.org/10.1104/pp.010912>

STAMFORD, N. P.; ANDRADE, I. P.; S DA SILVA, J.; MA LIRA, J.; SILVA, C. E. AS.; FREITAS, A. D.; STRAATEN, P. V. Nutrient uptake by grape in a Brazilian soil affected by rock biofertilizer. *Journal of soil science and plant nutrition*, v.11(4), p.79-88.,2011. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162011000400006>.

STAMFORD, N. P.; FELIX, F., OLIVEIRA, W.; SILVA, E.; CAROLINA, S., ARNAUD, T.; FREITAS, A. D. Interactive effectiveness of microbial fertilizer enriched in N on lettuce growth and on characteristics of an Ultisol of the rainforest region. **Scientia Horticulturae**, v.247, p.242-246, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.028>.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JÚNIOR, M. A.; SANTOS, C. E. R. S. Effectiveness of phosphate and potash rocks with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and their effects on soil chemical attributes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, New York, v.24(10), p.2061-2066, 2008

STAMFORD, N. P.; MOURA, P. M.; LIRA JÚNIOR, M. A.; SANTOS, C. E. R. S.; DUENHAS, L. H.; GAVA, C. A. T. Chemical attributes of an Argis soil of the Vale do São Francisco after melon growth with phosphate and potash rocks biofertilizers. **Horticultura Brasileira**, Recife, v.27, p.447-452. 2009.

STAMFORD, N. P.; RIBEIRO, M. R.; FREITAS, A. D. S.; CUNHA, K. P. V.; SANTOS, C. E. R. S.; DIAS, S. H. L. Effectiveness of sulfur with *Acidithiobacillus* and gypsum in chemical attributes of a Brazilian sodic soil. **World Journal of Microbiology & Biotchnology**, New York, v. 3, p. 1433-1439, 2007.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S.; JUNIOR, S. S.; JUNIOR, M. L.; FIGUEIREDO, M. V. B. Effect of rhizobia and rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on cowpea nodulation and nutrients uptake in a tableland soil. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 24(9), p.1857-1865, 2008.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R.; SANTOS, C. E. S.; FREITAS, A. D. S.; DIAS, S. H. L.; LIRA JR, M. A. Agronomic effectiveness of biofertilizers with phosphate rock, sulphur and *Acidithiobacillus* for yam bean grown on a Brazilian tableland acidic soil. **Bioresource Technology**, v.98(6), p.1311-1318, 2007.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.037>.

STAMFORD, N. P.; SILVA JUNIOR, S.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. M. A.; ARNAUD, T. M. S.; SOARES, H. R. Yield of grape (*Vitis labrusca* cv. Isabel) and soil nutrients availability affected by biofertilizer with diazotrophic bacteria and fungi chitosan. **Australian Journal of Crop Science**, v.8(2), p.301-306, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362009000400008>.

STAMFORD, N. P.; SILVA JUNIOR, S.; STAMFORD, T. L. M.; SANTANA, R. S.; SANTOS, C. E. R. S., STAMFORD, T. C. M. Bioprotector with diazotrophic bacteria and fungi chitosan on grape yield and nutritional status applied in two depths. **Industrial, medical and environmental applications of microorganisms: Current status and trends**, p.204, 2014. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-795-0>

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N. D.; OLIVEIRA, W. D. S.; SILVA, M. C. F. D.; MARTINS, M. D. S.; SILVA, V. S. G. D. Organic matter inoculated with diazotrophic bacterium *Beijerinckia indica* and *Cunninghamella elegans* fungus containing chitosan on banana "Williams" in field. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.39, p.33-41, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30857>.

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; OLIVEIRA, W. S.; MARTINS, M. S.; MORAES, A. S.; BARROS, J. A.; FREITAS, M. I. Benefits of microbial fertilizer in interspecific interaction with textile sludge on cowpea in a Brazilian Ultisol and on wastes toxicity. **Environmental Technology & Innovation**, v. 18, p. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100756>.

UNKOVICH, M. Isotope discrimination provides new insight into biological nitrogen fixation. **New Phytologist**, Bailrigg, v.198, p.643–646, 2013.

VALETTI, L.; ANGELINI, J.G.; TAURIAN, T.; ANZUAY, M.S.; FABRA, A.; CERIONI, G.A. Development and field evaluation of liquid inoculants with native bradyrhizobial for peanut production. **African Crop Science Journal**, v. 24, p.1–13 2016. <https://doi.org/10.4314/acsj.v24i1.1>

VARSHNEY, R. K.; PANDEY, M. K.; PUPPALA, N. **The Peanut Genome: An Introduction**. Springer International Publishing, 2017. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63935-2_1

VAUCLARE, P.; BLIGNY, R.; GOUT, E.; AND WIDMER, F. An overview of the metabolic differences between *Bradyrhizobium japonicum* 110 bacteria and differentiated bacteroids from soybean (*Glycine max*) root nodules: an in vitro ¹³C- and ³¹P-nuclear magnetic resonanc. **FEMS microbiology letters**, doi: 10.1111/1574-6968.12124, v. 343, p.49–56, 2013. <https://doi.org/10.1111/1574-6968.12124>.

VINCENT, J. M. **A manual for the practical study of root nodule bacteria.:** International Biological Programme, London, v. 164, p. 15, 1970. <https://doi.org/10.2307/2402718>

ZAITUN, Z.; YUSNIZAR, Y.; YUNILASARI, M.; PERSADA, A. Effects of biochar residue and cow manure residue on entisol chemical properties, growth, and production of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in second planting season. In **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Atlanta, v. 583, (1), p. 012011, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012014>