

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

ANA VITORIA DA SILVA ARAÚJO

**BIOFERTILIZANTE MICROBIANO NA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill)
EM NEOSSOLO FLÚVICO**

RECIFE

2023

Ana Vitória da Silva Araújo
Bióloga

Biofertilizante Microbiano na Soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em Neossolo Flúvico

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

Orientadora: Prof. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Coorientadora: Dra. Carolina Etienne de Rosalia e Silva Santos

RECIFE

2023

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)

A663b

Araújo, Ana Vitória da Silva
BIOFERTILIZANTE MICROBIANO NA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill) EM NEOSSOLO FLÚVICO / Ana
Vitória da Silva Araújo. - 2023.
44 f. : il.

Orientadora: Ana Dolores Santiago de .
Coorientadora: Carolina Etienne de Rosalia e Silva Santos.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Recife, 2023.

1. *Acidithiobacillus*. 2. *Bradyrhizobium*. 3. Fixação Biológica do Nitrogênio. 4. Semiárido. I. , Ana Dolores Santiago de, orient. II. Santos, Carolina Etienne de Rosalia e Silva, coorient. III. Título

CDD 631.4

ANA VITORIA DA SILVA ARAUJO

Biofertilizante Microbiano na Soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em Neossolo Flúvico

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

Aprovada em 02 de outubro de 2023

Prof. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas

Orientadora

Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Gisele Gomes Monteiro Fracetto

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dra. Jéssica Rafaella de Sousa Oliveira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de dissertação ao saudoso Prof. Doutor Newton Stamford, cuja paixão pelo conhecimento e dedicação à excelência acadêmica serviram como uma fonte constante de inspiração. Suas orientações e sabedoria foram fundamentais para a realização deste estudo, e é com profundo respeito e gratidão que reconheço sua influência em minha jornada acadêmica. Esta dissertação é dedicada a um mentor excepcional e a um ser humano notável, cujo comprometimento com o avanço da ciência e o desenvolvimento de jovens pesquisadores deixa um legado duradouro.

A partida do Prof. Newton Stamford deixou um vazio em nossos corações e na comunidade acadêmica. Seu legado perdurará como uma luz que guia nossos caminhos, inspirando-nos a continuar buscando o conhecimento e a excelência em sua memória. Este trabalho é uma homenagem ao Prof. Stamford, que não apenas foi um brilhante orientador, mas também um amigo e uma fonte inesgotável de inspiração. A saudade que sentimos é imensa, mas seu espírito e suas lições continuarão a nos motivar a superar desafios e a contribuir para o avanço do conhecimento, honrando assim o seu legado.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo, por me guiar em todo o caminho, me dando força e fé para superar os obstáculos.

Aos meus pais por todo apoio e incentivo durante o mestrado.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade da formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao meu professor orientador Dr. Newton Stamford, por toda compreensão e dedicação na orientação, pelos ensinamentos passados e momentos de conversas, que tiveram grande contribuição para a minha formação pessoal e profissional. Obrigado pela confiança e orientação deste trabalho.

À minha coorientadora Dra. Carolina Etienne de Rosália e Silva Santos, agradeço de todo o coração pelo acolhimento e ajuda nos momentos mais difíceis da minha trajetória acadêmica, sempre me apoiando e buscando resolver os problemas.

Agradeço também aos amigos do Grupo de Fixação Biológica de Nitrogênio (GFBN), em especial a Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas que me acolheu no grupo com todo amor.

As Dras Jessica Oliveira, e Juscélia Ferreira pela orientação e ensinamentos, aos colegas Pablo Acácio, Kenny, e Laura, que me auxiliaram durante a realização desse trabalho

Ao Dr. Leandro Reis agradeço pela ajuda no processamento dos dados e análise estatísticas.

As colegas Maria Nazaré e Rita Magally, primeiras pessoas do grupo de pesquisa de Biofertilizantes que tive contato, suas orientações e amizade foram muito importantes para mim. A Marlon, agradeço por participar da coleta de solos.

À Dra Emmanuella Vilanova, agradeço pelos aconselhamentos e orientações que foram fundamentais para o desenvolvimento inicial deste projeto.

Aos amigos que fiz durante o mestrado, por toda cumplicidade e afeto. Agradeço em especial a Raquel, por sempre me ajudar e acolher em momentos que mais precisava.

Agradeço também aos funcionários da UFRPE, Pedro, Eudes e Vânia, em especial a Vera pelas conversas, o convívio e suporte dado durante esse período.

Ao Dr. Paulo Ivan, pesquisador da Embrapa Semiárido, por disponibilizar as estirpes SEMIA 5079 E 587.

A todos meus sinceros agradecimentos.

Biofertilizante Microbiano na Soja (*Glycine Max* (L.) Merrill) em Neossolo Flúvico

RESUMO

A produção de soja no Brasil tem experimentado um crescimento significativo nas últimas décadas, tornando-se uma das culturas mais importantes do país. Inicialmente concentrada na região Sul, a expansão da soja para o Nordeste do Brasil é um fenômeno notável. O avanço da soja foi impulsionado por vários fatores, incluindo a busca por terras disponíveis para expansão agrícola, e adoção de técnicas de manejo sustentável que têm contribuído para o sucesso da cultura na região. O presente trabalho utilizou o biofertilizante BNPK, obtido a partir de rochas fosfatadas e potássicas, enriquecido com enxofre elementar e inoculado com a bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans*, juntamente com matéria orgânica inoculada com uma bactéria diazotrófica de vida livre *Beijerinckia indica* (NFB 10001), na comparação com o uso de fertilizantes convencionais quanto ao seu impacto no aumento da produção de biomassa e no acúmulo de nitrogênio na parte aérea da cultura de soja. Além disso, foi investigado o efeito da inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium*, (SEMIA 5079 e 587) recomendadas para a soja e a possível interação com o biofertilizante. O estudo foi realizado em condições de casa de vegetação, utilizando o solo do tipo neossolo flúvico coletado na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, localizada no município de Pesqueira. O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com 12 tratamentos e 3 repetições: controle absoluto (sem BNPK e sem inoculação); fertilizante mineral (sem inoculação, com inoculação SEMIA 5079 e SEMIA 587); biofertilizante 100% (sem inoculação, com inoculação SEMIA 5079 e SEMIA 587); e biofertilizante 150% (sem inoculação, com inoculação SEMIA 5079 e SEMIA 587).

Os tratamentos de fertilização com biofertilizante, e fertilizante convencional não contribuíram estatisticamente para o aumento dos teores de nutrientes (P, K, Ca e Mg) do solo, apenas com aumento no teor de sódio (Na) representando um aumento de aproximadamente 4 a 5 vezes em relação ao valor inicial de $0,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Os resultados foliares para Fósforo (P) e Potássio (K), não mostraram uma variação significativa, com valores médios variando em torno de $2,11 \text{ g/kg-1}$ e $5,69 \text{ g/kg-1}$, respectivamente. Já em relação ao Nitrogênio Total (TN), os tratamentos 'BNPK 100% c/inoculação SEMIA-5079' teve o maior valor de TN, com $36,75 \text{ g/kg-1}$, seguido pelo tratamento 'Controle c/inoculação SEMIA-5079' com $34,78 \text{ g/kg-1}$.

Os resultados dos tratamentos e suas influências sobre diferentes parâmetros agrônômicos, incluindo à altura das plantas, não houve variação significativa entre os tratamentos. No entanto, para a massa seca da parte aérea, observou-se uma diferença entre os tratamentos, com o tratamento 'BNPK 150%' apresentando a maior média de $11,90 \text{ g}$. Quanto à massa seca das raízes, os tratamentos 'BNPK 100%' e 'BNPK 150%' se destacaram com médias de $1,98 \text{ g}$ e $1,88 \text{ g}$, respectivamente, em comparação com outros tratamentos. Os resultados para o número de nódulos e a massa seca dos nódulos indicam que os tratamentos com inoculação SEMIA-5079 resultaram em valores mais altos do que aqueles com inoculação SEMIA-587, pode-se concluir que o neossolo flúvico de Pesqueira possui um potencial favorável para o cultivo da soja, destacando a viabilidade do uso do biofertilizante BNPK em conjunto com *Bradyrhizóbios* para otimizar a produção de biomassa e o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de soja.

Palavras-chave: *Acidithiobacillus*. *Bradyrhizobium*. Fixação Biológica do Nitrogênio. Semiárido.

Microbial Biofertilizer in Soybeans (*Glycine Max* (L.) Merrill) in Neosol Fluvic Soil

ABSTRACT

A production of soybeans in Brazil has experienced significant growth in recent decades, becoming one of the country's most important crops. Initially concentrated in the Southern region, the expansion of soybeans into the Northeast of Brazil is a notable phenomenon. The advancement of soybean cultivation has been driven by various factors, including the search for available land for agricultural expansion and the adoption of sustainable management techniques that have contributed to the success of the crop in the region. This study utilized the biofertilizer BNPK, derived from phosphate and potash rocks, enriched with elemental sulfur, and inoculated with the bacterium *Acidithiobacillus thiooxidans*, along with organic matter inoculated with a free-living diazotrophic bacterium *Beijerinckia indica* (NFB 10001), in comparison to the use of conventional fertilizers in terms of their impact on increasing biomass production and nitrogen accumulation in the aboveground part of soybean plants. Additionally, the study investigated the effect of inoculation with strains of *Bradyrhizobium* (SEMIA 5079 and 587) recommended for soybeans and their potential interaction with the biofertilizer. The study was conducted under greenhouse conditions, using neosol fluvic soil collected at Nossa Senhora do Rosário Farm in the municipality of Pesqueira. The experiment was carried out in randomized blocks with 12 treatments and 3 replications: absolute control (without BNPK and inoculation); mineral fertilizer (without inoculation, with SEMIA 5079 and SEMIA 587 inoculation); 100% biofertilizer (without inoculation, with SEMIA 5079 and SEMIA 587 inoculation); and 150% biofertilizer (without inoculation, with SEMIA 5079 and SEMIA 587 inoculation). The fertilization treatments with biofertilizer and conventional fertilizer did not statistically contribute to an increase in soil nutrient levels (P, K, Ca, and Mg), except for an increase in sodium (Na) content, representing an approximately 4 to 5-fold increase relative to the initial value of 0.16 cmolc kg⁻¹. Foliar results for Phosphorus (P) and Potassium (K) did not show significant variation, with average values around 2.11 g/kg⁻¹ and 5.69 g/kg⁻¹, respectively. In terms of Total Nitrogen (TN), the 'BNPK 100% with SEMIA-5079 inoculation' treatment had the highest TN value, at 36.75 g/kg⁻¹, followed by the 'Control with SEMIA-5079 inoculation' treatment with 34.78 g/kg⁻¹. Results for various agronomic parameters, including plant height, did not exhibit significant variation among the treatments. However, regarding the aboveground dry biomass, a difference was observed among treatments, with the 'BNPK 150%' treatment showing the highest average of 11.90 g. As for root dry biomass, the 'BNPK 100%' and 'BNPK 150%' treatments stood out with averages of 1.98 g and 1.88 g, respectively, compared to other treatments. Results for nodule number and nodule dry biomass indicate that treatments with SEMIA-5079 inoculation resulted in higher values than those with SEMIA-587 inoculation. In conclusion, it can be inferred that the neosol fluvic soil in Pesqueira holds favorable potential for soybean cultivation, underscoring the feasibility of utilizing BNPK biofertilizer in conjunction with *Bradyrhizobia* to optimize aboveground biomass production and nitrogen accumulation in soybean plants.

Keywords: *Acidithiobacillus*. *Bradyrhizobium*. Biological Nitrogen Fixation. Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de localização do Município de Pesqueira-PE.....26
- Figura 2.** Coleta de solo na profundidade 0-20 cm em Neossolo Flúvico no Assentamento Fazenda Nossa Senhora do Rosário- Pesqueira.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo do Assentamento Fazenda Nossa Senhora do Rosário.	27
Tabela 2. Atributos do biofertilizante utilizado.	29
Tabela 3. Atributos químicos do solo.	30
Tabela 4. Efeito dos tratamentos com inoculantes e sem inoculantes sobre os teores de fósforo (P), Potássio (K) e Nitrogênio total (NT) na parte aérea da soja.	32
Tabela 5. Valores médios de altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), número de nódulos (NN) e massa seca dos nódulos (MSN) de soja em diferentes tratamentos com inoculantes e sem inoculantes.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC *Acidithiobacillus*

BK Biofertilizante de potássio

BP Biofertilizante de fosforo

BPK Biofertilizante fosfatado e potássico

BNPK Biofertilizante composto por nitrogênio, fosforo e potássio

FBN Fixação biológica do nitrogênio

FN Fosfato natural

RP Rocha Fosfatada

RK Rocha Potássica

SFT Superfosfato triplo

S Enxofre

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Hipóteses	16
1.2	Objetivos	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A cultura da Soja	17
2.2	Biofertilizantes	20
2.3	Região Semiárido	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Área de estudo	25
3.2	Coleta de solo e caracterização química e física	26
3.3	Tratamentos e delineamento experimental.....	27
3.4	Cultivo de soja.....	28
3.5	Produção do Biofertilizante.....	28
3.6	Análises na planta.....	29
3.7	Análise do solo após o cultivo.....	30
3.8	Análise estatística	30
4	RESULTADOS	30
4.1	Análise do solo	30
4.2	Análise da planta	31
5	DISCUSSÕES	34
6	CONCLUSÕES	37
7	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A insegurança alimentar tem sido uma das principais preocupações dos últimos anos, devido ao aumento populacional que resultou em uma maior necessidade de produção de alimentos. Para enfrentar esse desafio, a agricultura moderna tem recorrido ao uso de fertilizantes químicos como uma estratégia para aumentar a produtividade e garantir a segurança alimentar. No entanto, o aumento no uso de fertilizantes químicos também suscitou preocupações ambientais e de saúde pública. O uso excessivo e inadequado desses insumos pode levar à degradação do solo, reduzindo sua capacidade de reter água e nutrientes, bem como a perda de matéria orgânica, o que afeta a sustentabilidade a longo prazo da agricultura.

Em meio ao desafio global de garantir a segurança alimentar e mitigar os impactos ambientais da agricultura convencional, é necessário a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes ao meio ambiente. Nesse contexto, o uso de biofertilizantes de rochas tem se mostrado uma alternativa promissora. A produção do biofertilizante de rochas, geralmente envolve adição de matéria orgânica e processos de compostagem ou fermentação, que auxiliam na liberação de nutrientes contidos nas mesmas. Além disso, algumas técnicas envolvem o uso de microrganismos específicos que atuam na solubilização dos elementos minerais presentes nas rochas. Porém, em seu material de origem não se encontra o N, que deve ser suprido através da inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio de vida livre. Esses microrganismos usam a matéria orgânica como fonte de energia, para sua multiplicação e redução do dinitrogênio N_2 , que posteriormente será disponibilizado para o biofertilizante, sendo capaz de ser absorvido pela planta de forma assimilável.

A soja, por sua vez, é uma cultura de extrema importância no cenário agrícola mundial. Além de ser uma rica fonte de proteínas e óleos vegetais, a soja também possui a capacidade de estabelecer uma relação simbiótica com bactérias fixadoras de N_2 . Estas associações simbióticas são estabelecidas pela formação de nódulos, que são estruturas radiculares especializadas, que abrigam as bactérias fixadoras de N_2 . As plantas fornecem fontes de carbono e outros nutrientes para as bactérias, que estão dentro dos nódulos, enquanto as bactérias entregam o excesso de N_2 fixado para a planta (SAHA et al., 2017; AASFAR et al., 2021). Portanto, a fixação biológica de nitrogênio é considerada um processo biológico importante para aproveitar a saúde do solo reduzindo a necessidade de fertilizantes nitrogenados químicos, bem como para garantir benefícios econômicos, ambientais e agrônômico.

1.1 HIPÓTESES

Biofertilizantes (BNPK) de pó de rochas moídas incrementado com matéria orgânica atuam na melhoria dos teores de fosforo e potássio do solo, como também, aumentando a disponibilidade do fósforo, potássio e do nitrogênio para a planta.

A utilização de biofertilizante irá aumentar a nodulação de *Bradyrhizobium*, N-total, massa seca da parte aérea e das raízes da soja.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar o uso do biofertilizante de rochas, com adição de enxofre elementar inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans* e matéria orgânica inoculada com bactéria diazotrófica de vida livre, no solo em comparação com fertilizante convencional, na nutrição da soja (*Glycine max* L).

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar o efeito do biofertilizante na disponibilidade de nutrientes e nos atributos químicos do solo;
- ✓ Avaliar o efeito das diferentes doses do biofertilizante, em associação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, sobre a nodulação, nitrogênio acumulado, nutrição e produção de biomassa das plantas;
- ✓ Verificar a viabilidade e a eficiência do biofertilizante sob diferentes doses na nutrição da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da soja

A origem e domesticação da soja ocorreram no Nordeste da Ásia e sua disseminação do Oriente para o Ocidente ocorreu através de navegações. No Brasil, o primeiro relato da cultura surgiu em meados do ano 1882 no estado da Bahia, e em seguida no estado de São Paulo por imigrantes e somente em 1914 a soja foi introduzida no estado do Rio Grande do Sul (FREITAS, 2011; FAXO et al., 2017; SANTOS, 2020).

No final da década de 60 o Brasil começou a enxergar a soja como um produto de grande potencial comercial. Na época o trigo era o principal produto no sul do país, e a soja foi introduzida como uma cultura opcional de verão, e com isso uma alternativa na produção de farelo para alimentação de suínos e aves. Em 1966, a produção comercial da soja já alcançava cerca de 500 mil toneladas no país (EMBRAPA, 2021a).

Segundo Sieben e Machado (2006), a consolidação da soja no país se deu na década de 1990 com novas frentes, sobretudo na Região do Nordeste brasileiro, com os estados do Piauí e Maranhão, mesmo que antes o Tocantins tivesse áreas já cultivadas, mas foi apenas no final da década que o estado juntamente com Pará tivera suas fronteiras abertas para o cultivo da soja.

Ainda de acordo com Sieben e Machado (2006), o estado do Rio Grande do Sul não foi o único colaborador com o avanço da soja no Brasil, outros estados também tiveram grande influência na sua disseminação do cultivo. Destaca-se que nos estados de Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás contribuíram com os emigrantes para que a atividade abrisse fronteiras em todos os ecossistemas do Brasil.

Nos dias atuais, a cultura já é plantada em quase todo território brasileiro, porém a região de grande destaque e importância econômica é o Centro-Oeste. Atualmente a produção de soja no mundo está estimada em 369,029 milhões de toneladas produzidos, em 136,029 milhões de hectares plantada, tendo o Brasil ocupando a primeira posição como maior produtor mundial do grão com uma área plantada de 44.062,6 milhões de hectares, e uma produção de 154.566,3 milhões de toneladas, ultrapassando os Estados Unidos com uma produção de 116,377 milhões de toneladas, e uma área plantada de 34,939 milhões de hectares (Embrapa, 2023).

A soja, por sua vez, é uma cultura de extrema importância no cenário agrícola mundial, sendo o Brasil o seu maior produtor. Segundo a CONAB (2023), na safra 2022/2023, bateu o

recorde com um volume colhido estimado em 154,3 milhões de toneladas, com um aumento de 23,2% em relação à safra anterior.

Sendo considerada atualmente um dos “commodities” tanto de nível nacional, como também mundial a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) configura-se sendo uma cultura da classe Magnoliopsida (Dicotiledônea), ordem Fabales, família Fabaceae, Subfamília Faboideae (Papilionoideae), gênero *Glycine*, espécie *Glycine max* e forma cultivada *Glycine max* (L.) Merrill (BANNWART, 2015; SANTOS, 2020). A cultura da soja é tida como anual, herbácea e ereta, podendo ter suas características morfológicas influenciadas pelo ambiente, tais como altura (varia entre 30 a 200 cm), e número de ramificações. Já quanto ao seu ciclo pode ser configurado como precoces (75 dias) ou tardias (200 dias) (BANNWART, 2015; CANTELLI, 2016). Suas sementes são compostas por um embrião bem desenvolvido e pela casca, o embrião apresenta dois cotilédones e o eixo embrionário, típico de semente de leguminosa, o qual pode ainda ser subdividido em radícula, hipocótilo e epicótilo (CANTELLI, 2016).

Seus grãos possuem em sua composição alto valor nutricional e se destaca por ter elevada quantidade de proteína, se tornando assim, uma alternativa viável para substituição da proteína animal, além disso são muito usados pela agroindústria (produção de óleo vegetal, e rações para alimentação animal), indústria química e de alimentos, e recentemente vem crescendo também o uso com fonte alternativa de biocombustível (FREITAS, 2011; FAXO et al., 2017; JANEQUE et al., 2020).

O avanço da sojicultura no Brasil fez com que a soja se constituísse como carro chefe do agronegócio do país, sendo cultivada em todas as regiões brasileiras. O crescimento da produção de soja no Brasil é reflexo de uma combinação da expansão da demanda no mercado internacional, sobretudo da China, fato que tem levado a expansão da fronteira agrícola brasileira, que ano após ano vem englobando maiores parcelas do espaço agrário nacional, fato que vem se materializando em todas as regiões do país (EMBRAPA, 2011; CONTINI et al., 2018)

Ao longo das últimas décadas, houve diversas pesquisas tecnológicas que permitiram o cultivo e alta produtividade da soja em regiões que de início não tinham aptidão para esse tipo de cultura. No Nordeste, isso aconteceu na região denominada MATOPIBA, expressão criada a partir das iniciais dos respectivos estados Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que serve para designar parte do território desses estados pertencentes ao bioma Cerrado e onde se desenvolve agricultura de alta produtividade com uso intensivo de insumos modernos que ainda possui capacidade de expansão (DE MIRANDA et al., 2014; PEREIRA et al., 2018). Entretanto, a

Região possui outras áreas que são capazes de cultivar o grão para outros fins, como sementes, desde que haja investimentos em pesquisas e tecnologias.

Além disso a região é beneficiada devido sua proximidade aos portos, o que facilita no escoamento da produção e redução de custos no transporte (EMBRAPA, 2019). Outra vantagem está relacionada a proximidade do Nordeste com o tropico de Equador, que permite menores variações climáticas especialmente no que se refere ao período de exposição à luz solar, o que facilita ainda mais a produção contínua (VILELA et al., 2016).

A soja é planta com grande variabilidade genética, onde é possível estabelecer relações simbióticas (BANNWART, 2015), que se constituiu um dos pilares de sustentabilidade do sistema de produção de soja no Brasil e que resulta grandes benefícios para o produtor e para o meio ambiente, por dispensar o uso de fertilizantes nitrogenados, sem perder o poder de competitividade do produto no mercado (PRANDO et al., 2020).

O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) contribui para associação simbiótica de espécies da família das leguminosas com bactérias dos gêneros *Rhizobium*, *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Ensifer*, dentre outros, que são na maioria das vezes, chamados genericamente de rizóbios (HUNGRIA et al., 2007; SANTOS et al., 2017). Onde essas bactérias desenvolveram um complexo enzimático denominado nitrogenase, capaz de transformar o N₂ em amônia, e subsequentemente assimilada em aminoácidos e proteínas (BEZERRA, 2009; TORABIAN, 2019).

Em leguminosas, os rizóbios se associam com o sistema radicular de plantas hospedeiras por meio de desenvolvimento de estruturas conhecidas como nódulos, onde ocorre o processo de fixação de nitrogênio atmosférico. Essa associação é caracterizada como uma simbiose entre rizóbio-leguminosa, onde a leguminosa fornece os carboidratos e recebe o nitrogênio fixado (HUNGRIA et al., 2007; SOUZA, 2015).

A capacidade de nodulação com bactérias simbióticas, tem resultado no aumento da produtividade e diminuição do uso de adubação nitrogenada, o que resulta no menor custo de produção, suprimindo o nitrogênio que a planta necessita, além de aumentar o sequestro de carbono no solo (SOUZA, 2015). Portanto, a FBN emerge como uma fonte renovável de fertilizantes nitrogenados, oferecendo promessas significativas para pequenos agricultores (WANG et al., 2019 b). Além disso, desempenha um papel crucial na produção sustentável de culturas a longo prazo.

O Brasil é reconhecido por sua implementação bem-sucedida da FBN, especialmente na cultura da soja (*Glycine max* L. Merrill). Essa abordagem tem resultando em altos rendimentos sem a necessidade de fertilizantes nitrogenados minerais, proporcionando benefícios

econômicos e ambientais significativos (GEBREHANA; DAGNAW, 2020; TELLES et al., 2023).

Atualmente, a inoculação com estirpes eficientes permitiu que a cultura da soja obtivesse todas as suas necessidades de N da fixação biológica do nitrogênio (GEBREHANA; DAGNAW, 2020). Nitidamente o melhor exemplo de utilização desse processo, em que a FBN vem sendo utilizada como substituto da adubação química nitrogenada por inoculantes contendo bactérias (DE MEDEIROS, 2007). A utilização desses mecanismos representa uma economia para o país de R\$ 15,2 bilhões na safra de 2019-2020, resultante da substituição da uréia pela FBN (TELLES et al., 2023).

Para alcançar um aumento nos lucros e uma maior eficiência na produção agrícola, torna-se essencial a incorporação de tecnologias no setor. Portanto, é fundamental adotar uma abordagem que busque a utilização eficiente da cultura, considerando o conhecimento sobre a adaptabilidade das variedades às diferentes condições de produção, bem como o manejo necessário para otimizar seu desempenho (BANNWART, 2015; BRESSAN, 2020).

2.2 Biofertilizantes

A agricultura moderna exige o uso intensivo de fertilizantes e corretivos em quantidades adequadas, de forma a atender a critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar a fertilidade do solo para manter ou elevar a produtividade das culturas (REETZ, 2017).

Os solos brasileiros, por serem pobres em nutrientes e por apresentarem caráter ácido com seus nutrientes sendo naturalmente lixiviados (RIBES et al., 2012), exigem o uso de suplementos químicos, para suprir suas necessidades agrícolas. Tal característica contribui para o uso de fertilizantes químicos, quase 80% do NPK utilizado no Brasil é importado, mas por outro lado essa constante busca por fertilizantes sintéticos acarreta sérios problemas ambientais e um alto custo de produção (THEODORO, 2020).

O uso excessivo de fertilizantes químicos pode ter um efeito negativo na qualidade do solo e na estrutura da comunidade microbiana. O excesso de fertilizantes agrava o declínio da matéria orgânica e da fertilidade, e acelera a acidificação do solo, o que por sua vez reduz o rendimento da colheita (WANG et al., 2020).

Os problemas agrícolas causados pelo uso prolongado de pesticidas, fertilizantes químicos e outros produtos têm se tornado cada vez mais proeminentes. Não só poluindo os produtos agrícolas, mas também causando um desequilíbrio nas proporções de vários nutrientes, e na distribuição da matéria orgânica, proporcionando uma diminuição na

integridade estrutural e nas propriedades dos agregados, ocasionando a compactação do solo, salinização e agravamento de doenças.

Os fertilizantes estão disponíveis no mercado sob variadas formas, seja pelo o tipo de produto, seja pela apresentação ou pela sua principal característica, podendo ser do tipo orgânico, mineral e organomineral (REETZ, 2017).

O uso do pó da rocha moída na agricultura está ligado à busca de alternativas de suplementação de fontes de nutrientes importados pelo Brasil, o que nos torna um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes (COLA; SIMÃO, 2012). O aproveitamento das rochas como fonte de nutrientes, vem sendo pesquisada quanto ao seu potencial no suprimento de potássio e fósforo que são elementos que mais limitam a produção, sendo que as necessidades de potássio são muito maiores que a do fósforo, e da mesma ordem de grandeza que as exigência de nitrogênio (THEODORO, 2000; LIMA et al., 2007; COLA; SIMÃO, 2012). Embora estejam em grande quantidade no solo eles estão principalmente ligados a outros minerais, porém de forma indisponível para as plantas. Vários estudos têm mostrado que algumas bactérias de diferentes gêneros têm o potencial de liberar e solubilizar fósforo e potássio do solo (WANG et al., 2020).

Uma das alternativas sustentáveis para a substituição dos fertilizantes químicos é a utilização dos biofertilizantes que se destacam pelo seu potencial de melhoria das diversas condições do solo (aeração, capacidade de retenção de água e a biodiversidade do solo), além de promover uma alta atividade microbiana e bioativa e que atuam nutricionalmente sobre o metabolismo vegetal e na ciclagem de nutrientes, sendo de baixo custo para o produtor (ARAÚJO, 2012; ALOVISI et al., 2021).

Por ser um produto alternativo e econômico que permite reduzir o consumo de energia, sua aplicação visa aumentar os níveis de macro e micronutrientes no solo, além de funcionar como defensivos agrícolas (THEODORO, 2020). A eficiência dos biofertilizantes depende das características dos materiais biodigeridos, da forma de aplicação (época, forma e doses), das características edafoclimáticas, e do conhecimento dos mecanismos e interações entre os microrganismos e a fração mineral do solo (ARAÚJO et al., 2008).

A utilização do pó de rocha, por proporcionar um melhor desenvolvimento das cultivares, aumenta a quantidade e a qualidade do húmus e a atividade de microrganismos, além da qualidade da matéria orgânica, controle de erosão e aumento na resistência das plantas. Podemos ainda destacar algumas outras vantagens, como, a correção do pH do solo, a redução de adsorção de fósforo do solo, aumento do efeito da reserva nutricional, redução da perda de lixiviação aumentando a produção (COLA; SIMÃO, 2012).

No entanto, a técnica de remineralização apresenta lenta solubilização que pode dificultar seu uso na produção de culturas de ciclos curtos (LIMA et al., 2007; BRANDÃO, 2012; SILVA, 2013). Como depende da atividade biológica para se intensificar (BRANDÃO, 2012). De acordo com Assis et al. (2015), nas regiões de clima tropical e subtropical quando aplicada a técnica de remineralização, esta deve ocorrer de forma conjunta e atrelada ao manejo orgânico do solo, como por exemplo, situações de compostagem e adubação verde.

Em estudos desenvolvidos no sentido de acelerar o processo de solubilização dos minerais pelas plantas, visando atender a demanda nutricional, uma das alternativas é a modificação do pH da solução, que controla a dissolução dos minerais (RIBES et al., 2012). Estudos têm mostrado que algumas bactérias de diferentes gêneros têm o potencial de solubilizar e liberar fósforo e potássio do solo (WANG et al., 2020), por possui capacidade de produção de ácidos orgânicos, inorgânicos e CO₂, que modificam o ambiente químico dos minerais, acelerando sua alteração e assimilação (MOURA et al., 2007; BRANDÃO, 2012).

Segundo estudos realizados por Stamford et al. (2008), esses processos podem se dar através da atuação de bactérias do gênero *Acidithiobacillus*. Sendo classificada como uma bactéria quimiolitotrófica gram-negativa oxidante do enxofre da classe Proteobacteria Acidithiobacillia, que anteriormente pertencia ao gênero *Thiobacillus* (KELLY; WOOD, 2000; WANG et al., 2019 a). Entretanto, devido a sua maior tolerância a acidez e produção de ácidos, além de relações evolutivas, elas foram reclassificadas como um novo gênero *Acidithiobacillus* (KELLY; WOOD, 2000).

O gênero possui a capacidade de oxidar vários compostos inorgânicos reduzidos do enxofre para obter elétrons para a fixação de dióxido de carbono, e alguns deles também tem a capacidade de oxidação do ferro ferroso, além do enxofre (KIKUMOTO et al., 2013; KANAO et al., 2018). Baseado nas diferenças dos substratos energéticos, as espécies de *Acidithiobacillus* podem ser divididas em dois grupos: os oxidantes apenas de enxofre e incluindo *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus caldus* e *Acidithiobacillus albertensis*, e as espécies oxidantes de enxofre e ferro, incluindo *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus ferrivorans*, *Acidithiobacillus ferriphilus* e *Acidithiobacillus ferridurans* (KIKUMOTO et al., 2013; WANG et al., 2019). Estas bactérias são encontradas em ambientes ácidos contendo enxofre em terra ou no mar, incluindo solo, sedimentos, fontes termais, depósitos de minerais e drenagem ácida de minas. *Acidithiobacillus thiooxidans* é considerada uma bactéria extremófila, cresce na faixa de pH ideal de 2,0 a 3,5, e a temperatura ideal é de 28 a 30 °C, podendo habitar muitos ambientes extremos, incluindo cavernas sulfídricas, pilhas de lixiviação de minerais, depósitos de minas e outros ambientes naturais ácidos e ricos em

enxofre devido à sua alta resistência a ácidos e alta tolerância a íons metálicos, como cobre e zinco, e desempenha um papel importante na oxidação do enxofre, produção de ácido e biolixiviação (YANG et al., 2019).

Na agricultura há diversos estudos voltados para o uso e aplicação da *A. thiooxidans* na disponibilização de fósforo (P), e em conjunto com o enxofre, na produção de ácido sulfúrico contribui para a redução do pH do solo e diminuindo os efeitos nocivos do sódio (STAMFORD et al., 2004; STAMFORD et al., 2007). De acordo com Stamford et al. (2008), *A. thiooxidans* vem sendo empregada na produção de biofertilizante de rocha em conjunto com materiais orgânicos e outras bactérias capazes de fixar nitrogênio, como alternativa na diminuição do uso de fertilizantes minerais, sendo considerada peça-chave na agricultura sustentável.

O grupo de pesquisa de microbiologia do solo, sob orientação do Dr. Stamford tem estudado o uso e aplicação do biofertilizante de rochas com *Acidithiobacillus* em diversas culturas e solos, com resultados promissores. Podemos destacar alguns trabalhos intitulados:

Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P (STAMFORD et al., 2003), onde foi utilizado em um experimento em vasos com solo da Zona da Mata de Pernambuco (Argissolo Amarelo), com baixo nível de P disponível, cultivado com jacatupé, mostrando respostas positivas dos biofertilizantes (FN+S*), além da maior disponibilidade de P disponível após dois cultivos com os tratamentos contendo biofertilizantes B₁₅ e B₂₀ com *Acidithiobacillus*.

Eficiência de biofertilizantes de rochas com *Acidithiobacillus* em melão, no Vale do São Francisco (MOURA et al., 2022), a utilização do biofertilizante de rochas RP e RK em comparação com o superfosfato triplo (STF) e cloreto de potássio (KCl) no melão em argissolo, com efeito positivo no peso médio dos frutos, produtividade e nutrientes nas folhas com melhores resultados na aplicação de RP + RK+ S -Ac e com os biofertilizantes (BK) e (BP). Os biofertilizantes BP + BK+ S+ Ac, e as rochas RP + RK+ S -Ac mostram potencial como alternativos ao fertilizante mineral P e K na utilização da cultura do melão.

Effects of rock phosphate, sulphur with and without *Acidithiobacillus* and organic by-products on mimosa (*Mimosa caesalpiniiifolia*) grown in a Brazilian tableland soil (STAMFORD et al., 2005), objetivou nesse trabalho avaliar o efeito do enxofre inoculado com *Acidithiobacillus* sobre o P disponível no fosfato natural e na adição de diversas formas de matéria orgânica, onde foi conduzido um experimento em casa de vegetação utilizando solo de tabuleiro brasileiro. *Mimosa caesalpiniiifolia* inoculada com rizóbio foi utilizada como planta teste. Obtendo resultados favoráveis quando se utilizou, o fosfato de rocha peletizado com S inoculado com *Acidithiobacillus* mais Fibrasil produziu as plantas maiores e a maior absorção

de N e P. O fosfato de rocha com S e *Acidithiobacillus* aumentou o P disponível e reduziu o pH do solo, especialmente combinado com resíduo Fibrasil, sem efeito inibitório no crescimento das plantas.

Os resultados apresentados nesses trabalhos mostram que a pesquisa pode ser desenvolvida para outras culturas de importância econômica podendo ser expandida para todo o país. A pesquisa também aponta para o desenvolvimento da biotecnologia na produção de biofertilizantes com repercussão no impacto ambiental, melhoramento da agricultura e redução de insumos químicos. Além disso, este tema possibilita o estudo das interações de microrganismos e seu potencial de solubilização de rochas em benefício as plantas.

2.3 Região semiárido

A história do Nordeste brasileiro sempre esteve associada à seca e à escassez de água na região. Além disso, a qualidade do solo desempenha um papel fundamental no crescimento sustentável do Nordeste, que enfrenta limitações em sua área disponível para agricultura. Grandes projetos de irrigação frequentemente recorrem a fertilizantes sintéticos para enriquecer o solo com os minerais necessários.

O Semiárido brasileiro abrange 11% do território nacional e abriga cerca de 12% da população (NIEMEYER; VALE, 2020). Essa região é predominantemente coberta pelo bioma caatinga, uma floresta tropical sazonalmente seca, embora muitas vezes seja descrita como um ambiente hostil (GENTILE; BURGOS, 2016). Caracteriza-se por chuvas curtas e irregulares, alta evapotranspiração e temperaturas elevadas.

A agricultura, por si só, pode gerar impactos significativos no meio ambiente, dependendo das técnicas e práticas adotadas. A degradação ambiental frequentemente começa com práticas agrícolas ineficientes que removem a cobertura vegetal natural do solo, tornando-o suscetível à erosão. A continuidade dessas práticas, como a retirada da cobertura sem a reposição de nutrientes, pode resultar na perda de fertilidade do solo, agravando a degradação do ecossistema.

Esses processos tornam o solo mais suscetível à salinização, devido aos grandes projetos de irrigação, à erosão intensificada pela ação humana e à fragilidade do solo, frequentemente raso, pedregoso e com características arenosas e argilosas. Além disso, estudos têm demonstrado que mudanças no uso da terra afetam os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo na região semiárida (MEDEIROS et al., 2023). Isso está diretamente ligado a questões que contribuem para o atraso econômico e as desigualdades sociais (NUNES; DA SILVA, 2020).

O agravamento dos impactos ambientais na região está relacionado ao processo de desertificação, afetando áreas suscetíveis (BRASILEIRO, 2009). Esse fenômeno complica ainda mais os desafios enfrentados pelo Semiárido brasileiro, destacando a necessidade de estratégias de manejo e preservação mais eficazes.

Para melhorar a produção agrícola, os agricultores podem explorar desenvolver estratégias de manejo integrado de pragas e doenças, tecnologias de irrigação, sementes mais resistentes à seca e práticas de manejo sustentáveis que sejam adequadas para as condições do Nordeste e de Pernambuco, a fim de garantir a sustentabilidade da produção.

Dada a sensibilidade ambiental da região, é crucial implementar práticas agrícolas sustentáveis que minimizem os impactos negativos no ecossistema local. Isso inclui a adoção de práticas de manejo do solo que visem preservar a qualidade do solo e a biodiversidade local, como é o caso da utilização de biofertilizantes a partir de rochas.

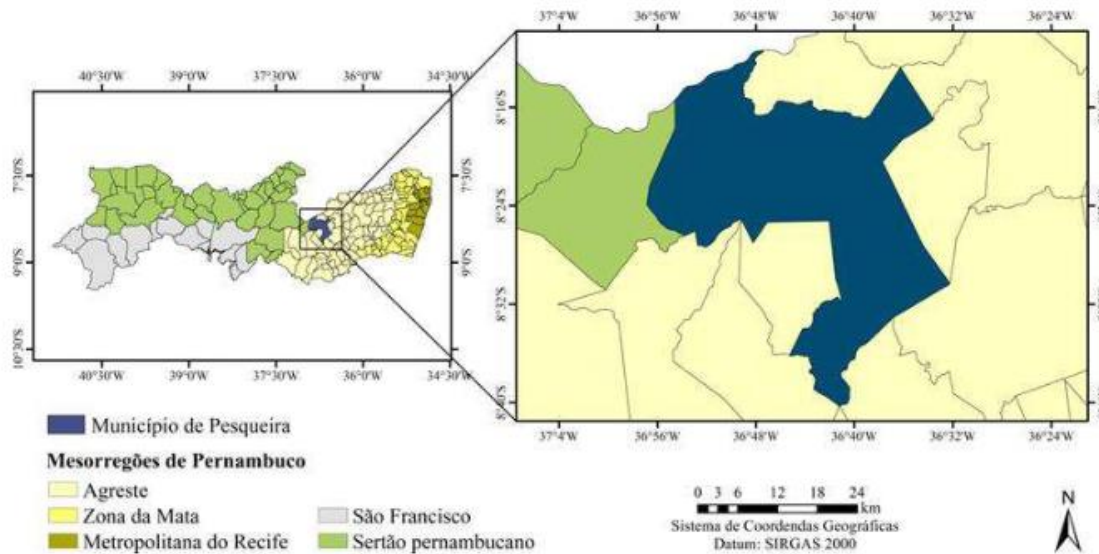
Ao considerar esses fatores, é importante a inclusão de novas culturas na região afim de aumentar o rendimento. A produção de soja na região pode trazer impactos significativos para a economia local, proporcionando oportunidades de emprego e desenvolvimento econômico. No entanto, é importante considerar os aspectos socioeconômicos, como o impacto na segurança alimentar local, o uso da terra e os direitos dos pequenos agricultores.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A coleta do solo foi realizada no assentamento Nossa Senhora do Rosário, município de Pesqueira, Figuras 1 e 2, situada no agreste Pernambucano, no vale do Ipojuca nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 8° 21' 35" Sul, Longitude: 36° 41' 42" Oeste. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BShh- extremamente quente, semiárido, com precipitação total anual média de 590 mm, temperatura média é de 23 °C (MONTENEGRO; MONTENEGRO et al., 2006). Especificamente a área de coleta é caracterizada pedologicamente em Neossolo Flúvico de textura e níveis de salinidade variáveis, moderadamente drenado (DE ALBUQUERQUE et al., 2008).

Figura 1. Mapa de localização do Município de Pesqueira-PE



Fonte: Silva, Maciara & Costa, Valéria. (2021).

3.2 Coleta de solo e caracterização química e física

As amostras de solo foram coletadas em janeiro de 2022, na profundidade de 0- 20 cm /e levadas para o Departamento de agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde foram secar ao ar e peneiradas. As análises físicas e químicas encontram-se na Tabela 1.

Figura 2. Coleta de solo Neossolo Flúvico na profundidade 0-20 no Assentamento Fazenda Nossa Senhora do Rosário- Pesqueira.



Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo do Assentamento Fazenda Nossa Senhora do Rosário.

	Características Químicas									
	pH (água)	Ca	Mg	Al	Na	K	P	C.O	M.O	H+Al
		-----cmolc dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	-----g kg ⁻¹ -----		cmolcdm ⁻³
Pesqueira	5,31	3,6	1,4	0,29	0,16	0,41	39,8	13,79	23,77	3,45

	Características física						
	Areia	Silte	Argila	Porosidade	Ds	Dp	
	-----g kg ⁻¹ -----			cm ³ cm ⁻³	-----g/cm ⁻³ -----		
Pesqueira	648,9	268,1	81,1	0,44	1,54		2,75

As amostras foram destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, retirando-se os torrões antes, para obtenção da densidade do solo. A caracterização física do solo seguiu a metodologia descrita pelo Da Silva et al. (2017), onde foi medida a composição granulométrica após lavagem com etanol a 60% até eliminação total de cloretos, da densidade das partículas pelo método do balão volumétrico e da densidade do solo através do método do torrão parafinado, a porosidade total, estimada pela relação entre a densidade do solo e a densidade de partículas (EMBRAPA, 2017).

As análises químicas, foram realizadas pelo Laboratório de Química Ambiental de Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Seguindo as metodologias descrita por Embrapa (2017), com avaliação do pH, carbono orgânico, matéria orgânica e acidez potencial. A extração do P, K e Na se deu através do método Mehlich 1. O potássio e o sódio foram determinados por fotometria de chama e o fósforo por calorimetria, Calcio e Magnésio por absorção atômica.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados, com 12 tratamentos e três repetições em condições de casa de vegetação. Os tratamentos foram:

1. Biofertilizante– BNPK 100% inoculado com a estipe SEMIA-5079
2. Biofertilizante– BNPK 100% inoculado com a estipe SEMIA-587
3. Biofertilizante– BNPK100% Sem inoculação
4. Biofertilizante– BNPK 150% inoculado com a estipe SEMIA-5079
5. Biofertilizante– BNPK 150% inoculado com a estipe SEMIA-587
6. Biofertilizante– BNPK 150% Sem inoculação

7. Controle Absoluto (Sem fertilizante e sem inoculação)
8. Controle inoculado com a estipe SEMIA-587
9. Controle inoculado com a estipe SEMIA-5079
10. Fertilizante Mineral inoculado com a estipe SEMIA-5079
11. Fertilizante Mineral inoculado com a estipe SEMIA 587
12. Fertilizante Mineral Sem Inoculação

Os cálculos para o fertilizante com NPK, foram realizados de acordo com na análise do solo, usando a ureia, o superfosfato simples, e cloreto potássio. (IPA, 2008) para a cultura da soja. Já o biofertilizante-BNPK, foi produzido de acordo com a metodologia descrita por Stamford et al. (2006) e Moura et al. (2007).

3.4 Cultivo de soja

A Soja, cultivar FTR 3191 IPRO, safra 20/21 foi cultivada em vasos com o solo, em condição de casa de vegetação. As sementes foram previamente desinfestadas por imersão em álcool (70%) por 30 segundos, seguido de hipoclorito de sódio (2,5%) por 30 segundos e sete lavagens consecutivas com água destilada esterilizada em autoclave a 121 °C por 20 minutos (HUNGRIA et al., 1994). Cada semente foi inoculada com 1 ml de uma suspensão da cepa *Bradyrhizobium* (SEMIA 587 ou SEMIA 5079) contendo 8×10^8 células/ml por cada semente. Para a preparação do inoculante, a cepa foi colocada para crescer em meio levedura-manitol (YM) por sete dias a 28 °C (SILVA et al., 2013).

Após a emergência foi realizado o desbaste, restando uma planta por vaso, até completar 45 dias, sendo estas irrigadas diariamente.

3.5 Produção do biofertilizante

O biofertilizante (BPK) foi produzido inicialmente, pesando-se 2 kg de rochas fosfatada e potássica (RP+RK) derivado de rochas a partir da apatita de Irecê- BA com 24% de P_2O_5 total e 1% de P disponível, e biotita de xisto de Santa Luiza-PB, com 11% de K_2O total e 0,1% de K disponível, foi produzido de acordo com a metodologia descrita por Stamford et al. (2006) e Moura et al. (2007), misturando as rochas fosfatada e potássica com enxofre inoculado com *Acidithiobacillus thiooxidans*. A proporção de enxofre adicionado corresponde a 10% da quantidade da rocha. A mistura foi incubada durante o período de 60 dias com irrigação diária (LIMA et al., 2010).

Para a multiplicação da bactéria oxidante do enxofre, amostras foram cultivadas em meio específico 9K, em Erlenmeyer de 125 mL contendo 50 mL do meio, a uma temperatura de 28 °C, sob agitação mecânica de 180 rpm, por 15 dias, e foi aplicada a uma taxa de 107 células viáveis mL⁻¹ (STAMFORD et al., 2006; LIMA et al., 2010), na mistura de rocha (RP+RK).

Para a produção do biofertilizante misto (BNPK), foi adicionada no BPK, 6 Kg de húmus de minhoca na proporção equivalente à 3:1 (MO:BP+BK). Em seguida, foi realizada a inoculação com uma bactéria diazotrófica de vida livre *Beijerinckia indica* (NFB 10001), cultivadas em meio líquido LG (DOBEREINER; BALDANI; BALDANI, 1995), selecionada em trabalhos anteriores, para enriquecimento do teor de N do biofertilizante (STAMFORD et al., 2006; LIMA et al., 2010; STAMFORD et al., 2019). O biofertilizante misto foi novamente incubado durante o período de 30 dias. As bactérias diazotróficas que foram utilizadas estão armazenadas na coleção do Núcleo de Fixação Biológica de N₂ nos Trópicos (NFBNT/UFRPE)

Tabela 2. Atributos do biofertilizante utilizado.

pH (água)	Características Químicas						
	Ca	Mg	Al	Na	K	P	H+Al
	-----cmolc dm ⁻³ -----					mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³
6,32	7,35	1,77	0,99	1,69	2,17	239	15,71

3.6 Análises na planta

A colheita foi efetuada aos 45 dias após a germinação, no começo da floração, a secagem do material vegetal ocorreu em estufa a 65 °C por 72 horas. Foram avaliadas as seguintes variáveis: altura da planta (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca dos nódulos (MSN), massa seca da raiz (MSRs), teor de nitrogênio (TN).

Para análise do N total, o material vegetal foi moído em seguida, digerido com ácido sulfúrico concentrado sob aquecimento, o que transforma todo nitrogênio orgânico em amônia. Em uma etapa posterior, a solução é alcalinizada com hidróxido de sódio (NaOH 13N), e o resultado é a obtenção da amônia que será destilada e captada por uma solução de ácido bórico, que então foi titulada com ácido clorídrico a 0,07143 N, padronizado pelo método de Kjeldahl, (THOMAS et al., 1967).

Realizou-se também uma digestão nítrico-perclórica, para posterior determinação do P e K. Os elementos foram assim determinados: P por colorimetria, com o método amarelo-de-vanadato; K por fotometria de emissão de chama (DA SILVA et al.,2009).

3.7 Análise do solo após o cultivo

Amostras de solo de cada unidade experimental foram coletadas para determinação das características químicas do solo, na época da colheita do experimento. As análises foram efetuadas seguindo a metodologia da Embrapa (2017), sendo realizadas as seguintes análises: P por colorimetria, com azul-de-molibdênio, K por fotometria de chama, Ca e Mg por absorção atômica, extraído em KCl 1 mol.

3.8 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de média entre todos os tratamentos dentro do mesmo parâmetro avaliado, usando o teste de Tukey a 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR v.5.6 (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS

4.1 Análise do solo

Os resultados das propriedades do solo após a coleta da soja são apresentados na tabela 3. Os tratamentos de fertilização com biofertilizante, e fertilizante convencional não contribuíram estatisticamente para o aumento dos teores de nutrientes (P, K, Ca e Mg) do solo, apenas com aumento no teor de sódio (Na).

A análise dos dados revelou que os níveis de sódio (Na) no solo experimentaram um aumento considerável após a aplicação dos tratamentos, representando um aumento de aproximadamente 4 a 5 vezes em relação ao valor inicial de $0,16 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Este aumento significativo foi particularmente observado nos tratamentos que registraram os maiores teores de sódio, os quais foram medidos em 0,80, 0,67, 0,66 e $0,64 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados sugerem um impacto substancial dos tratamentos no conteúdo de sódio do solo, o que pode ter implicações importantes para o desenvolvimento e a saúde das culturas submetidas a esses tratamentos.

Apesar de não ter havido diferenças estatisticamente significativas, entre os tratamentos, com relação aos atributos químicos do solo após o cultivo da soja, houve um aumento no teor

de P, em relação ao teor inicial de 39,8 mg dm⁻³, em mais de 100 mg dm⁻³ para a maioria dos tratamentos.

Tabela 3. Atributos químicos do solo.

Tratamentos	P	K	Na	Ca	Mg
	mg dm ⁻³	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹
Controle absoluto	128,15 a	0,56 a	0,55 ab	5,85 a	1,18 a
Fertilizante mineral	123,73 a	0,55 a	0,60 ab	6,06 a	1,16 a
BNPK 100%	106,34 a	0,37 a	0,36 b	6,36 a	1,17 a
BNPK 150%	150,46 a	0,59 a	0,80 a	6,63 a	1,47 a
Controle c/ inoculação BR-5079	116,81 a	0,57 a	0,58 ab	5,49 a	1,16 a
Fertilizante c/ inoculação BR-5079	134,35 a	0,55 a	0,58 ab	5,68 a	0,84 a
BNPK 100% c/ inoculação BR-5079	155,79 a	0,69 a	0,66 ab	6,42 a	1,26 a
BNPK 150% c/ inoculação BR-5079	161,74 a	0,44 a	0,50 ab	6,83 a	1,26 a
Controle c/ inoculação BR-587	111,78 a	0,62 a	0,64 ab	6,35 a	1,46 a
Fertilizante c/ inoculação BR-587	130,10 a	0,69 a	0,67 ab	6,21 a	1,20 a
BNPK 100% c/ inoculação BR-587	129,72 a	0,56 a	0,61 ab	5,96 a	1,20 a
BNPK 150% c/ inoculação BR-587	161,07 a	0,42 a	0,47 ab	6,58 a	0,77 a
CV (%)	33,48	30,04	23,86	9,02	23,01
Média geral	134,17	0,55	0,58	6,20	1,18

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

4.2 Análise da planta

Os dados da tabela 4 apresentam os teores de nutrientes na planta para diferentes tratamentos, incluindo a concentração de Fósforo (P), Potássio (K) e Nitrogênio Total (TN).

Em relação ao Fósforo (P), os tratamentos não mostraram uma variação significativa, com valores médios variando em torno de 2,11 g/kg-1. Os tratamentos 'BNPK 150% c/inoculação SEMIA-5079' e 'BNPK 150% c/inoculação SEMIA-587' tiveram os maiores valores de P, 2,40 g/kg-1 e 2,18 g/kg-1, respectivamente.

No caso do Potássio (K), os tratamentos também não demonstraram uma variação substancial, com valores médios em torno de 5,69 g/kg-1. O tratamento 'BNPK 150% c/inoculação SEMIA-5079' teve o valor mais alto de K, com 7,15 g/kg-1.

Já em relação ao Nitrogênio Total (TN), os tratamentos apresentaram diferenças significativas. O tratamento 'BNPK 100% c/inoculação SEMIA-5079' teve o maior valor de TN, com 36,75 g/kg-1, seguido pelo tratamento 'Controle c/inoculação SEMIA-5079' com

34,78 g/kg-1. Os valores médios de TN para todos os tratamentos foram em torno de 24,53 g/kg-1.

Os coeficientes de variação (CV) variaram entre os parâmetros, sendo 16,57% para P, 18,76% para K e 22,25% para TN, indicando diferentes níveis de variabilidade entre os tratamentos.

Tabela 4. Efeito dos tratamentos com inoculantes e sem inoculantes sobre os teores de fósforo (P), Potássio (K) e Nitrogênio total (NT) na parte aérea da soja.

Tratamento	P g/kg ⁻¹	K g/kg ⁻¹	TN g/kg ⁻¹
Controle Absoluto	2,25 a	6,00 a	25,33 abc
Fertilizante Mineral	2,06 a	4,35 a	17,00 c
BNPK 100%	1,90 a	5,15 a	17,56 c
BNPK 150%	2,40 a	5,49 a	18,38 c
Controle c/inoculação SEMIA-5079	2,04 a	6,77 a	34,78 ab
Fertilizante c/inoculação SEMIA-5079	2,35 a	6,49 a	29,45 abc
BNPK 100% c/inoculação SEMIA-5079	1,86 a	6,07 a	36,75 a
BNPK 150% c/inoculação SEMIA-5079	2,23 a	7,15 a	35,45 ab
Controle c/inoculação SEMIA-587	2,11 a	5,95 a	23,61 abc
Fertilizante c/inoculação SEMIA-587	2,13 a	4,90 a	18,08 c
BNPK 100% c/inoculação SEMIA-587	1,83 a	4,78 a	18,23 c
BNPK 150% c/inoculação SEMIA-587	2,18 a	5,21 a	19,76 bc
CV (%)	16,57	18,76	22,25
Média geral	2,11	5,69	24,53

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os dados da tabela 5 apresentam resultados de diversos tratamentos e suas influências sobre diferentes parâmetros agrônômicos, incluindo a altura das plantas (ALT), a massa seca da parte aérea (MSPA), a massa seca da raiz (MSR), o número de nódulos (NN), e a massa seca dos nódulos (MSN).

Em relação à altura das plantas, não houve variação significativa entre os tratamentos, com todas as médias variando em torno de 155 cm. No entanto, para a massa seca da parte aérea, observou-se uma diferença entre os tratamentos, com o tratamento 'BNPK 150%' apresentando a maior média de 11,90 g.

Quanto à massa seca das raízes, os tratamentos 'BNPK 100%' e 'BNPK 150%' se destacaram com médias de 1,98 g e 1,88 g, respectivamente, em comparação com outros tratamentos.

Os resultados para o número de nódulos e a massa seca dos nódulos indicam que os tratamentos com inoculação SEMIA-5079 resultaram em valores mais altos do que aqueles com inoculação SEMIA-587. Os tratamentos com 'BNPK 150% c/ inoculação SEMIA-5079' e 'Fertilizante c/ inoculação SEMIA-5079' tiveram os maiores valores de NN e MSN.

É importante destacar que os coeficientes de variação (CV) variaram consideravelmente entre os parâmetros, indicando diferentes graus de variabilidade entre os tratamentos. Em média, os tratamentos resultaram em uma altura das plantas de 155,47 cm, uma massa seca da parte aérea de 10,67 g, uma massa seca das raízes de 1,68 g, um número médio de nódulos de 53,47, e uma massa seca dos nódulos de 0,25 g.

Tabela 5. Valores médios de altura (ALT), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), número de nódulos (NN) e massa seca dos nódulos (MSN) de soja em diferentes tratamentos com inoculantes e sem inoculantes.

Tratamentos	ALT	MUPA	MSPA	MSR	NN	MSN
	(cm)	(g)	(g)	(g)	Nº plan ⁻¹	(g)
Controle absoluto	163,33 a	32,00 a	9,63 a	1,63 a	22,00 abc	0,21 a
Fertilizante mineral	163,00 a	34,63 a	9,68 a	1,71 a	2,33 c	0,01 a
BNPK 100%	161,66 a	33,26 a	10,20 a	1,98 a	2,33 c	0,03 a
BNPK 150%	149,66 a	39,31 a	11,90 a	1,88 a	20,33 abc	0,12 a
Controle c/ inoculação SEMIA-5079	159,00 a	36,41 a	10,56 a	1,23 a	119,33 ab	0,47 a
Fertilizante c/ inoculação SEMIA-5079	148,00 a	36,15 a	10,30 a	1,41 a	127,00 a	0,42 a
BNPK 100% c/ inoculação SEMIA-5079	140,66 a	33,50 a	10,31 a	1,61 a	87,00 abc	0,45 a
BNPK 150% c/ inoculação SEMIA-5079	145,66 a	34,23 a	9,80 a	1,58 a	64,66 abc	0,34 a
Controle c/ inoculação SEMIA-587	157,00 a	36,93 a	11,10 a	1,66 a	73,33 abc	0,26 a
Fertilizante c/ inoculação SEMIA-587	163,66 a	34,76 a	10,51 a	1,53 a	41,66 abc	0,22 a
BNPK 100% c/ inoculação SEMIA-587	153,00 a	39,25 a	11,73 a	1,66 a	69,00 abc	0,32 a
BNPK 150% c/ inoculação SEMIA-587	161,00 a	42,16 a	12,36 a	2,25 a	12,66 bc	0,18 a
CV (%)	14,62	20,25	17,56	26,10	70,72	63,91
Média geral	155,47	36,07	10,67	1,68	53,47	0,25

Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

5 DISCUSSÕES

A variação nos níveis de potássio entre os tratamentos é relativamente pequena, com todos os tratamentos variando entre 0,37 e 0,69 cmolc kg⁻¹, apresentando maiores valores nos tratamentos com inoculação BR-5079 e BR-587 em comparação com os outros tratamentos. Muitos estudos destacaram que a disponibilidade de potássio aumentou com o aumento das atividades biológicas nos solos (TAIWO et al., 2018).

Resultados semelhantes foram encontrados por Luchese et al., (2023), quando não houve nenhum aumento significativo no K do solo em curto período de solubilização mas apenas sob condições de solo mais ácidas utilizando pó de rocha basáltica, outros estudos demonstraram que a disponibilidade de K aumenta ao aplicar pós de rocha, em períodos relativamente curtos de interação solo- pó de rocha, variando de 45 a 100 dias (MARTINS et al., 2015).

Por outro lado, após o cultivo da soja houve o aumento substancial no teor de Na⁺ no solo em todos os tratamentos. Com o aumento da salinidade, as raízes das plantas absorvem grande quantidade de Cl⁻ e Na⁺, esses íons salinos interrompem o processo metabólico. Além disso, o excesso de Na⁺ competira com o K⁺ pelos sítios de ligações, afetando o equilíbrio iônico nas plantas (WANG et al., 2023).

A liberação de elementos não nutrientes foi mencionada por Ribeiro et al. (2010), onde avaliou em casa de vegetação o efeito da aplicação de pó de rocha silicáticas portadoras de K sobre os atributos químicos do solo após o plantio da soja, que apresentou a liberação de sódio para o solo.

Os resultados para Ca e Mg, mostram um efeito não significativo, contudo o teor de Ca no solo aumentou consideravelmente em comparação com os valores observados no solo antes do plantio da soja, principalmente nos tratamentos "BNPK 150%" e "BNPK 150% c/ inoculação BR-587", já os teores de magnésio entre os tratamentos é relativamente pequena, com a maioria dos tratamentos variando entre 0,77 e 1,47 cmolc kg⁻¹.

Segundo Stamford et al., (2017), esse incremento ocorre devido a liberação P e Ca advindo da produção do biofertilizante de rocha PK, onde a bactéria oxidativa *Acidithiobacillus* utiliza o enxofre elementar na produção do ácido sulfúrico metabolicamente e os nutrientes solúveis liberados nesse processo pode ser utilizado na nutrição das plantas.

Da Silva Oliveira et al. (2014), encontrou resultados semelhantes em seu trabalho com melão no semiárido brasileiro, onde o efeito com o biofertilizante e bioprotetor comparado com o fertilizante mineral e controle não foram significativos nos teores de Ca e Mg, diferente de

outros trabalhos realizados por Stamford (2004 e 2014), que mostrou o incremento nesses teores nas culturas jacatupé e uva.

Nesse estudo a adição de agentes microbianos juntamente com o biofertilizante ao solo melhorou significativamente a fixação biológica do nitrogênio, aumentando assim o peso fresco da parte aérea, e o peso dos nódulos, mas o efeito promocional não foi estatisticamente significativo.

A inoculação com a estirpe SEMIA 5079 ou 587 sozinha ao solo da rizosfera da soja desempenhou um papel satisfatório na produção de nódulos e no teor de N na parte aérea.

Consistentemente, neste trabalho o nível de fixação biológica do nitrogênio aumentou significativamente com aplicação do biofertilizante, esses tratamentos também apresentaram maior concentração de P solúvel no solo (PAVANELLI, ARAUJO 2009).

A disponibilidade de fosforo está ligado particularmente como fonte de energia para FBN. Isto é de particular importância para as leguminosas, cujo a formação e funcionamento dos nódulos e os custos energéticas da fixação biológica depende muito do status de P nos tecidos das plantas (BARGAZ et al., 2018).

Reed et al., (2011) demonstrou através de um estudo agroflorestal de longo prazo que a eficiência da comunidade fixadora de nitrogênio estava intimamente ligada ao fornecimento de P presente no solo. A quantidade de N₂ fixada pelas leguminosas é influenciada principalmente pelo crescimento das plantas e pela produção de matéria seca (MARTINS et al., 2022).

O aumento do suprimento de P proporcionou incremento na concentração de P na parte aérea, mesmo não apresentando diferença significativa. Também foi observada que o fornecimento de P na formação e desenvolvimento de nódulos, enquanto a oferta de P não teve efeito sobre o peso seco dos nódulos (SHU-JIE et al., 2007).

A administração do BNPK juntamente com os inoculantes aumentaram o número de e a biomassa dos nódulos (ANDRADE et al., 2013).

A soja é uma espécie exótica no Brasil e assim como em outros países onde foi introduzida, os solos precisavam de cepas de *Bradyrhizobium* capazes de estabelecer relações simbióticas eficientes. Neste trabalho foi possível notar a presença de nódulos nos tratamentos não inoculados que demonstrou uma possível presença de estipes nativas de *Bradyrhizobium* naturalizadas no solo ou dentro das sementes, as quais escapam de desinfestação superficial (LIMA et al., 1998; FERREIRA et al., 2002).

De acordo com estudos de Vargas et al. (1993), a diferenciação dos nódulos nas raízes, originados das estirpes inoculadas pelo inoculante utilizado, pode ser realizada através da análise da distribuição desses nódulos. Os pesquisadores afirmaram que o sucesso da

inoculação pode ser avaliado com base na distribuição e coloração dos nódulos nas raízes da soja. Os nódulos localizados na região do colo da raiz principal se desenvolvem logo após a emergência das plantas, provavelmente originados das estirpes inoculadas. Em contraste, os nódulos encontrados nas raízes secundárias e na parte inferior do sistema radicular indicam uma nodulação tardia, muito provavelmente causada por estirpes que já estavam presentes no solo.

6 CONCLUSÕES

O BNPK, proporcionou um maior número de nódulos e nitrogênio acumulado na parte aérea da soja, quando inoculado;

Nas condições do experimento, a estirpe SEMIA -5079, apresentou-se mais eficiente que a SEMIA-587;

O solo de Pesqueira possui um potencial favorável para o cultivo da soja, destacando a viabilidade do uso do biofertilizante BNPK em conjunto com Bradyrhizóbios para otimizar a produção de biomassa e o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas de soja.

7 REFERÊNCIAS

ALOVISI, A. M. T.; RODRIGUES, R. B.; ALOVISI, A. A.; TEBAR, M. M.; VILLALBA, L. A.; MUGLIA, G. R. P.; SOARES, M. S. P.; TOKURA, L. K.; CASSOL, C. J.; SILVA, R. S. da; TOKURA, W. I.; GNING, A.; KAI, P. M. Use of basalt rock powder as an alternative fertilizer culture of soybean. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e33710615599, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15599>

ANDRADE, M. M. M.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R.; FREITAS, A. D. S.; SOUSA, C. A.; LIRA JUNIOR, M. A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.019>.

ARAÚJO, J. M.; DE CALAZANS, G. M. T.; MELO, I. S. de. Importância de actinobactérias para a agricultura. In: FIGUEIREDO, M. do V. B.; BURITY, H. A.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. de R. e S. (Ed.). **Microrganismos e agrobiodiversidade: o novo desafio para a agricultura**. Guaíba: Agrolivros, 2008. Cap. 12, p.277-296.

ARAUJO, J. S. S. **Eficiência de biofertilizantes no crescimento, produção e qualidade da produção da bananeira nanica**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012.

ASSIS, L. B. de. **Agroecologia sob a visão do direito: estudo do manejo da rochagem como demonstração de que a agroecologia é instrumento de direito à alimentação e de preservação da vida**. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Direito Agrário) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

BANNWART, M. G. **Efeito de fosfito de potássio no desenvolvimento inicial de pimentão, tomate, feijão e soja**. 2015. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BARGAZ, A.; LYAMLOULI, K.; CHTOUKI, M.; ZEROUAL, Y.; DHIBA, D. Soil Microbial Resources for Improving Fertilizers Efficiency in an Integrated Plant Nutrient Management System. **Frontiers in Microbiology**, v. 9, 364232, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>.

BEZERRA, R. V. **Biodiversidade e efetividade de rizóbios nativos de solos do semiárido de Pernambuco em caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp)**. 2009. 70 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

BRANDÃO, J. A. V. **Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia**. 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2012.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, [S. l.], v. 5, n. 5, 2011. Disponível em: <<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/629>>. Acesso em: 3 nov. 2023.

BRESSAN, D. **Avaliação de produtividade da soja (*Glycine max L.*) de três diferentes cultivares em área de várzea na região Sul de Santa Catarina.** 2020. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia), Tubarão, 2020.

CANTELLI, K. C.; SCHMITD, J. T.; OLIVEIRA, M. A. DE.; STEFFENS, J.; STEFFENS, C.; LEITE, R. S.; CARRÃO-PANIZZI, M. C. Brotos de linhagens genéticas de soja: avaliação das propriedades físico-químicas. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20. 2017. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.7416>.

COLA, G. P. A.; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, ISSN-e 1981-8203, v. 7, n. 4, p. 3. 2012.

CONAB. Campanha Nacional de Abastecimento safra 2022/2023, 12º Levantamento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos.** Brasília, DF, 2022 v. 10, n. 12. Disponível: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> em Acesso em 03 novembro 2023.

CONTINI, E.; GAZZONI, D.; ARAGÃO, A.; MOTA, M.; MARRA, R. **Complexo soja: caracterização e desafios tecnológicos: parte 1.** Brasília, DF, Embrapa, 2018. 35 p. (Desafios do Agronegócio Brasileiro). Nota técnica. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/documents/10180/0/COMPLEXO+SOJA++Caracteriza%C3%A7%C3%A3o+e+Desafios+Tecnol%C3%B3gicos/709e1453-e409-4ef7-374c-4743ab3bdc6>> Acesso em: 03 nov. 2023.

DA SILVA OLIVEIRA, W.; STAMFORD, N. P.; VILA NOVA DA SILVA, E.; DE ROSALIA E SILVA SANTOS, C. E.; SANTIAGO DE FREITAS, A. D.; STAMFORD ARNAUD, T. M.; SARMENTO, B. F. Biofertilizer produced by interactive microbial processes affects melon yield and nutrients availability in a Brazilian semiarid soil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, n. 7, p. 1124–1130, 2014. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.566843435251568>.

DA SILVA SANTOS, D. M.; BUSH, A.; DA SILVA, E. R.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F. Bactérias fixadoras de nitrogênio e molibdênio no cultivo do amendoim em solo do Cerrado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 84-92. 2017. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i5.2165>.

DA SILVA, MACIARA GOMES LEITE; DE OLIVEIRA COSTA, VALÉRIA SANDRA. Água, conhecimento e ação local: cartilha como instrumento de aprendizagem. **Revista Sergipana de Educação Ambiental**, v. 8, n. Especial, p. 1-19, 2021. <https://doi.org/10.47401/revisea.v8iEspecial.15514>.

DE ALBUQUERQUE, C. G.; DE MATOS PONCIANO, I., DE ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Dinâmica de potenciometria e salinidade de aluvião no semiárido Pernambucano. **Águas Subterrâneas**. 2008. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23673>. Acesso em: 3 nov. 2023.

DE MEDEIROS, E. V.; SILVA, K. J. P.; MARTINS, C. M.; BORGES, W. L. Tolerância de bactérias fixadoras de nitrogênio provenientes de municípios do Rio Grande do Norte à temperatura e salinidade. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, 2007. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50007220>> Acesso em: 3 nov. 2023.

DE MIRANDA, E. E; MAGALHÃES, L. A; DE CARVALHO, C. A. **Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA**. Embrapa Territorial - Outras publicações técnicas. Campinas: Embrapa, 2014. 18 p. (INFOTECA-E). Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8462>> Acesso em 04 nov 2023.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **História da soja**. Londrina: Embrapa Soja. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>> Acesso em: 30 jul. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de produção de soja – região central do Brasil 2012 e 2013. Londrina: Embrapa Soja, 2011. 262 p.

EMBRAPA. Sealba: região de alto potencial agrícola no Nordeste brasileiro. Autores: PROCÓPIO, S. O. et al. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 62 p.

EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja-Região Central do Brasil 2014. **Sistemas de Produção**, Londrina: Embrapa Soja, 2013. p. 265.

FAXO, A., GLASS, F., GUTH, P., DUTRA, R. EVOLUÇÃO DO CULTIVO DA SOJA NO BRASIL DE 1980 A 2015. In 13º ENCITEC - Criar, Inovar, Empreender, 2017, Paraná. **Anais...** Paraná, 2017. p. 9.

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

FERREIRA, M. C.; HUNGRIA, M. Recovery of soybean inoculant strains from uncropped soils in Brazil. *Field Crops. Research*, v. 79, n.2-3, p. 139-152, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(02\)00119-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00119-3).

FREITAS, M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12. 2011.

GENTILE, C; BURGOS, A. Coopercuc: percursos de valorização dos recursos locais e de convivência com o Semiárido. **Sustainability in Debate**, v. 7, p. 136-151. 2016. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v7n0.2016.18321>.

GETACHEW G. Z.; ABEBLE D. L. Response of soybean to Rhizobial inoculation and starter N fertilizer on Nitisols of Assosa and Begi areas, Western Ethiopia. **Environmental Systems Research**, v. 9, n. 1, p. 1-11. 2020. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00174-5>.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, p 80. 2007 (Embrapa Soja. Documentos, 283).

IPA - Instituto Agrônômico de Pernambuco. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2a. aproximação. 3.ed.rev. IPA. Recife, 2008. 212 p.

JANEQUE, R. A.; COSTA, N. L.; SANTANA, A. C. DE. Cultivo de soja no continente africano: evidências contemporâneas baseadas em produtores moçambicanos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 2, p. e217894, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.217894>.

KANAO, T.; ONISHI, M.; KAJITANI, Y.; HASHIMOTO, Y.; TOGE, T., KIKUKAWA, H.; KAMIMURA, K. Characterization of tetrathionate hydrolase from the marine acidophilic sulfur-oxidizing bacterium, *Acidithiobacillus thiooxidans* strain SH. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 82, n. 1, p. 152-160, 2018. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1415128>.

KELLY, DONOVAN P.; WOOD, ANN P. Reclassification of some species of *Thiobacillus* to the newly designated genera *Acidithiobacillus* gen. nov., *Halothiobacillus* gen. nov. and *Thermithiobacillus* gen. nov. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 50, n. 2, p. 511-516, 2000. <https://doi.org/10.1099/00207713-50-2-511>.

KIKUMOTO, M.; NOGAMI, S.; KANAO, T.; TAKADA, J.; KAMIMURA, K. Tetrathionate-forming thiosulfate dehydrogenase from the acidophilic, chemolithoautotrophic bacterium *Acidithiobacillus ferrooxidans*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 1, p.113-120, 2013. <https://doi.org/10.1128/AEM.02251-12>.

LIMA, R. D. C. M. D.; STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. D. R.; LIRA JÚNIOR, M. D. A.; DIAS, S. H. L. Eficiência e efeito residual de biofertilizantes de rochas com PK e enxofre com *Acidithiobacillus* em alface. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 402-407, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300016>.

LIMA, F. S., STAMFORD, N. P., SOUSA, C. S., LIRA JUNIOR, M. A., MALHEIROS, S. M. M., & VAN STRAATEN, P. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World J Microbiol Biotechnol** v. 26, p. 1769–1775, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0357-z>.

LIMA, S.C.; LOPES, E.S.; LEMOS, E.G.M. Caracterização de rizóbios (*Bradyrhizobium japonicum*) e produtividade da soja. **Scientia Agricola**, v. 55, n. 3, p. 360-366, 1998.<https://doi.org/10.1590/S0103-90161998000300003>.

LUCHESI, A. V.; GUTZ DE CASTRO LEITE, I. J.; DA SILVA GIARETTA, A. P.; ALVES, M. L.; PIVETTA, L. A.; MISSIO, R. F. Use of quarry waste basalt rock powder as a soil remineralizer to grow soybean and maize. **Heliyon**, v. 9, n. 3, e14050, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14050>.

MARTINS, J. T.; RASMUSSEN, J.; ERIKSEN, J.; ARF, O.; DE NOTARIS, C.; MORETTI, L. G. Biological N fixation activity in soybean can be estimated based on nodule dry weight and is increased by additional inoculation. **Rhizosphere**, v. 24, 100589, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100589>.

- MARTINS, V.; SILVA, D. R. G.; MARCHI, G.; LEITE, M. C. A.; MARTINS, É. DE S.; GONÇALVES, A. S. F.; GUILHERME, L. R. G. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 194-204, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150587>.
- MEDEIROS, A. D. S., CESÁRIO, F. V., MAIA, S. M. F. Long-term impact of conventional management on soil carbon and nitrogen stocks in the semi-arid region of Brazil: A meta-analysis. **Journal of Arid Environments**, 218, 105052, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105052>.
- MIAO, S.; QIAO, Y.; HAN, X.; AN, M. Nodule Formation and Development in Soybeans (*Glycine max* L.) in Response to Phosphorus Supply in Solution Culture. **Pedosphere**, v. 17, n.1, p. 36-43. 2007. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60005-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60005-8).
- MONTENEGRO, A. A. A; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. p.1, 30-37, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000100005>.
- MOURA, P. M.; STAMFORD, N. P.; DUENHAS, L. H.; SANTOS, C. E. R. S.; NUNES, G. H. DE S. Eficiência de biofertilizantes de rochas com *Acidithiobacillus* em melão, no Vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.5039/agraria.v2i1a429>.
- NIEMEYER, J.; VALE, M. M. Obstacles and opportunities for implementing a policy-mix for ecosystem-based adaptation to climate change in Brazil's Caatinga. **Land Use Policy**, v. 122, p. 106385, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106385>.
- NUNES, M. G. P; DA SILVA, C. N. M. Nordeste brasileiro: um olhar sobre o semiárido e a convivência com a seca. **Revista Geotemas**, v. 10, n. 3, p. 148-160, 2020. Disponível em: <<https://periodicos.apps.uern.br/index.php/GEOTemas/article/view/2780>>. Acesso em: 4 nov. 2023.
- PAVANELLI, E.; ARAÚJO, F. F. D. L. Fixação Biológica de nitrogênio em soja em solos cultivados com pastagens e culturas anuais no oeste paulista. **Bioscience Journal**. Uberlândia, MG, v. 25, n. 1, 2009. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6783>>. Acesso em: 4 nov. 2023.
- PEREIRA, C. N; PORCIONATO, G. L; CASTRO, C. N DE. Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba. **Boletim regional, urbano e ambiental** 2018. 2018. 47-59 p. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea).
- PRANDO, A. M.; OLIVEIRA, A. B.; LIMA, D. D., POSSAMAI, E. J.; REIS, E. A.; NOGUEIRA, M. A.; CONTE, O. **Coinoculação da soja com *Bradyrhizobium e Azospirillum* na safra 2018/2019 no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 19 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 156).
- REED, S.C.; VITOUSEK, P.M.; CLEVELAND, C.C. Are patterns in nutrient limitation belowground consistent with those aboveground: results from a 4 million year

chronosequence. **Biogeochemistry**, v. 106, p.323–336, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9522-6>.

REETZ J. H. F.; LOPES, A. S. Fertilizantes e seu uso eficiente.-**Tradução de Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos**, 2017.

RIBEIRO, L. D. S.; SANTOS, A. R. D.; SOUZA, L. F. D. S.; SOUZA, J. S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.3, p. 891-897, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>.

RIBES, R., BUSS, R., LAZARI, R., POTES, M., BAMBERG, A. Efeito de rochas moídas sobre a concentração de macronutrientes na parte aérea de plantas de milho. In: WORKSHOP INSUMOS PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL, 2012, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012.

SANTOS, J. O. **Manejo da soja com aplicação de biofertilizantes no sulco de semeadura**. Dissertação de Mestrado em Agronomia (Agricultura) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2020.

SHU-JIE, M. I. A. O., YUN-FA, Q. I. A. O., XIAO-ZENG, H. A. N., & AN, M. Nodule formation and development in soybeans (*Glycine max* L.) in response to phosphorus supply in solution culture. **Pedosphere**, v. 17, n. 1, p. 36-43, 2007. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(07\)60005-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(07)60005-8).

SIEBEN, A.; MACHADO, C. A. Histórico e contextualização sócioeconômica e ambiental da soja (*Glycine max*) no Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 7, p. 01-18, 2006. <https://doi.org/10.5216/rev.%20geoambie.v0i7.25917>.

SOUZA, A. C. M. **Seleção de rizóbios e compatibilidade simbiótica em diferentes variedades de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Dissertação de Mestrado em Melhoramento Genético de Plantas - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

STAMFORD, N. P.; DA SILVA JUNIOR, S.; DE ROSALIA E SILVA SANTOS, C. E.; DE FREITAS, A. D. S.; DE ANDRADE SANTOS, C. M., ARNOUD, T. M. S.; DE RAMALHO E SOARES, H. 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, n. 2, p. 301-306, 2014. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.198991316672183>.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; LIRA JR, M. A.; SANTOS, C. 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**, v. 24, n. 10, p. 2061–2066, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9710-x>.

STAMFORD, N. P.; LIMA, R. A.; SANTOS, C. R. S.; DIAS, S. H. L. Rock biofertilizers with *Acidithiobacillus* on sugarcane yield and nutrient uptake in a Brazilian soil. **Geomicrobiology Journal**, v. 23, n. 5, p. 261-265, 2006. <https://doi.org/10.1080/01490450600760658>.

STAMFORD, N. P.; MOURA, A. M. M. F.; SANTOS, K. S.; SANTOS, P. R. Atuação de *Acidithiobacillus* na solubilização de fosfato natural em solo de tabuleiro cultivado com jacatupé (*Pachyrhizus erosus*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.1, p. 75-83, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100008>.

STAMFORD, N. P.; RIBEIRO, M. R.; CUNHA, K. P. V.; FREITAS, A. D. S.; 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 and Biotechnology**, v. 23, p. 1433-1439, 2007. <https://doi.org/10.1007/s11274-007-9387-6>.

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**, v. 24, p.1857–1865, 2008. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9684-8>.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, P. R. DOS.; MOURA, A. M. M. F. DE.; SANTOS, C. E. DE R. E S.; FREITAS, A. D. S. De. Biofertilizers with natural phosphate, sulphur and *Acidithiobacillus* in a soil with low available-P. *Scientia Agricola*, v. 60, n. 4, p.767–773, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400024>.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, C. E. R. S. ; SANTOS, K. S. R. ; MONTENEGRO, A. . Effects of rock phosphate, sulphur with and without *Acidithiobacillus* and organic by-products on mimosa (*Mimosa caesalpinifolia*) grown in a Brazilian tableland soil.. **Tropical Grasslands** , v. 39, n. 1, p. 54-61, 2005.

STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V. N.; DA, OLIVEIRA, W. DÁ S.; SILVA, M. C. F. DA; MARTINS, M. DOS S.; SILVA, V. S. G. DA. Organic matter inoculated with diazotrophic bacterium *Beijerinckia indica* and *Cunninghamella elegans* fungus containing chitosan on banana "Williams" in the field. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 1, p. 33–41, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i1.30857>.

TAIWO, A. A.; ADETUNJI, M. T.; AZEEZ, J. O.; ELEMU, K. O. Kinetics of potassium release and fixation in some soils of Ogun State, Southwestern, Nigeria as influenced by organic manure. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n.3, p. 251-259, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0211-0>.

TELLES, T. S; NOGUEIRA, M. A; HUNGRIA, M. Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil. **Environmental Technology & Innovation**, v. 31, 103158, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103158>.

THEODORO, S. H. **Cartilha da Rochagem**. 2ª edição revisada. Brasília: Gráfica e Editora Ideal. 2020. 32 p.

THOMAS, R. L. et al. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion 1. **Agronomy Journal**, v. 59, n. 3, p. 240-243, 1967. <https://doi.org/10.2134/agronj1967.00021962005900030010x>.

TORABIAN, S; FARHANGI-ABRIZ, S; DENTON, M. D. Do tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research*, v. 185, p. 113-121, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. D. C.; SUHET, A. R.; PERES, J. R. R.; ARANTES, N. E.; SOUZA, P. D. M. **Cultura da soja nos cerrados**. 1993.

VILELA, G. F.; PEREIRA, M. J. Z.; KLEPKER, D.; MOREIRA, J. U. V.; VIEIRA, P. D. M.; RABELO, C. F. S.; DA SILVA NETO, S. P. **Cultivares de soja: macrorregiões 4 e 5 norte e nordeste do Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 56 p.

WANG, J.; LI, R.; ZHANG, H., WEI, G.; LI, Z. Beneficial bacteria activate nutrients and promote wheat growth under conditions of reduced fertilizer application. *BMC Microbiology*, v. 20, n. 38, p. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1186/s12866-020-1708-z>.

WANG, R.; LIN, J.; LIU, X.; PANG, X.; ZHANG, C.; YANG, C.; GAO, X.; LIN, C.; LI, Y.; LI, Y.; LIN, J.; CHEN, L. Sulfur Oxidation in the Acidophilic Autotrophic Acidithiobacillus spp. *Frontiers in Microbiology*, v. 9, 41178, 2019. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.03290>.

WANG, X.; LIU, B.; MA, J.; ZHANG, Y.; HU, T.; ZHANG, H.; FENG, Y.; PAN, H.; XU, Z.; LIU, G.; LIN, X.; ZHU, J.; BEI, Q.; XIE, Z. Soil aluminum oxides determine biological nitrogen fixation and diazotrophic communities across major types of paddy soils in China. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 131, p. 81-89, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.12.028>.

WANG, Y., HU, C.; WANG, X.; SHI, G.; LEI, Z.; TANG, Y.; ZHAO, X. Selenium-induced rhizosphere microorganisms endow salt-sensitive soybeans with salt tolerance. *Environmental Research*, v.236, 116827, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116827>.

YANG, L.; ZHAO, D.; YANG, J.; WANG, W.; CHEN, P.; ZHANG, S.; YAN, L. Acidithiobacillus thiooxidans and its potential application. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 103, n. 19, 2019. p. 7819-7833. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10098-5>.