



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

SAMUEL DE OLIVEIRA SANTOS

***Bacillus* sp., FORMAS DE ADUBAÇÃO E USO DE ÁGUA SALOBRA NA
PRODUÇÃO DA SOJA NO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ**

FORTALEZA

2024

SAMUEL DE OLIVEIRA SANTOS

Bacillus sp., FORMAS DE ADUBAÇÃO E USO DE ÁGUA SALOBRA NA PRODUÇÃO
DA SOJA NO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana.

Coorientador: Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S238b Santos, Samuel de Oliveira.
Bacillus sp., Formas de adubação e uso de água salobra na produção da soja no Maciço de Baturité,
Ceará. / Samuel de Oliveira Santos. – 2024.
67 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana.
Coorientação: Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa.

1. Glycine max (L.) Merr.. 2. Salinidade. 3. Microrganismos. 4. Nutrição de plantas. 5. Produção. I. Título.
CDD 630

SAMUEL DE OLIVEIRA SANTOS

Bacillus sp., FORMAS DE ADUBAÇÃO E USO DE ÁGUA SALOBRA NA PRODUÇÃO
DA SOJA NO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 27/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa (Coorientador)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof^a. Dr^a. Kelly Nascimento Leite
Universidade Federal do Acre (UFAC)

Prof. Dr. João Valdenor Pereira Filho
Universidade Estadual do Piauí (UESP)

Dr. Leonardo Vieira de Sousa
PNPD/FUNCAP

Aos meus pais, Francisco Cleidson (*in
memorian*) e Rosa Helena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que sempre esteve ao meu lado em todas as etapas deste trabalho. Mesmo de longe, seu apoio incondicional, amor e incentivo foram essenciais para que eu pudesse superar os desafios.

Agradeço ao meu parceiro de vida, Nelson Mendes. Sua dedicação e empenho foram essenciais para que eu pudesse ter a confiança de que conseguiria finalizar esse projeto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Thales Vinícius de Araújo Viana, por toda orientação e dedicação.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Geocleber Gomes de Sousa, por toda sua dedicação e confiança, desde a graduação até os dias de hoje.

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

Aos amigos Girna Oliveira e Hermeson Costa por todo companheirismo durante o período de condução dos experimentos.

Aos demais colegas da Graduação e da Pós- Graduação, Geovana Goes, Alisson Gomes, Amanda Nayara, Bubacar Baldé, Manuel Passos e a todos os demais integrantes do grupo Bio-Sal.

Aos profissionais da Unidade de Produção de Mudas Auroras (UPMA) por todo apoio na condução dos experimentos.

À UNILAB pelo apoio técnico e disponibilidade da área para a realização dos experimentos.

Agradecimento especial a todos que fazem parte do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da Universidade Federal do Ceará.

RESUMO

O uso de *Bacillus* sp. atenua o estresse salino e aumenta o rendimento produtivo em plantas de soja. Neste contexto, avaliou-se o desempenho agrônômico da cultura da soja cultivada sob diferentes formas de adubação, inoculada com *Bacillus* sp e sob estresse salino. Dois experimentos foram conduzidos na área experimental da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Redenção, Ceará. O delineamento utilizado no experimento I foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 4 x 2 x 2, com cinco repetições, correspondente a quatro formas de adubação (F1 = 100% da recomendação de NPK; F2 = 50% da recomendação de NPK; F3 = 100% de biofertilizante bovino; F4 = organomineral - 50% de NPK + 50% de biofertilizante bovino), duas condutividades elétricas da água de irrigação (CEa – 0,3 e 4,0 dS m⁻¹), na presença e ausência de *Bacillus* sp. Para o experimento II utilizou-se um DIC, em esquema fatorial 4 x 2 x 2, com 5 repetições, onde os fatores foram: quatro volumes de inoculante com *Bacillus* sp. (V1: volume recomendado equivalente a 100 mL para cada 60.000 sementes; V2: dez vezes o volume recomendado; V3: vinte vezes o volume recomendado e V4: 30 vezes o volume recomendado), dois níveis de condutividade elétrica da água de irrigação (0,3 e 4,0 dS m⁻¹) e duas doses de adubação fosfatada (50 e 100% da recomendação). Aos 80 dias após a semeadura foram analisadas as seguintes variáveis: número de vagens por planta, massa da vagem, comprimento da vagem, diâmetro da vagem, número de grãos por vagem e produção. No experimento I, as formas de adubação orgânica e organomineral promoveram maior performance produtiva na cultura da soja irrigada com água de menor salinidade (0,3 dS m⁻¹). A adubação organomineral foi mais eficiente para a produção da soja, independentemente da inoculação com *Bacillus* sp. O estresse salino afetou negativamente os componentes de produção da soja sob todas as formas de adubação. No experimento II, a utilização de 100% da recomendação de adubação fosfatada associada à inoculação com *Bacillus* sp. promoveu atenuação do estresse salino. A fertilização com 50% da recomendação de adubação fosfatada afetou negativamente os componentes de produção da soja irrigada com água de menor e maior salinidade. O aumento do volume do inoculante até 30,0 mL associado a dose de 100% da adubação fosfatada proporciona maior número de vagens por planta, massa de vagens, número de grãos por vagem e produção da cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merr.; salinidade; microrganismos, nutrição de plantas; produção.

ABSTRACT

The use of *Bacillus* sp. mitigates salt stress and increases yield in soybean plants. In this context, the agronomic performance of soybeans cultivated under different forms of fertilization, inoculated with *Bacillus* sp and under saline stress was evaluated. Two experiments were conducted in the experimental area of the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusophony (UNILAB), Redenção, Ceará. The design used in the experiment was a particularly randomized design (DIC) in a 4 x 2 x 2 factorial scheme, with repetitions, corresponding to four and five forms of fertilization (F1 = 100% of the NPK recommendation; F2 = 50% of the NPK recommendation; F3 = 100% bovine biofertilizer F4 = organomineral - 50% NPK + 50% bovine biofertilizer), two electrical conductivities of irrigation water (ECa – 0.3 and 4.0 dS m⁻¹), in the presence and absence of *Bacillus* sp. For experiment II, a DIC was used, in a 4 x 2 x 2 factorial scheme, with 5 replications, where the factors were: four volumes of inoculant with *Bacillus* sp. (V1: recommended volume equivalent to 100 mL for every 60,000 seeds; V2: ten times the recommended volume; V3: twenty times the recommended volume and V4: 30 times the recommended volume), two levels of electrical conductivity of the control water (0.3 and 4.0 dS m⁻¹) and two doses of phosphate fertilizer (50 and 100% of the recommendation). At 80 days after sowing, the following variables were confirmed: number of pods per plant, pod mass, pod length, pod diameter, number of grains per pod and production. In experiment I, organic and organomineral forms of fertilizer promoted greater productive performance in soybean crops irrigated with lower salinity water (0.3 dS m⁻¹). Organomineral fertilizer was more efficient for soybean production, regardless of inoculation with *Bacillus* sp. Saline stress affected the levels of soybean production components under all forms of fertilization. In experiment II, the use of 100% of the recommended phosphate fertilizer associated with inoculation with *Bacillus* sp. promoted attenuation of salt stress. Fertilization with 50% of the recommended phosphate fertilizer affected the production levels of soybeans irrigated with water of lower and higher salinity. Increasing the inoculant volume up to 30.0 mL associated with a dose of 100% phosphate fertilizer provides a greater number of pods per plant, pod mass, number of grains per pod and soybean crop production.

Key words: *Glycine max* (L.) Merr.; salinity; microorganisms; plant nutrition; production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Local do experimento	28
Figura 2 –	Dados meteorológicos obtidos durante o período experimental	29
Figura 3 –	Preparo do substrato e semeadura	30
Figura 4 –	Biofertilizante bovino utilizado no experimento	32
Figura 5 –	Inoculação das sementes	33
Figura 6 –	Inoculação das sementes com diferentes volumes do inoculante	35
Figura 7 –	Colheita, mensuração de comprimento, diâmetro, e massa de vagens	37
Figura 8 –	Número de vagens por planta de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra	39
Figura 9 –	Número de vagens por planta de soja submetida a diferentes formas de adubação e inoculadas com <i>Bacillus</i> sp.	40
Figura 10 –	Massa de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra	41
Figura 11 –	Massa de vagens de soja submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp. e irrigadas com água salobra	42
Figura 12 –	Comprimento de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra	43
Figura 13 –	Diâmetro de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação (A) e irrigadas com água salobra (B)	44
Figura 14 –	Número de grãos por vagem de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra	45
Figura 15 –	Produção (g vaso ⁻¹) de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra	46
Figura 16 –	Produção (g vaso ⁻¹) de soja submetida a diferentes formas de adubação e inoculadas com <i>Bacillus</i> sp.	47
Figura 17 –	Número de vagens por planta de soja submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra	49
Figura 18 –	Massa de vagens de plantas de soja submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra	51

Figura 19 – Comprimento de vagem submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp. e adubação fosfatada – A – (50% e 100%), e irrigação com água salobra – B – (0,3 e 4,0 dS m ⁻¹)	52
Figura 20 – Diâmetro da vagem em plantas de soja submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra	53
Figura 21 – Número de grãos por vagem de soja submetida a irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m ⁻¹) inoculação com <i>Bacillus</i> sp. e adubação fosfatada (50% e 100%)	54
Figura 22 – Produção de plantas de soja submetida a inoculação com <i>Bacillus</i> sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atributos químicos do substrato antes da aplicação dos tratamentos	29
Tabela 2 –	Características químicas do biofertilizante bovino	32
Tabela 3 –	Adubação mineral, orgânica e organomineral	34
Tabela 4 –	Adubação mineral	36
Tabela 5 –	Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), massa de vagem (MV), comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade (PROD) em plantas de soja sob diferentes formas de adubação, condutividades elétricas da água de irrigação, na presença e na ausência de inoculação com <i>Bacillus</i> sp.	38
Tabela 6 –	Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), massa de vagem (MV), comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), número de grãos por vagem (NGV) e produção (PROD) em plantas de soja submetidas a inoculação com <i>Bacillus</i> sp. estresse salino e adubação fosfatada	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESES	16
3	OBJETIVOS	16
3.1	Objetivo Geral	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4	REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1	A cultura da soja	17
4.2	Manejo da adubação	18
4.2.1	<i>Adubação mineral na cultura da soja</i>	19
4.2.2	<i>Adubação orgânica na cultura da soja</i>	20
4.2.3	<i>Influência do P no desenvolvimento da soja</i>	21
4.3	Uso de microrganismos solubilizadores de P na cultura da soja	22
4.4	Irrigação com água salobra	23
4.4.1	<i>Irrigação com água salobra na cultura da soja</i>	25
4.5	Relações entre salinidade e fósforo sobre as plantas	25
4.5.1	<i>Interação entre salinidade e fósforo na cultura da soja</i>	26
5	MATERIAL E MÉTODOS	28
5.1	Caracterização da área experimental	28
5.2	Caracterização do substrato e condução dos experimentos	29
5.3	Manejo da irrigação e preparo da solução salina	31
5.4	Descrição dos experimentos e delineamento experimental	31
5.4.1	<i>Experimento I: Formas de Adubação</i>	31
5.4.2	<i>Experimento II: Volumes de Bacillus sp.</i>	34
5.5	Variáveis analisadas	36
5.6	Análise estatística	37
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1	Experimento I	38
6.1.1	<i>Número de vagens por planta</i>	39
6.1.2	<i>Massa da vagem</i>	40
6.1.3	<i>Comprimento da vagem</i>	42
6.1.4	<i>Diâmetro da vagem</i>	43

6.1.5	<i>Número de grãos por vagem</i>	45
6.1.6	<i>Produção</i>	46
6.2	Experimento II	48
6.2.1	<i>Número de vagens por planta</i>	49
6.2.2	<i>Massa da vagem</i>	50
6.2.3	<i>Comprimento da vagem</i>	51
6.2.4	<i>Diâmetro da vagem</i>	52
6.2.5	<i>Número de grãos por vagem</i>	53
6.2.6	<i>Produção</i>	55
7	CONCLUSÕES	57
7.1	Experimento I: Formas de Adubação	57
7.2	Experimento II: Volumes de <i>Bacillus</i> sp.	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A soja cultivada (*Glycine max* L.) é uma das culturas de maior importância econômica no Brasil, fazendo com que o país se destaque no cenário mundial como um dos líderes na produção e na exportação do grão (MARQUES *et al.*, 2022). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB 2023), a produção nacional de soja alcançou a marca de 154,6 milhões de toneladas na safra 2022/23, com uma produtividade média de 3.507 kg ha⁻¹, o que representa um aumento de 10,9% em relação ao recorde de produção alcançado na safra 2020/21.

O aumento na produção de grãos é devido principalmente ao manejo adequado da adubação via solo e da nutrição das plantas, como reportam Li *et al.* (2018). A obtenção de elevadas produtividades só é possível quando o aporte de nutrientes ao solo atende as quantidades requeridas pela cultura, visto que estes elementos desempenham funções diversas para o seu bom funcionamento. Caso o suprimento de nutrientes não atenda às necessidades da planta, a mesma apresentará sintomas de deficiência que acarretarão reduções na produtividade potencial da lavoura (SCHROEDER *et al.*, 2013; BAILEY-SERRES *et al.*, 2019).

Entre os macronutrientes mais exigidos pela cultura da soja, o fósforo (P) é o que apresenta maior demanda, porém é um dos nutrientes que apresenta maior entrave para o crescimento e o desenvolvimento vegetal, podendo interferir nos processos de fotossíntese, da respiração, do armazenamento e da transferência de energia, além de contribuir para a nodulação das raízes e a fixação de nitrogênio (N) atmosférico. Porém, em solos tropicais intemperizados, o P disponível para as plantas é muito baixo, pois a maior parte desse elemento encontra-se imobilizado nas formas insolúveis de fosfatos de cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al) ou ainda fortemente adsorvido a argilominerais.

Portanto, se faz necessária a adoção de técnicas alternativas para o aumento da disponibilidade desse macronutriente no solo, que sejam economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, como o uso de inoculantes contendo microrganismos solubilizadores de fósforo (NOVAIS; SMYTH, 1999; HAMMOND; WHITE, 2008; OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2022). Estudos que tratam da utilização de inoculação com microrganismos solubilizadores de fósforo vêm mostrando resultados promissores, como observado por Jain *et al.* (2016), onde isolados de bactérias do gênero *Bacillus* promoveram incrementos no peso fresco da parte aérea e da raiz em plantas de soja, além de gerar aumento no número de raízes laterais.

No entanto, é preciso associar o manejo da adubação a irrigação plena. Ou seja, a disponibilidade hídrica para a produção agrícola também representa um fator limitante, especialmente na região semiárida. A soja é produzida em praticamente todas as regiões do país e nos mais diversos tipos de clima, mas a ocorrência de escassez hídrica e de períodos de veranicos diminuem o potencial produtivo, sendo necessário o uso de irrigação para se obter altas produtividades, o que explica o crescimento considerável da área de soja irrigada no país (SILVA *et al.*, 2022).

No semiárido brasileiro, além da restrição hídrica, a produtividade das culturas pode ser afetada negativamente pelo excesso de sais no solo e na água utilizada para a irrigação. A salinidade afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas através da redução do potencial osmótico, resultando em distúrbios na absorção de água e de nutrientes e nas funções fisiológicas, além de exercer efeitos negativos pelo acúmulo de íons tóxicos específicos (SILVA, SILVA, KLAR, 2016; TAIZ *et al.*, 2017), ocasionando a redução da produtividade das culturas agrícolas. Dessa forma, a utilização de recursos hídricos que apresentem salinidade elevada deve ser feita de maneira racional e controlada.

2 HIPÓTESES

A irrigação com água salobra de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ reduz a produção da cultura da soja.

A aplicação de fertilizantes mineral, orgânico ou organomineral atenua o estresse salino na produção da cultura da soja.

A inoculação com bactérias do gênero *Bacillus sp* promove maior tolerância ao estresse salino na produção da soja adubada com fertilizantes mineral e orgânico.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho agronômico da cultura da soja cultivada sob diferentes formas de adubação, inoculada com *Bacillus sp* sob estresse salino.

3.2 Objetivos específicos

Verificar o efeito das adubações mineral, orgânica e organomineral associadas ao uso de inoculação com *Bacillus sp*. na produção da cultura da soja.

Analisar o efeito da adubação fosfata na produção da cultura da soja sob diferentes volumes de *Bacillus sp* inoculados via semente.

Identificar a forma de adubação e o volume de *Bacillus sp* que promove a maior atenuação do estresse salino e o maior desempenho agronômico da cultura da soja

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 A cultura da soja

A cultura da soja (*Glycine max* [L.] Merrill) tem como centro de origem a região do leste da Ásia, mais especificamente no nordeste da China, território também conhecido como Manchúria (HYMOWITZ, 1970). No Brasil, a produção de grãos de soja com fins comerciais teve início no Rio Grande do Sul, em 1935, sendo a Alemanha o primeiro país importador de soja brasileira. No ano de 1941, a estimativa da área de soja cultivada era de 702 ha, e a partir de 1950 a produção da leguminosa já se expandia para o Sudeste, Norte e Nordeste. Na mesma década foi instalada no país a primeira indústria de extração de óleo de soja com fins alimentícios, o que tornou a produção do grão ainda mais atrativa (SEDIYAMA, TEIXEIRA, BARROS, 2009; BEZERRA *et al.*, 2022).

Atualmente, o Brasil é um dos maiores produtores de soja e o maior exportador do grão, representando o maior volume de grãos colhido no país. A produção nacional de soja foi de 154,6 milhões de toneladas na safra 2022/23, sendo o estado do Mato Grosso o maior produtor nacional de soja, com uma produção estimada em 45,6 milhões de toneladas nesta mesma safra (CARVALHO *et al.*, 2023; CONAB, 2023).

Apesar de não ser reconhecida mundialmente como um alimento básico, como os cereais, a soja é uma das culturas mais importantes do mundo, principalmente por ser fonte de óleo e de proteína vegetal. O grão de soja apresenta altos teores de proteína cujo teor pode variar de 30 a 53%, com cultivares brasileiros apresentando em média 40% de proteína nos grãos. Nas sementes o teor de proteínas atinge em média 20%, variando entre 13% e 28%. Devido a essas características, a planta de soja é tida como uma importante fonte de matéria-prima, possibilitando seu uso como adubo verde ou como forragem para alimentação animal (BEZERRA *et al.*, 2022).

Essa leguminosa é uma planta herbácea anual e apresenta germinação epígea da semente, possui um ciclo de vida (emergência à maturação) que varia de 70 a 200 dias, com altura da inserção da primeira vagem de 10 a 20 cm e altura da planta variando de 30 a 250 cm. Possui hábito de crescimento ereto a prostrado e o tipo de crescimento pode ser determinado, semideterminado ou indeterminado a depender da variedade, com resistência das vagens a deiscência. As hastes e as vagens da planta manifestam cor cinza ou marrom em diversas intensidades e suas sementes apresentam boa qualidade visual e fisiológica, além de possuir

resistência a pragas, a doenças e a herbicidas (SEDIYAMA, TEIXEIRA, REIS, 2005; SEDIYAMA, TEIXEIRA, BARROS, 2009).

4.2 Manejo da adubação

O solo representa a principal fonte de água e de nutrientes às plantas, diferenciando a capacidade de fornecimento de acordo com suas características específicas e propriedades químicas, físicas e biológicas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2022). A aplicação de elementos minerais no solo para a nutrição das plantas é umas das técnicas básicas para a produção vegetal, tendo em vista que as plantas necessitam de tais elementos para o seu desenvolvimento pleno no solo ou qualquer outro tipo de substrato (BEZERRA, 2019).

Três critérios principais classificam um elemento como essencial às plantas. O primeiro critério expressa que na ausência de determinado elemento a planta não completa seu ciclo. O critério número dois afirma que para um elemento ser considerado essencial, ele não pode ser substituído por outro com propriedades semelhantes. O último critério de essencialidade a ser cumprido é que o elemento participe diretamente do metabolismo da planta (PRADO, 2020).

A adubação de uma cultura agrícola pode ser definida como o fornecimento, via fertilizante, de determinando elemento mineral essencial ao desenvolvimento vegetal. Tal prática é realizada de acordo com fatores diretamente relacionados ao solo, à planta e à eficiência do processo de adubação. Segundo Malavolta (2006), é preciso conhecer os aspectos relacionados a nutrição da cultura, como as quantidades exigidas de nutrientes bem como a época e o local de aplicação desses elementos, de forma que o seu fornecimento seja eficiente.

A avaliação da fertilidade do solo representa outra importante ferramenta no manejo da adubação das lavouras. Técnicas como diagnose visual e foliar, análise química do solo e avaliação do histórico de fertilidade da área de produção, além da avaliação do histórico de produtividade, são ferramentas utilizadas para o monitoramento e a avaliação de áreas agrícolas. O conhecimento do estado atual da fertilidade do solo permite a identificação de elementos deficientes ou ainda elementos e parâmetros que limitem a obtenção de elevadas produtividades, como valores baixos de pH e teores elevados de alumínio (MALAVOLTA, 2006; CÂMARA, 2022a;).

4.2.1 Adubação mineral na cultura da soja

Segundo dados fornecidos pela Embrapa (2013), a absorção de macronutrientes pela soja segue a seguinte ordem decrescente: nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), enxofre (S), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). No Brasil, cerca de 72% a 94% da demanda nutricional nitrogenada da soja é atendida pela fixação biológica de nitrogênio (FBN), sendo o restante fornecidos pelo solo, em especial pela matéria orgânica (HUNGRIA, CAMPO, MENDES, 2007). O fósforo (P) é um dos elementos mais limitantes nas lavouras e sua deficiência pode acarretar diversos efeitos negativos, como interferência nos processos fotossintéticos e de respiração, além de contribuir significativamente para a FBN, o que faz do fósforo um elemento necessário desde a germinação da cultura da soja (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Ainda que a maioria dos solos apresente elevado teor de fósforo, a quantidade deste nutriente que está prontamente disponível às plantas é muito baixa, especialmente em solos tropicais intemperizados, o que torna o P um elemento limitante para o crescimento e o desenvolvimento das culturas. O P encontra-se no solo nas formas orgânicas e inorgânicas, diferenciando-se principalmente pelo grau de estabilidade ou solubilidade, apresentando diferentes disponibilidades a absorção das plantas (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2022).

A maior parte do P encontrado nos solos brasileiros está imobilizado nas formas insolúveis de fosfatos de cálcio (Ca), de ferro (Fe) e de alumínio (Al) ou ainda fortemente adsorvido a argilominerais, portanto, indisponível às plantas. Dessa maneira, a grande maioria dos solos agrícolas precisa de suplementação de P por meio de fertilizantes químicos sintéticos para que as demandas das culturas sejam atingidas. Pesquisas estimam que aproximadamente 70% do P que é aplicado na forma de fertilizantes minerais ou orgânicos permanece acumulado no solo em formas de difícil absorção e aproveitamento pelas plantas (NOVAIS, SMYTH, 1999; PAVINATO *et al.*, 2020).

Devido à baixa disponibilidade deste nutriente, o consumo elevado de adubos fosfatados visando o suprimento adequado às plantas pode trazer prejuízos ao ambiente, além de elevar os custos de produção. Desse modo, alternativas quanto a disponibilização deste elemento devem ser aplicadas visando a garantia econômica e a preservação ambiental (RAWAT *et al.*, 2021).

4.2.2 Adubação orgânica na cultura da soja

A adubação orgânica caracteriza-se pela utilização de fontes orgânicas (substâncias químicas com ligação C-H) para o suprimento de nutrientes às plantas (BRASIL, 2020). Dentre os materiais utilizados como fertilizante orgânico, destacam-se os excrementos de animais, sejam eles sólidos e/ou líquidos, resíduos orgânicos de indústrias, compostos orgânicos provenientes de compostagem ou vermicompostagem, lodo de esgoto e biofertilizantes. Esses produtos devem conter nutrientes ou agentes orgânicos, serem isentos de contaminantes, devem ser capazes de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando os valores de produtividade sem ter em conta seu valor hormonal ou estimulante, norteados pela instrução normativa de N° 61, de 8 de julho de 2020 (BRASIL, 2020).

Uma das fontes orgânicas que vem sendo utilizada para fertilizar o solo e nutrir a planta é o biofertilizante de origem animal. Morzelle *et al.* (2017) definem biofertilizantes como produtos que em sua composição possuem sais minerais e agentes orgânicos, com ação positiva direta ou indireta sobre as espécies vegetais cultivadas, que refletem principalmente em incrementos na produtividade. Os biofertilizantes apresentam a capacidade de maximizar a assimilação de nutrientes pelas plantas, devido a incrementos na taxa fotossintética ou nas regulações hormonais (EVANS, 2013).

Os biofertilizantes vêm sendo utilizados como estratégia para o aumento das produtividades das lavouras, tanto em agricultura intensiva como extensiva (PRIETO *et al.*, 2017). Desse modo, pesquisas com biofertilizantes em culturas de interesse agrônômico vêm recebendo destaque no cenário agrícola, objetivando comprovar seu efeito positivo no desempenho dos cultivos.

Prieto *et al.* (2017), avaliando o efeito da utilização de biofertilizante no crescimento e na produtividade da soja, observaram que doses de 320 L ha⁻¹, no estágio V1, proporcionaram incrementos na produtividade da cultura. Galbiatti *et al.* (2011), em estudo que avaliou o desenvolvimento do feijoeiro sob uso de biofertilizante e de adubação mineral, constataram que a massa da matéria seca acumulada nas folhas, no caule, no pecíolo e na área foliar foram superiores nos tratamentos que receberam biofertilizante. Os mesmos autores afirmaram que a melhor produtividade obtida foi a dos tratamentos que receberam o biofertilizante produzido a partir de efluente de biodigestor. Souza *et al.* (2019) avaliaram a produtividade de diferentes genótipos de amendoim submetidos a diferentes formas de adubação e seus resultados demonstraram que as adubações orgânicas com cinza vegetal e com

biofertilizante bovino alcançaram elevadas produtividades, assemelhando-se à produtividade obtida com a adubação mineral convencional, demonstrando a eficiência da adubação orgânica para a cultura.

Em áreas extensas, a aplicação de fertilizantes orgânicos apresenta certas limitações, especialmente com relação à logística de aplicação. Compostos orgânicos geralmente apresentam teores reduzidos de nutrientes, e como consequência se faz necessária a aplicação de grandes quantidades de adubos orgânicos para que as demandas nutricionais da cultura sejam atingidas (CRUSCIOL *et al.*, 2020). Dentre as alternativas disponíveis, a aplicação de adubos organominerais vem sendo amplamente utilizada por garantir a redução de custos com a adubação, além de melhorar a qualidade do solo, minimizar os impactos ambientais e contribuir para o uso sustentável de recursos na agropecuária. Os fertilizantes organominerais também apresentam a vantagem de fornecer os nutrientes de forma gradual, diminuindo assim as perdas no ambiente (SONG *et al.*, 2017; MOTA *et al.*, 2018; LIN *et al.*, 2019).

4.2.3 Influência do P no desenvolvimento da soja

O fósforo (P) é um dos elementos essenciais que apresenta grande limitação para o crescimento e o desenvolvimento vegetal e a deficiência deste nutriente pode ocasionar atrasos no crescimento além de interferir nos processos de fotossíntese, de respiração, de armazenamento e transferência de energia, de divisão celular e de crescimento das células vegetais. Na produção de soja, o fósforo contribui ativamente no processo de fixação do nitrogênio (N) atmosférico, além de ser essencial para o metabolismo energético. Devido ao seu impacto em diferentes processos vitais, o fornecimento de P torna-se necessário desde a germinação, principalmente em espécies de ciclo curto, como a soja (NOVAIS; SMYTH, 1999; HAMMOND; WHITE, 2008; OLIVEIRA-PAIVA *et al.* 2022).

Segundo Ferguson *et al.* (1987), a resposta à adubação fosfatada na cultura da soja depende, dentre outros fatores, do teor de fósforo disponível no solo, bem como da fertilização com valores entre 300-450 mg dm⁻³ de P. Alguns autores sugerem que a qualidade fisiológica de sementes de soja e possíveis incrementos na produtividade de grãos da geração seguinte, estão atrelados a disponibilidade de P (PESKE; BAUDET; PESKE, 2009; MARIN *et al.* 2015). Li *et al.* (2017) afirmam ainda que as características morfológicas das raízes da soja também são influenciadas pelo teor de P do solo. A concentração de proteínas em grãos de soja também é influenciada pela quantidade de P disponível, como mostram Taliman *et al.* (2019) ao

avaliarem o efeito de adubação fosfatada no crescimento e desenvolvimento da soja, onde maiores doses de P proporcionaram incrementos nos teores de proteína nos grãos.

Tian *et al.* (2022), ao avaliarem o efeito da adubação fosfatada na rizosfera de plantas de soja e na dinâmica do fósforo, observaram acidificação significativa da rizosfera e aumento na absorção de P e acúmulo de biomassa, como resposta a adubação fosfatada. Os autores afirmaram que o P indisponível pode ser transformado em frações lábeis devido a acidificação induzida pelas raízes. Também foram observadas mudanças na composição da comunidade bacteriana devido mudanças no pH e no conteúdo de Ca induzidos pela adubação fosfatada.

4.3 Uso de microrganismos solubilizadores de P na cultura da soja

Segundo Câmara (2022b), a inoculação das sementes de soja refere-se a uma operação agrícola realizada de forma manual ou mecanizada, antes ou no momento da semeadura, que consiste na aplicação de substâncias biológicas nas sementes ou no sulco de semeadura, objetivando o contato físico entre o veículo (inoculante) das bactérias responsáveis pela fixação de N atmosférico (rizóbios) e a planta hospedeira, neste caso, as sementes de soja. Os inoculantes podem apresentar forma sólida (inoculantes turfosos) ou fluida (inoculante líquido), e disponibilizados de diferentes formas.

Entretanto, devido à grande relevância da inoculação e a crescente demanda por fertilizantes, diversas pesquisas têm sido conduzidas a fim de se entender melhor a dinâmica deste processo, além de buscar novos microrganismos e genes que possibilitem a ampliação do manejo. Desse modo, outros microrganismos vêm sendo utilizados para maximização na absorção de nutrientes, em especial os microrganismos solubilizadores de P. Microrganismos solubilizadores de fosfato são um grupo de organismos composto por actinobactérias, bactérias, fungos, micorrizas arbusculares e cianobactérias capazes de hidrolisar o fósforo orgânico e inorgânico presente no solo em formas solúveis, ou seja, prontamente absorvíveis pelas plantas (KALAYU, 2019; RAWAT *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2023).

A solubilização de P pelos microrganismos acontece por três vias principais e incluem: (1) liberação de compostos ou complexos de dissolução mineral, como: ácidos orgânicos, sideróforos, prótons, íons hidroxila, CO₂; (2) liberação de enzimas extracelulares que atuam na mineralização bioquímica de P e (3) liberação de P durante a degradação do substrato, ou seja, um processo de mineralização biológica de P. Quando há presença de carbono lábil no solo, os microrganismos solubilizadores de P servem como dreno para o

fósforo, imobilizando-o rapidamente, mesmo em solos que apresentam baixos teores do elemento (MCGILL; COLE, 1981; SHARMA *et al.*, 2013; HASANUZZAMAN *et al.*, 2022).

Os inoculantes microbianos solubilizadores de P ganharam destaque nas últimas três décadas, com diversos produtos comerciais no mercado mundial. Dentre as opções disponíveis no Brasil, têm-se o inoculante BiomaPhos, que foi indicado primeiramente para a cultura do milho. Entretanto, com intuito de recomendação agrícola e expansão de seu uso, o inoculante foi utilizado em diversos experimentos com a cultura da soja. O inoculante contém as estirpes *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119), bactérias solubilizadoras de fosfato com capacidade de elevar a eficiência do uso de P para as plantas, podendo gerar incrementos na produtividade e a diminuição das doses de fertilizantes fosfatados. As duas estirpes supracitadas foram isoladas em diferentes áreas agrícolas do país, onde há predominância de cultivos de cereais (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2009; ABREU *et al.*, 2017; OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2022).

Pesquisas realizadas por Oliveira-Paiva *et al.* (2020) já demonstraram o efeito positivo do inoculante em lavouras de soja. A pesquisa foi realizada em 181 unidades de observação em diferentes regiões produtoras de soja no Brasil e os resultados demonstram que a dosagem de 100 mL ha⁻¹ do inoculante gerou incrementos na produção em todas as unidades avaliadas. O ganho médio advindo da aplicação do inoculante variou de 0,3% a 18,5% (0,1 a 11,5 sc ha⁻¹), com média de ganhos de 6,3% (4,3 sc ha⁻¹). Os resultados demonstraram ainda que na grande maioria dos locais avaliados, o ganho financeiro com a inoculação das sementes foi superior ao custo de aplicação do bioproduto.

Estudos realizados por Ramesh *et al.* (2014) e Arif *et al.* (2017) demonstraram que a inoculação com *Bacillus aryabhattai* e *B. cereus*, respectivamente, melhoraram a biodisponibilidade de P para as plantas de soja avaliadas. El-Esawi *et al.* (2018), ao avaliarem o desempenho da cultura da soja inoculada com *Bacillus firmus* (SW5) e submetida a estresse salino, observaram que além de gerar aumento significativo no crescimento das plantas, a inoculação promoveu maior tolerância ao excesso de sais. Saffique *et al.* (2023), ao avaliarem a inoculação da cultura da soja com *Bacillus pumilus* SH-9, observaram incremento de 20% no crescimento e no acúmulo de biomassa mesmo em condições de estresse hídrico, devido, dentre outros efeitos, à produção de sideróforos e a solubilização de fosfato.

4.4 Irrigação com água salobra

Segundo Bernardo *et al.* (2019), mais da metade da população mundial consome

produtos provenientes da agricultura irrigada. O crescimento constante da população mundial exige que a agricultura se torne cada vez mais competitiva, tecnificada e sustentável, possibilitando a produção de alimentos com elevada qualidade e em maior quantidade, com impacto mínimo ao meio ambiente. A área irrigada de soja no Brasil era pouco expressiva no passado, devido principalmente ao fato de que as lavouras desse grão eram concentradas em regiões onde as chuvas são distribuídas regularmente durante o ano ou a semeadura era feita de certo modo a coincidir com o período chuvoso. Além disso, o alto custo para implantação de sistemas de irrigação representa outra barreira para a irrigação dos cultivos de soja (SILVA *et al.*, 2022).

Segundo Silva *et al.* (2022), atualmente a soja é cultivada em praticamente todas as regiões brasileiras e em diferentes épocas do ano, com os mais diversos tipos de clima. Dessa maneira, a disponibilidade hídrica durante os estádios de desenvolvimento da soja representa um fator crítico para a obtenção de elevadas produtividades. Nos casos de escassez hídrica e períodos de veranicos, o potencial produtivo da cultura é negativamente afetado. Mesmo nas regiões mais produtivas, onde há distribuição homogênea das chuvas durante o ano, a irrigação se faz necessária de forma complementar para que sejam alcançadas elevadas produtividades. Isso explica o crescente avanço da área irrigada de soja no Brasil.

A escassez de recursos hídricos de boa qualidade para a irrigação representa um dos maiores desafios da agricultura atual, o que induz muitos produtores a utilizarem recursos hídricos de qualidade inferior para a irrigação de seus cultivos (DIAS *et al.*, 2016). O semiárido brasileiro apresenta condições edafoclimáticas que favorecem a salinização dos solos e dos reservatórios subterrâneos, onde as taxas de evapotranspiração são maiores que as de precipitação, dessa forma, há um acúmulo de sais na superfície dos solos e nos reservatórios (PAIVA *et al.*, 2016).

Devido à instabilidade climática atual, a utilização de águas salobras acaba sendo a única alternativa para que o produtor assegure a produção durante o período de estiagem, o que pode implicar em sérios danos ao desenvolvimento das culturas. Isso porque o estresse salino pode induzir o fechamento dos estômatos e a redução na transpiração (DIAS *et al.*, 2017), além disso, pode acometer o vegetal desde a fase de germinação até sua produção final (PAIVA *et al.*, 2016). Ressalta-se que, a sensibilidade e a tolerância das culturas aos efeitos da escassez hídrica e da salinidade podem variar entre espécies e entre cultivares de uma mesma espécie, como também dependem das condições climáticas da região, da fase fenológica, do tipo de solo e do método de irrigação (DIAS *et al.*, 2016).

4.4.1 Irrigação com água salobra na cultura da soja

Estresses abióticos representam grandes entraves para a produção agrícola mundial, sendo a salinidade um dos estresses com maior importância tanto para o crescimento e desenvolvimento vegetal como para a produtividade das lavouras (PAVLI *et al.*, 2021). Ressalta-se que as espécies vegetais variam em seus mecanismos para lidar com o estresse salino, neste sentido, a cultura da soja é considerada moderadamente tolerante a salinidade segundo a classificação proposta por Ayers e Westcot (1999) com valor de salinidade limiar correspondente a $3,3 \text{ dS m}^{-1}$. Tal fato foi corroborado por Sousa *et al.* (2018), ao observarem reduções na fotossíntese, na condutância estomática e na transpiração de plantas de soja submetidas a irrigação com água de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$.

Em estudo realizado por Otie *et al.* (2021) foi observado que a produtividade de grãos de soja foi negativamente afetada pela salinidade da água de irrigação. Os autores afirmaram que tal redução ocorreu principalmente pela alta concentração de Na^+ no tecido foliar, que acarretou em senescência prematura das folhas o que diminui o suprimento de fotoassimilados, além de causar o abortamento de flores e de vagens em desenvolvimento.

A salinidade também pode afetar negativamente a germinação e o crescimento inicial da cultura da soja, como observado por Pavli *et al.* (2021), ao avaliarem o efeito da salinidade na germinação de diferentes genótipos de soja, onde houve redução significativa na germinação e no crescimento inicial com o aumento da salinidade da água utilizada para a irrigação. Reduções na germinação em resposta ao estresse salino ocorrem devido aos efeitos da acumulação de íons tóxicos que interferem na absorção de água pela semente, causando citotoxicidade e reduções na divisão celular prejudicando o desenvolvimento inicial (TAIZ *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019).

4.5 Relações entre salinidade e fósforo sobre as plantas

A salinidade e a deficiência de P são os principais estresses abióticos em regiões afetadas pelo excesso de sais e podem gerar efeitos negativos em quase todos os aspectos do crescimento e do desenvolvimento vegetal, bem como no metabolismo das plantas. Uma das características de solos afetados por sais é a baixa atividade iônica de nutrientes (macronutrientes como N, P, K, Mg e Ca, e micronutrientes como Fe, Mn, Zn e Cu), devido principalmente a proporções extremas de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, Na^+/K^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, e $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ na solução do solo, afetando a absorção de elementos e o crescimento vegetal. Em condições salinas, a

disponibilidade de P é reduzida em grande parte pelo efeito da força iônica, uma maior capacidade de sorção por partículas do solo e a baixa solubilidade de minerais em solos salinos (BIDALIA *et al.*, 2019; MOKRANI *et al.* 2020; DEY *et al.*, 2021).

A interação e absorção de fósforo na nutrição de plantas em ambientes salinos é muito complexa e contraditória, sendo influenciada diretamente pela espécie vegetal, pelo estágio de crescimento das plantas e pela composição e níveis de salinidade e dos teores totais de P disponíveis no substrato (DEY *et al.*, 2021). Alguns estudos têm sido desenvolvidos a fim de se avaliar a interação entre salinidade e adubação fosfatada, com a hipótese de que o aumento da dose de P pode mitigar o estresse salino (RIBEIRO *et al.*, 2022). Lacerda *et al.* (2006) observaram que o sorgo forrageiro submetido a diferentes concentrações de fósforo sob estresse salino apresentou incremento nos teores foliares de P em resposta ao aumento de fósforo na solução nutritiva, independentemente do nível de salinidade, constatando a existência de interação entre salinidade e fósforo para esse experimento.

Oliveira *et al.* (2010), ao avaliarem a interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete, observaram que doses crescentes de fósforo reduziram de forma significativa a sensibilidade da cultura irrigada com água de até 3,5 dS m⁻¹. Os autores afirmaram ainda que a resposta à adubação fosfatada pela cultura do rabanete foi mais expressiva nas condições de maior estresse salino. Estudo conduzido por Ribeiro *et al.* (2022) demonstrou que a dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ atenuou os efeitos do estresse salino contínuo na produção de pigmentos clorofilados na cultura do feijão-caupi.

Sá *et al.* (2021) observaram que o uso de 60% da dose recomendada de fósforo (36 kg ha⁻¹) para o feijão-caupi promoveu incremento na homeostase iônica da cultura, com aumento nos teores de potássio e de cálcio, entretanto não reduziu o efeito deletério da salinidade para o acúmulo de biomassa. Resultados obtidos por Guilherme *et al.* (2021), ao avaliarem irrigação com água salina e adubação fosfatada na cultura do amendoim, demonstraram que a irrigação com água de 4,0 dS m⁻¹ na fase de frutificação e de formação de vagem associada a adubação fosfatada com 100% da dose recomendada (6,2 g vaso⁻¹) proporcionou maior produtividade.

4.5.1 Interação entre salinidade e fósforo na cultura da soja

A salinidade tem sido um fator limitante para o crescimento de diversas leguminosas, dentre elas a soja (ADHIKARI *et al.*, 2020). Em regiões tropicais onde a soja é amplamente produzida, a baixa disponibilidade de fósforo também representa outro fator que

pode gerar prejuízos para a produção do grão e para o ambiente, devido principalmente a aplicação excessiva de fertilizantes fosfatados e o possível esgotamento dos recursos (RAN *et al.*, 2024). Diversos autores apontam que o suprimento correto de P, de forma convencional ou através de biocompostos, pode atuar de forma a mitigar o estresse salino na cultura da soja (EL-ESAWI *et al.*, 2018; ILANGUMARAN *et al.*, 2021; TORRES *et al.*, 2024).

Adhikari *et al.* (2020) observaram que a utilização de *Pseudomonas koreensis* MU2 promoveu maior tolerância ao estresse salino em plantas de soja, devido, dentre outros efeitos, à maior absorção e o uso eficiente do P. Os resultados também demonstram um incremento de 15% no teor de prolina nas plantas submetidas a adubação fosfatada de forma isolada, mesmo em condições de estresse salino. Miranda *et al.* (2013), em experimento que avaliou o crescimento da cultura da soja sob estresse salino e adubação fosfatada, demonstraram que a adubação gerou incrementos no crescimento das plantas submetidas a salinidade, entretanto não houve redução significativa dos efeitos deletérios causados pelo excesso de sais.

Resultados obtidos por Khan *et al.* (2019) mostraram que a solubilização de fosfato pela ação de microrganismos, dentre outros fatores, contribui para uma maior tolerância ao estresse salino em plantas de soja. Tais microrganismos podem influenciar o crescimento e o desenvolvimento vegetal de forma positiva, através da produção de substâncias benéficas e incrementos na absorção de nutrientes, em especial o fósforo, podendo tornar a planta inoculada mais tolerante a estresses abióticos como a salinidade (KADMIRI *et al.*, 2018).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em estufa telada com 50% de sombreamento, na Unidade de Produção de Mudas Auroras (UPMA), pertencente a Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Campus Auroras, localizada no município de Redenção, Ceará, Brasil. A cidade encontra-se na latitude de $04^{\circ}14'53''\text{S}$, e longitude de $38^{\circ}45'100''\text{W}$ e a uma altitude de 240 m acima do nível do mar. Segundo classificação proposta por Koeppen (1923), o clima da região é do tipo Aw' , sendo caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e do outono.

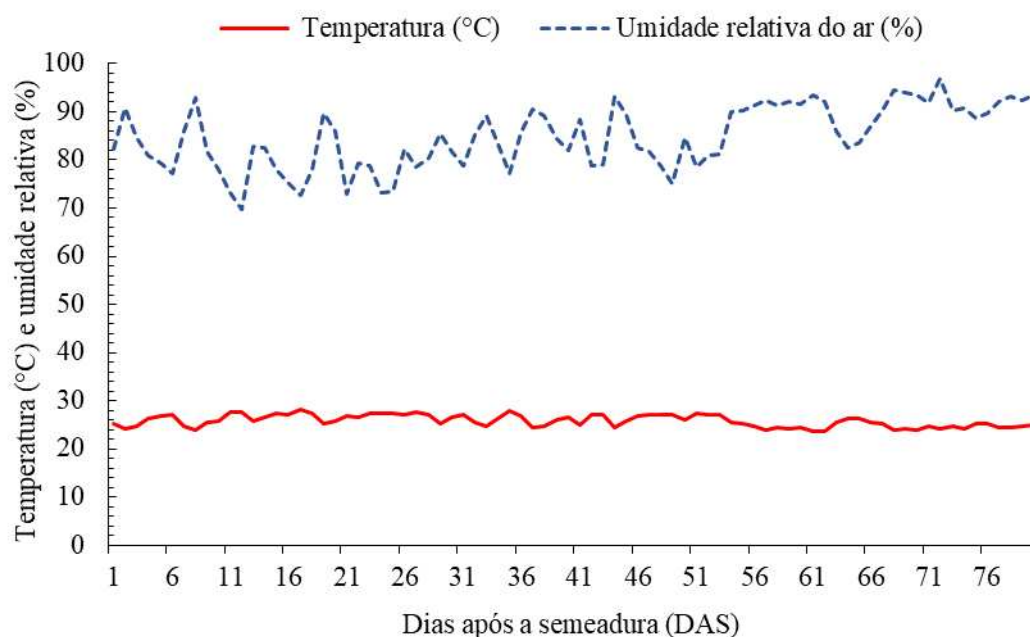
Figura 1 – Local do experimento.



Fonte: Autor (2023)

Os dados médios diários de temperatura e umidade relativa do ar obtidos durante o período do experimento são apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Dados meteorológicos obtidos durante o período experimental.



Fonte: Autor (2023)

5.2 Caracterização do substrato e condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 9 dm³ e o substrato utilizado foi composto por uma mistura de areia, arisco e esterco bovino na proporção de 5:4:1, respectivamente (Figura 3A e 3B). Uma amostra do substrato foi coletada após a preparação antes do início dos experimentos e enviada ao Laboratório de Análises de Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), para determinação dos atributos químicos, conforme observa-se na Tabela 1, seguindo-se a metodologia descrita por Teixeira *et al.* (2017).

Tabela 1 – Atributos químicos do substrato antes da aplicação dos tratamentos

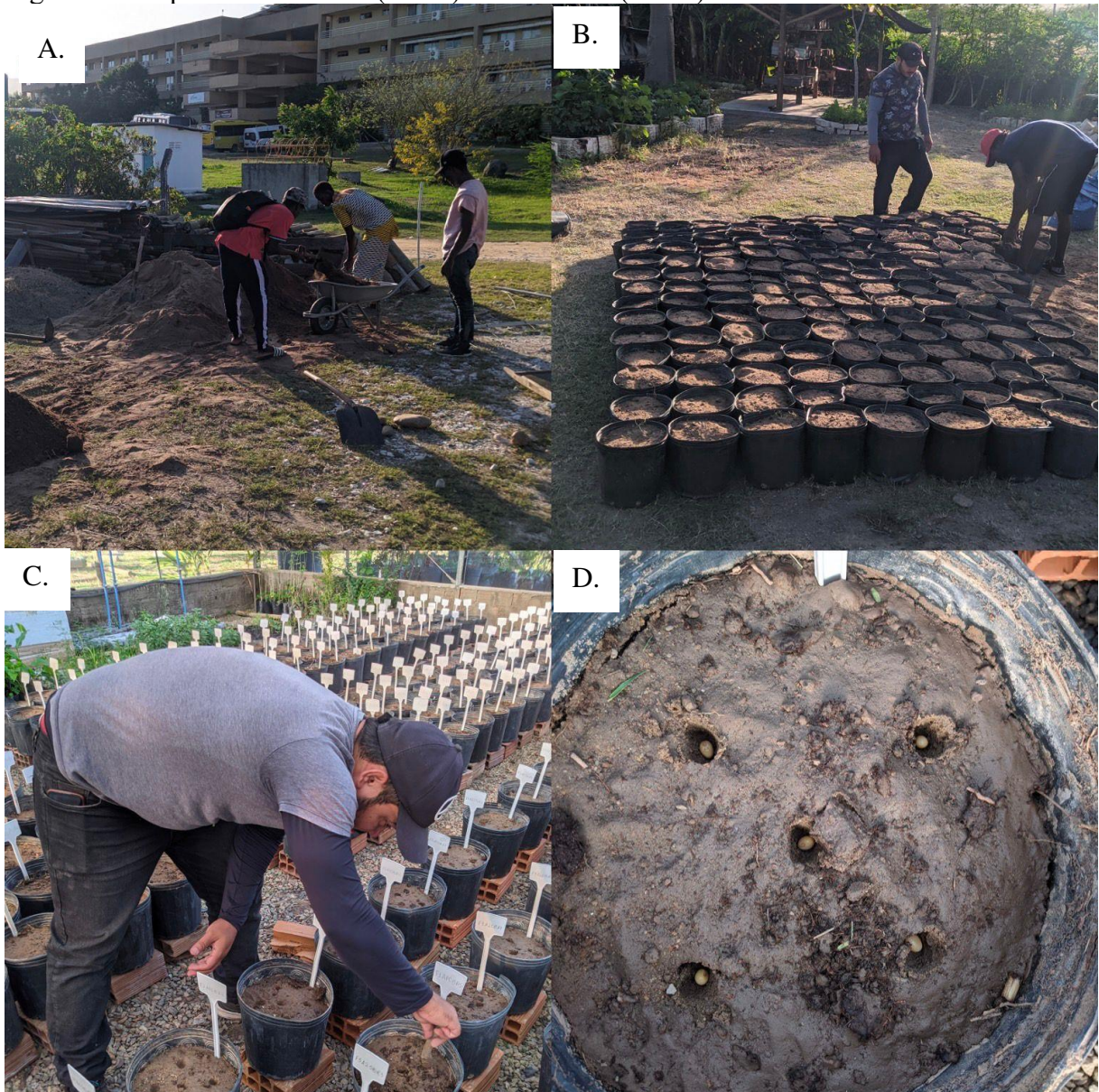
Atributos químicos do substrato									
MO ¹	N	P	Mg	K	Ca	Na	pH	CEes ²	PST ³
g kg ⁻¹							água	dS m ⁻¹	(%)
0,8	0,21	0,068	0,03	0,28	0,07	0,11	6,5	0,37	3,4

Fonte: Autor (2023). ¹MO – Matéria orgânica; ²CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação; ³PST – Porcentagem de sódio trocável.

Para a realização dos experimentos foram utilizadas sementes da variedade de soja “Brasmax Olimpo 80i82 RSF IPRO”. É uma variedade pertencente ao grupo de maturação 8.0, com ciclo de vida variando de 108 a 125 dias. A altura das plantas é estimada em 0,9 m e possui

de média a alta exigência em fertilidade do solo. É uma variedade que apresenta hábito de crescimento indeterminado, peso de mil sementes de 190 g e baixo índice de ramificação. Apresenta alto potencial produtivo, estabilidade produtiva, ampla região de adaptação e excelente desenvolvimento inicial. Foram semeadas cinco sementes de soja por vaso (Figura 3 C e 3D) e após 10 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste mantendo-se apenas duas plantas por vaso, em ambos os experimentos.

Figura 3 – Preparo do substrato (A e B) e semeadura (C e D).



Fonte: Autor (2023)

5.3 Manejo da irrigação e preparo da solução salina

A irrigação ocorreu de forma manual e seguiu um turno de rega diário com fração de lixiviação correspondente a 15% (AYERS & WESTCOT, 1999), de acordo com a metodologia do lisímetro de drenagem (BERNARDO et al., 2019), mantendo-se o substrato na capacidade de campo durante todo o período experimental. O volume de água aplicado nas irrigações foi determinado através da seguinte equação (Equação 1):

$$VI = \frac{(Vp - Vd)}{(1 - LF)} \quad (1)$$

Em que, VI – volume de água a ser aplicado na irrigação (mL); Vp – volume de água aplicado na irrigação anterior (mL); Vd – volume de água drenado (mL); e, LF – fração de lixiviação de 0,15.

A solução salina utilizada na irrigação foi preparada através da diluição dos sais NaCl, CaCl₂·2H₂O e MgCl₂·6H₂O, na proporção de 7:2:1 respectivamente, obedecendo a relação entre a condutividade elétrica da água (CEa) e sua concentração (mmol L⁻¹ = CE x 10), de acordo com a metodologia proposta por Rhoades *et al.* (2000). A irrigação com água salobra teve início aos 10 dias após a semeadura (DAS) após o estabelecimento das plantas.

5.4 Descrição dos experimentos e delineamento experimental

5.4.1 Experimento I: Formas de adubação

Para o Experimento I, adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 x 2 com 5 repetições, referente a quatro formas de adubação (F1: adubação com 100% da recomendação de NPK; F2: adubação com 50% da recomendação de NPK; F3: adubação com 100% da recomendação através de biofertilizante bovino; F4: adubação organomineral – 50% mineral e 50% orgânica com biofertilizante bovino); dois níveis de salinidade (condutividade elétrica) da água utilizada para irrigação (A1: 0,3 dS m⁻¹ e A2: 4,0 dS m⁻¹) na presença e na ausência de inoculante contendo *Bacillus* sp.

O biofertilizante utilizado no experimento foi preparado através da mistura de esterco bovino fresco e água na proporção de 1:5, respectivamente (Figura 4). A mistura foi

armazenada em recipientes com capacidade volumétrica de 100L e passou por processo de fermentação aeróbica por 20 dias (SILVA *et al.*, 2021).

Figura 4 – Biofertilizante bovino utilizado no experimento



Fonte: Autor (2023)

Na Tabela 2 é possível observar os resultados da análise química do biofertilizante, de acordo com a metodologia proposta por Teixeira *et al.* (2017).

Tabela 2 – Características químicas do biofertilizante bovino

Características químicas do biofertilizante								
N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
----- g L ⁻¹ -----				----- mg L ⁻¹ -----				
0,82	1,4	1,0	2,5	0,75	142	1,92	68	14,72

Fonte: Autor (2023)

A inoculação foi realizada via semente no momento da semeadura, com o produto comercial BiomaPhos[®] (Figura 5). O produto contém uma mistura das cepas bacterianas CNPMS B119 (*Bacillus megatterium*) e CNPMS B2084 (*B. subtilis*). Foi utilizado um bastão de vidro para promover a homogeneização do produto e garantir que toda superfície das sementes estivesse em contato direto com o inoculante. Foi utilizado o volume recomendado pelo fabricante, que corresponde a 100 mL para cada 60.000 sementes de soja ou 100 mL ha⁻¹.

Figura 5 – Inoculação das sementes.



Fonte: Autor (2023)

A adubação mineral foi realizada seguindo as recomendações da Embrapa (2013) para a cultura da soja, correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de

K₂O. Para fins de adubação em vaso foi considerado um stand de 10.000 plantas ha⁻¹, onde as plantas fertilizadas de forma 100% mineral (tratamento F1) receberam 2,0 g de N, 8,0 g de P₂O₅ e 6,0 g de K₂O, através das fontes ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. O tratamento F2 (50% da dose recomendada) utilizou 1,0 g de N, 4,0 g de P₂O₅ e 3,0 g de K₂O. Para o tratamento F4 (organomineral) 50% da demanda nutricional foi fornecida através de 1,0 g de N, 4,0 g de P₂O₅ e 3,0 g de K₂O, e 50% através de adubação orgânica com biofertilizante bovino. O tratamento F3 recebeu adubação 100% orgânica através de biofertilizante bovino.

Aos 25 DAS foi iniciada a aplicação de biofertilizante nos tratamentos F3 (adubação 100% orgânica) e F4 (adubação organomineral). Foram aplicadas doses de 500 mL de biofertilizante por planta até que a demanda nutricional da cultura fosse atingida, totalizando 6,0 litros para o tratamento F3 e 3,0 litros para o tratamento F4. É possível observar na Tabela 3 a relação dos fertilizantes aplicados em cada tratamento.

Tabela 3 – Adubação mineral, orgânica e organomineral.

Tratamentos	Quantidades aplicadas			
	N (g planta ⁻¹)	P (g planta ⁻¹)	K (g planta ⁻¹)	Biofertilizante (L planta ⁻¹)
F1	2,0	8,0	6,0	---
F2	1,0	4,0	3,0	---
F3	---	---	---	6,0
F4	1,0	4,0	3,0	3,0

Fonte: Autor (2023)

5.4.2 Experimento II: Volumes de *Bacillus* sp.

Para o experimento II, adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2 x 2 com 5 repetições, onde os fatores foram: quatro volumes de inoculante com *Bacillus* sp. (V1: volume recomendado equivalente a 100 mL para cada 60.000 sementes; V2: dez vezes o volume recomendado; V3: vinte vezes o volume recomendado; V4: 30 vezes o volume recomendado), dois níveis de salinidade (condutividade elétrica) da água de irrigação (0,3 e 4,0 dS m⁻¹) e duas doses de adubação fosfatada (50 e 100% da recomendação).

Para a inoculação das sementes foi utilizado o produto comercial BiomaPhos[®], que contém as estirpes *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *B. megaterium* (CNPMS B119), bactérias solubilizadoras de fosfato. Foram utilizados quatro volumes do produto para a

inoculação das sementes: V1: volume recomendado pelo fabricante equivalente a 100 mL ha⁻¹ ou 100 mL para cada 60.000 sementes de soja; V2: dez vezes o volume recomendado; V3: vinte vezes o volume recomendado; V4: trinta vezes o volume recomendado. A aplicação do inoculante seguiu todas as recomendações técnicas do fabricante, sendo feita via semente antes da semeadura. Foi utilizado um bastão de vidro para promover a homogeneização do produto e garantir que toda superfície das sementes estivesse em contato direto com o inoculante (Figura 6).

Figura 6 – Inoculação das sementes com diferentes volumes do inoculante.



Fonte: Autor (2023)

Seguindo a metodologia do Experimento I, a adubação mineral foi realizada seguindo as recomendações da Embrapa (2013) para a cultura da soja, correspondendo a 20 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. Para fins de adubação em vaso foi considerado um stand de 10.000 plantas ha⁻¹, onde os tratamentos com 100% de adubação fosfatada

receberam no total 2,0 g de N, 8,0 g de P₂O₅ e 6,0 g de K₂O. Os tratamentos com 50% de adubação fosfatada receberam no total 2,0 g de N, 4,0 g de P₂O₅ e 6,0 g de K₂O (Tabela 4).

Tabela 4. Adubação mineral aplicada no ensaio experimental.

Tratamentos	Quantidades aplicadas		
	N (g planta ⁻¹)	P (g planta ⁻¹)	K (g planta ⁻¹)
100%	2,0	8,0	6,0
50%	2,0	4,0	6,0

Fonte: Autor (2023)

5.5 Variáveis analisadas nos experimentos

Aos 80 DAS foram avaliados os seguintes componentes de produção simultaneamente em ambos os experimentos (Figura 7):

- Número de vagens por planta (NVP): foi obtido pelo somatório das vagens da haste principal e ramos secundários, sendo considerada cheia a vagem com no mínimo um grão ocupando um lóculo;
- Massa das vagens (MV): através da pesagem das vagens de cada parcela experimental;
- Comprimento da vagem (CV): com o auxílio de uma régua graduada em centímetros;
- Diâmetro da vagem (DV): com a utilização de um paquímetro digital;
- Número de grãos por vagem (NGV): mensurado a partir da debulha das vagens e posterior contagem dos grãos e divisão pelo NVP;
- Produção (PROD): foi determinada por colheita manual de cada parcela experimental. Após a colheita, o material foi levado para laboratório para a padronização da umidade. Ao fim desse processo foi determinada a massa de grãos em gramas (g).

Figura 7 – Colheita (A), mensuração de comprimento (B), diâmetro (C), e massa de vagens (D).



Fonte: Autor (2023).

5.6 Análise estatística

Para avaliar a normalidade, os dados obtidos foram submetidos ao teste de Kolmogorov-Sminorv ($p \leq 0,05$). Após verificação da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativos pelo teste F de forma isolada e/ou para interação entre os fatores, foram submetidos ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software Assistat 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2016).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Experimento I (Publicado na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – AGRIAMBI)

Observa-se a partir da análise de variância (Tabela 5) interação significativa entre formas de adubação e salinidade para o comprimento de vagem (CV), efeito significativo de forma isolada para formas de adubação e condutividade elétrica da água de irrigação para o diâmetro de vagem (DV). Já a variável massa de vagens (MV) apresentou resposta significativa para as interações entre formas de adubação e CEa e inoculação versus CEa. O número de grãos por vagem foi influenciado significativamente pela interação entre formas de adubação e CEa, assim como as variáveis número de vagens por planta (NVP) e a produtividade (PROD), que também sofreram influência da interação entre formas de adubação e inoculação.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), massa de vagem (MV), comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade (PROD) em plantas de soja sob diferentes formas de adubação, condutividades elétricas da água de irrigação, na presença e na ausência de inoculação com *Bacillus* sp.

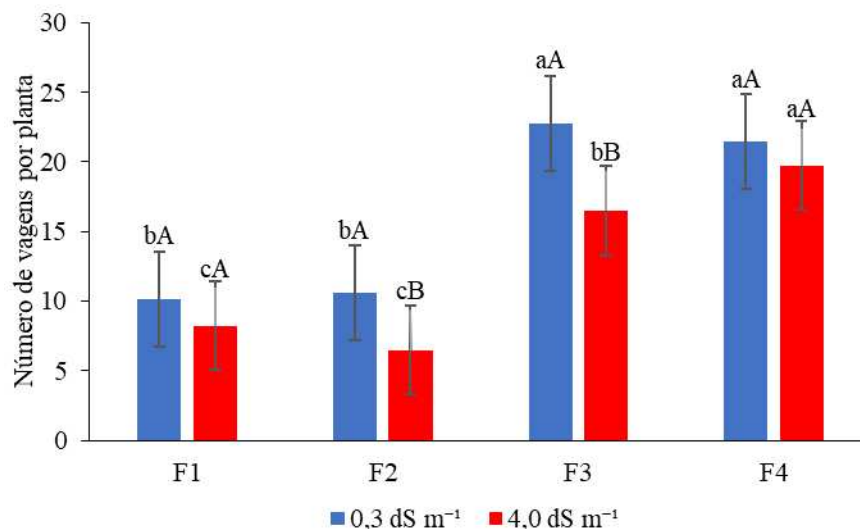
FV	GL	Quadrados médios					
		NVP	MV	CV	DV	NGV	PROD
FA	3	848.3854**	43.4528**	0.9501**	1.5577**	0.3504*	1857.7291**
CEa	1	245.0000**	41.7164**	0.5417**	0.6747*	1.1400**	2051.1205*
Inoculação (I)	1	6.3281 ^{ns}	0.3886 ^{ns}	0.0016 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	1.9903 ^{ns}
FA x CEa	3	22.7604*	6.4173**	0.4332**	0.2454 ^{ns}	0.9977**	258.3059**
FA x I	3	21.4843*	2.2954 ^{ns}	0.0793 ^{ns}	0.4005 ^{ns}	0.2845 ^{ns}	135.9800**
CEa x I	1	1.9531 ^{ns}	0.0005*	0.1917 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.0250 ^{ns}	1.2741 ^{ns}
FA x CEa x I	3	10.6510 ^{ns}	0.6676 ^{ns}	0.0195 ^{ns}	0.2604 ^{ns}	0.1561 ^{ns}	63.2030 ^{ns}
Resíduo	64						
Total	79						
MG		14,5	3,14	4,01	8,74	2,42	21,51
CV (%)		16,25	30,41	5,87	4,40	14,61	24,6

Fonte: Autor (2023). FV – Fonte de variação; GL – Graus de liberdade; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação (%); *, **, ns – Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ e não significativo, respectivamente; FA – Formas de adubação; CEa – Condutividade elétrica da água de irrigação.

6.1.1 Número de vagens por planta

As formas de adubação F2 e F3 associada ao uso de água de menor salinidade apresentaram os maiores valores para o número de vagens por planta (Figura 8). Devido ao acúmulo de sais solúveis provenientes da água de irrigação, ocorre uma redução na absorção de água pela planta ocasionada por reduções no potencial osmótico do substrato, prejudicando o desenvolvimento vegetal (TAIZ *et al.*, 2017).

Figura 8 – Número de vagens por planta de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).

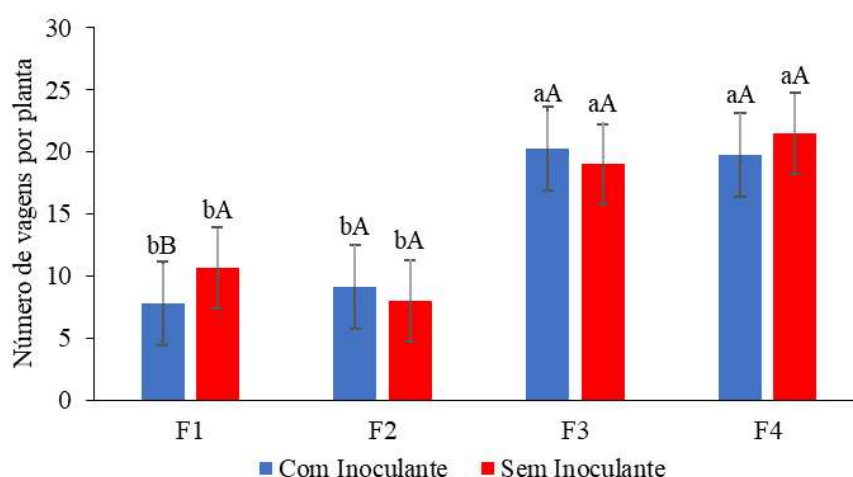


Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios de CEa em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação no mesmo nível de CEa não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão (n=5).

O efeito negativo do estresse salino sobre a variável número de vagens por planta pode ser atribuído a redução na absorção de nutrientes como nitrogênio e potássio, prejudicando a quantidade e a qualidade das vagens. Nesse contexto, Tareq *et al.* (2022), ao avaliarem a cultura da soja sob estresse salino, também registraram tendência semelhante, onde o excesso de sais proveniente da água salobra afetou negativamente a qualidade e o número de vagens por planta. Em relação a adubação mineral com NPK, Sousa *et al.* (2023), ao estudarem a cultura do amendoim adubada com NPK, obtiveram resultados semelhantes aos encontrados neste estudo. Para a adubação orgânica, que oferece diversos benefícios às plantas, embora com liberação mais lenta de nutrientes, Goes *et al.* (2021) detectaram efeito positivo no número de vagens em plantas de amendoim irrigadas com água salobra.

A Figura 9 mostra os resultados para o número de vagens por planta de soja em função das formas de adubação com e sem inoculante, onde a forma de adubação F1 (adubação mineral com 100% da recomendação) foi a única que apresentou diferença significativa, com melhor desempenho na ausência do inoculante.

Figura 9 – Número de vagens por planta de soja submetida a diferentes formas de adubação e inoculadas com *Bacillus* sp.



Fonte: Autor (2023). Colunas seguidas da mesma letra maiúscula para a inoculação e minúscula para as formas de adubação não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0.05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão ($n=5$).

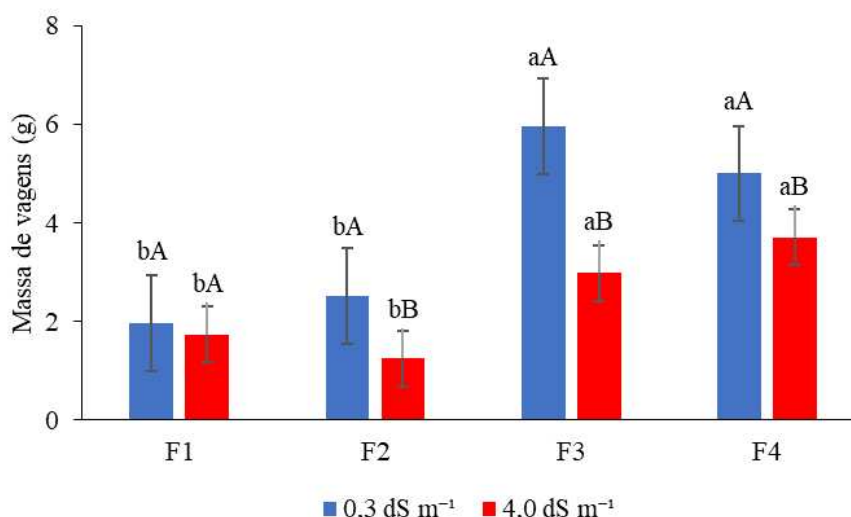
Esse resultado demonstra que os microrganismos juntamente com adubação com NPK, não foram eficazes para incrementar a liberação destes elementos durante a mineralização bioquímica, por meio de excreção de enzimas extracelulares (MASRAHI *et al.*, 2023). Cordeiro & Echer (2019) observaram aumento no número de vagens por planta de soja inoculada sob adubação nitrogenada.

6.1.2 Massa de vagem

Com relação à massa das vagens (Figura 10), foi observada resposta semelhante para as formas de adubação F2, F3 e F4 que apresentaram valores médios superiores estatisticamente com água de menor salinidade. Os biofertilizantes e adubos orgânicos apresentam diferentes tipos de microrganismos em suas composições, que podem gerar

incrementos na disponibilização de nutrientes as plantas através de processos biológicos, o que pode explicar o efeito positivo em relação as demais formas de adubação (ZAINUDDIN *et al.*, 2022).

Figura 10 – Massa de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).

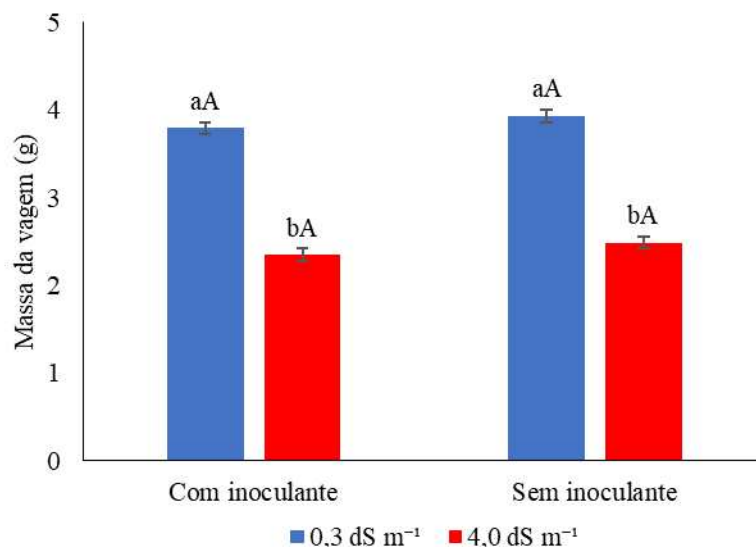


Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios de CEA em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação no mesmo nível de CEA não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão (n=5).

Corroborando os resultados obtidos, Sousa *et al.*, (2023), ao avaliarem o desempenho agrônômico da cultura do amendoim sob estresse salino e diferentes formas de adubação, verificaram que o biofertilizante bovino promoveu maior massa de vagem em comparação à adubação mineral com NPK em plantas irrigadas com água de 5,0 dS m⁻¹.

A variável massa da vagem também respondeu significativamente à interação entre inoculação e níveis de salinidade (Figura 11), apresentando decréscimo na massa das vagens na presença e na ausência do inoculante em plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹). Este resultado demonstra que para a massa da vagem, a inoculação com *Bacillus* sp. não foi capaz de atenuar o efeito do excesso de sais para a massa das vagens.

Figura 11 – Massa de vagens de soja submetida a inoculação com *Bacillus* sp. e irrigadas com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



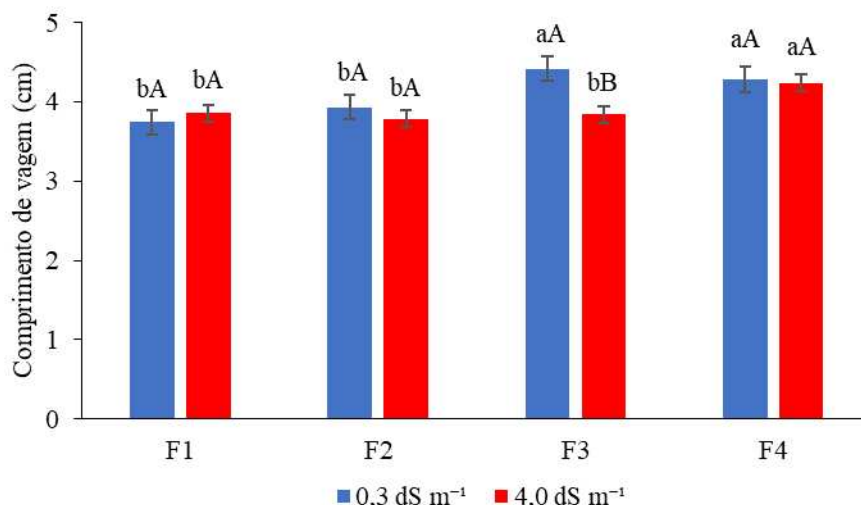
Fonte: Autor (2023). Letras minúsculas comparam os valores médios de CEa, com e sem inoculante e letras maiúsculas comparam os valores médios da inoculação no mesmo nível de CEa não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Este estudo mostra que leguminosas como a soja, cultivadas em condições nutricionais ideais, aumentam a taxa de nodulação e conseqüentemente o nitrogênio fornecido pela fixação biológica, mostrando maior auxílio na produção de moléculas orgânicas capazes de resistir a diversos estresses, como o estresse salino, ou seja, o sistema antioxidante se torna mais eficiente (LIMA *et al.*, 2021; MILLÉO *et al.*, 2023). Abreu *et al.* (2024) também observaram reduções na massa de vagens na cultura do amendoim submetida a irrigação com água salobra e adubação potássica.

6.1.3 Comprimento de vagem

O tratamento com a adubação 100% orgânica através de biofertilizante bovino (F3) apresentou maiores valores médios para o comprimento da vagem com água de menor salinidade em relação a água de maior salinidade (Figura 12). Esse resultado pode estar relacionado ao efeito das substâncias húmicas e enzimas presentes no insumo orgânico, atenuando o estresse salino e proporcionando maior disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente maior comprimento de vagem (ALVES *et al.*, 2019).

Figura 12 – Comprimento de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios de CEa em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação no mesmo nível de CEa não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão (n=5).

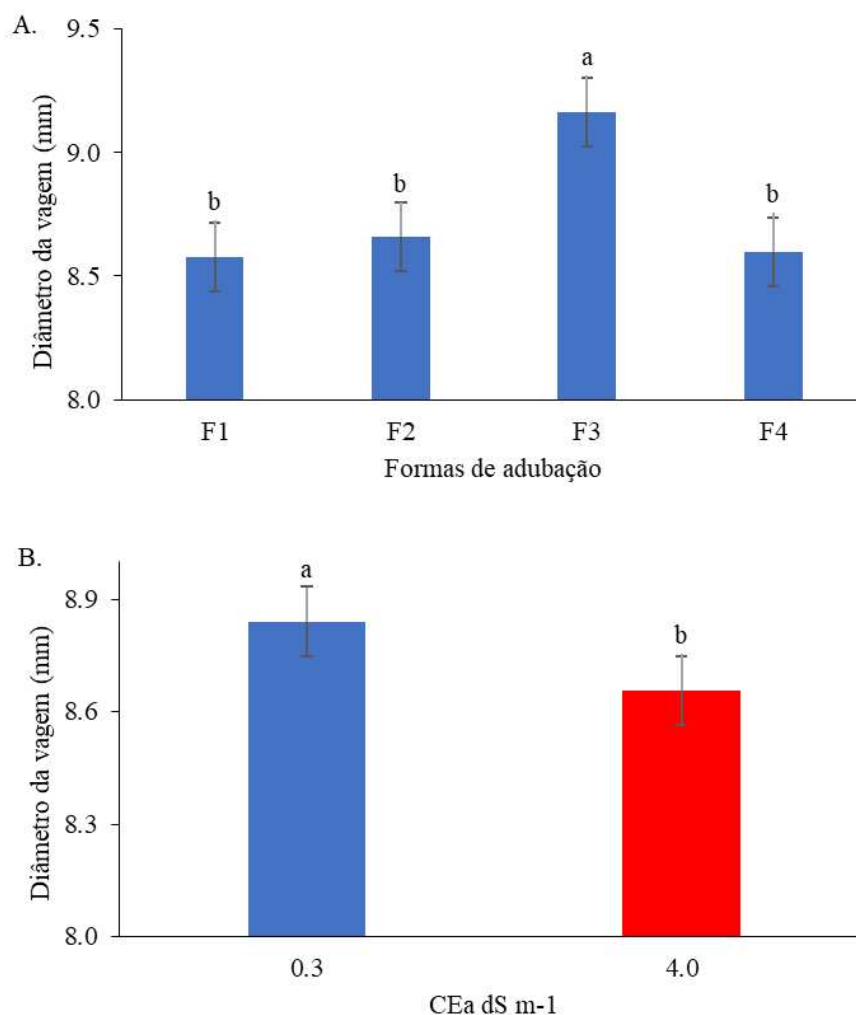
Estudos realizados por Oliveira *et al.* (2015) em cultivo de feijão-caupi irrigado com água salobra e sob aplicação de bioestimulante, resultaram em reduções no comprimento médio das vagens a partir do nível de salinidade de 1,25 dS m⁻¹. O oposto foi observado por Sousa *et al.* (2023) ao investigarem o uso de adubação mineral com NPK e adubação orgânica com biofertilizante bovino na cultura do amendoim irrigado com água salobra.

6.1.4 Diâmetro de vagem

O diâmetro médio das vagens foi maior nas plantas que foram adubadas com biofertilizante bovino (Figura 13A). O efeito positivo observado pode estar relacionado à ação microbiológica promovida pelo insumo, favorecendo assim a mineralização e maior disponibilidade de nutrientes às plantas (SOUSA *et al.*, 2018). Em estudo que avaliou o efeito de diferentes fertilizantes orgânicos na cultura da soja, Elicin *et al.* (2021) observaram que a aplicação de esterco caprino e esterco bovino líquido gerou incrementos nos componentes de produção da soja, em comparação com a adubação mineral com NPK, demonstrando efeito positivo de adubos orgânicos para a produção da leguminosa. Magalhães *et al.* (2017) também

observaram incrementos no diâmetro de vagens de feijão-caupi sob adubação orgânica com esterco de aves.

Figura 13 – Diâmetro de vagens de soja submetida a diferentes formas de adubação (A) e irrigadas com água salobra (B) (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



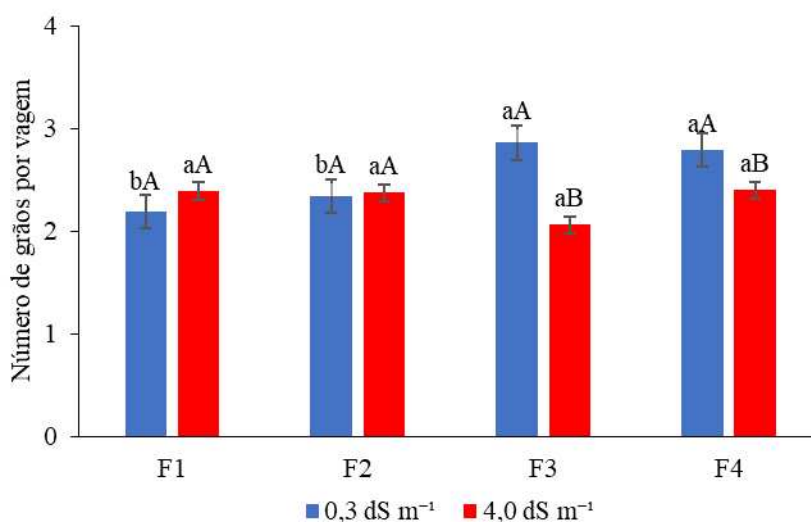
Fonte: Autor (2023). Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Barras verticais representam o erro padrão ($n=5$).

O diâmetro de vagem foi reduzido com estresse salino (Figura 13B). Reduções no potencial hídrico do substrato devido ao acúmulo de sais podem induzir maior gasto energético para manutenção de atividades metabólicas, o que reflete em prejuízos ao desenvolvimento vegetal, como menor diâmetro de frutos (SILVA *et al.*, 2019). Em semelhança aos resultados obtidos no presente estudo, Guilherme *et al.* (2021) observaram redução nos valores de diâmetro de vagem em plantas de amendoim submetidas a irrigação com água salobra. Goes *et al.* (2021) também constataram similaridade aos dados deste estudo, ao constatarem redução no diâmetro de vagem na cultura do amendoim sob estresse salino.

6.1.5 Número de grãos por vagem

Com relação ao número de grãos por vagem (Figura 14), observa-se que com a utilização da água de menor salinidade nas formas de adubação F3 e F4, ocorreram valores estatisticamente superiores às demais formas. As adubações orgânica e organomineral promovem maior equilíbrio nutricional que contribuem para os processos fisiológicos e bioquímicos, refletindo diretamente de forma positiva para os componentes de produção (SILVA *et al.*, 2019).

Figura 14 – Número de grãos por vagem de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios de CEa em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação no mesmo nível de CEa não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão (n=5).

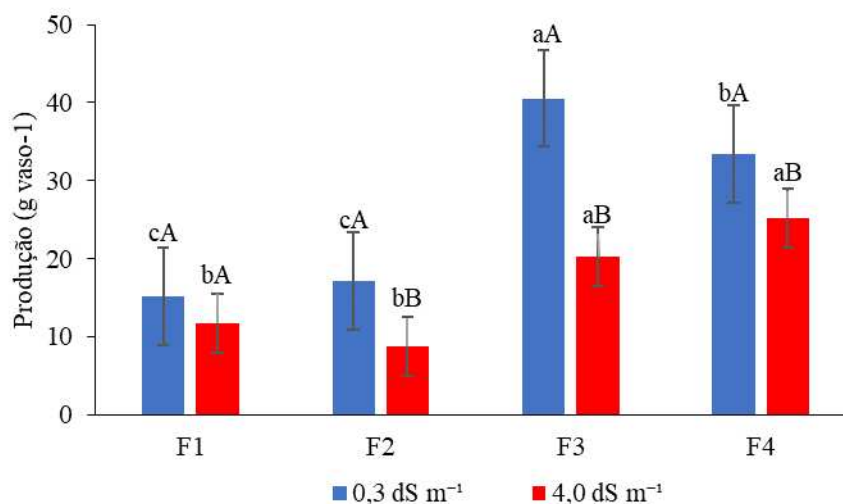
Com a utilização da água de maior salinidade não foi observada diferença entre as F1 e F2 para o número de grãos por vagem (Figura 14), demonstrando efeito atenuante dessas formas de adubação em ambiente salino, porém na F3 e F4 o excesso de sais reduziu o número de grãos por vagem. Tareq *et al.* (2022) avaliando a salinidade da água na cultura da soja, observaram resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo, onde houve redução no número de grãos por vagem nas plantas irrigadas com água de 5,0 dS m⁻¹.

6.1.3 Produção

A produção foi significativamente afetada pela interação entre adubação e salinidade, sendo que as plantas adubadas com F2, F3 e F4 e irrigadas com água de menor salinidade apresentaram valores superiores estatisticamente (Figura 15). O estresse salino provoca um desequilíbrio nutricional na solução do solo, gerando antagonismo com nutrientes como N, P e K, importantes no desempenho produtivo.

Resultados similares ao deste estudo quanto ao efeito negativo do estresse salino foram reportados por Tareq *et al.* (2022) no desempenho produtivo da cultura da soja. Já para o efeito da adubação mineral, Sousa *et al.* (2023) constataram bom desempenho produtivo da cultura do amendoim adubada com NPK e irrigada com água salobra. Para esses mesmos autores, tal resultado pode estar relacionado ao aporte de nutrientes decorrentes da adubação mineral, que foi capaz de atenuar o deslocamento de sais (Na^+ e Cl^-) para os fotoassimilados e posteriormente para os grãos, proporcionando maior produtividade.

Figura 15 – Produção (g vaso^{-1}) de soja submetida a diferentes formas de adubação e irrigadas com água salobra ($0,3$ e $4,0 \text{ dS m}^{-1}$).



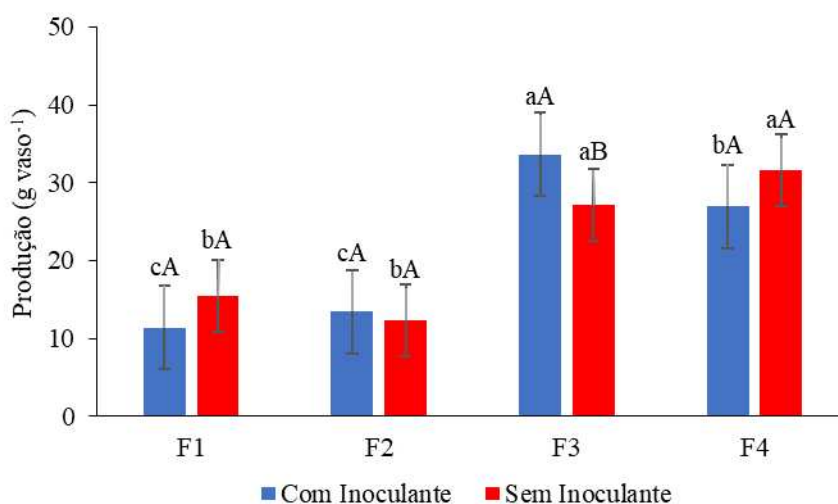
Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios de CEa em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação no mesmo nível de CEa não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão ($n=5$).

Quanto ao efeito positivo do biofertilizante (F3), esse efeito pode estar na liberação de substâncias húmicas no solo além de teor relativo de água, prolina, teor de açúcares solúveis e melhora a eficiência de enzimas existentes nas folhas das plantas, como a catalase,

peroxidase e polifenoloxidase (BABAEI *et al.*, 2017), o que justifica o efeito positivo para a produtividade nas adubações orgânica e organomineral. Resultados semelhantes foram observados por Sousa *et al.* (2023) ao avaliarem irrigação com água salobra e uso de biofertilizante bovino na cultura do amendoim.

Para a interação adubação e inoculação para a variável produção (Figura 3B), plantas adubadas com biofertilizante bovino (F3) na presença de inoculante foram superiores estatisticamente as demais formas. A aplicação de microrganismos de forma isolada ou consorciada com fertilizantes químicos pode influenciar positivamente as respostas fisiológicas das plantas cultivadas gerando incrementos na produtividade (SILVA *et al.*, 2023).

Figura 16 – Produção (g vaso^{-1}) de soja submetida a diferentes formas de adubação e inoculadas com *Bacillus* sp.



Fonte: Autor (2023). Letras maiúsculas comparam os valores médios da inoculação em cada forma de adubação e letras minúsculas comparam os valores médios das diferentes formas de adubação não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). F1: 100% de NPK; F2: 50% de NPK; F3: 100% de biofertilizante; F4: organomineral – 50% de NPK + 50% biofertilizante bovino. Barras verticais representam o erro padrão (n=5).

Em estudo de Ilangumaran *et al.* (2021), com coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* 532C em plantas de soja, foi possível observar produtividade semelhante com água de maior e de menor salinidade. Tendência semelhante à encontrada neste estudo foi relatada por Sousa *et al.* (2023) quando verificaram redução na produção da cultura do amendoim adubada com biofertilizante bovino como bioestimulante.

6.2 Experimento II

Observam-se a partir da análise de variância (Tabela 6) que as variáveis número de vagens por planta (NVP), massa de vagens (MV), diâmetro de vagem (DV) e produção (PROD) foram influenciadas significativamente pela interação entre inoculação, CEa e adubação fosfatada (I x CEa x A) ao nível de significância ($p < 0,05$). O comprimento da vagem (CV) apresentou resposta significativa de forma isolada para a CEa e para a interação entre inoculação e adubação fosfatada (I x A), ao nível de significância ($p < 0,05$). Para o número de grãos por vagem (NGV) houve resposta significativa às interações entre inoculação e condutividade elétrica da água (I x CEa), e inoculação e adubação fosfatada (I x A) ao nível de significância ($p < 0,05$).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para número de vagens por planta (NVP), massa de vagem (MV), comprimento de vagem (CV), diâmetro de vagem (DV), número de grãos por vagem (NGV) e produção (PROD) em plantas de soja submetidas a inoculação com *Bacillus* sp. estresse salino e adubação fosfatada.

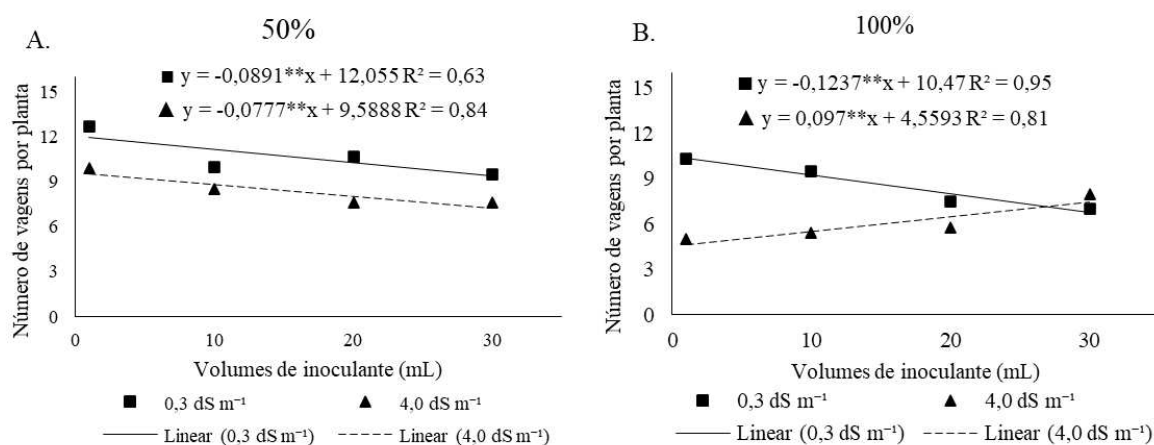
FV	GL	Quadrados médios					
		NVP	MV	CV	DV	NGV	PROD
Inoculação (I)	3	34.5054**	1.8648**	0.1756 ^{ns}	0.0695 ^{ns}	0.1077 ^{ns}	51.0832**
CEa	1	188.5427**	22.2796**	0.7720**	6.7477**	1.4400**	1156.1927**
Adubação fosfatada (A)	1	15.0348**	0.0383 ^{ns}	0.1985 ^{ns}	0.0691 ^{ns}	0.0760 ^{ns}	1.3772 ^{ns}
I x CEa	3	6.9301**	1.2227*	0.0618 ^{ns}	1.1368**	0.4146*	25.7464**
I x A	3	16.9697**	1.8653**	0.1979*	0.1372 ^{ns}	0.4177*	99.4981**
CEa x A	1	0.0881 ^{ns}	1.1065 ^{ns}	0.0697 ^{ns}	0.3557 ^{ns}	0.1227 ^{ns}	110.7396**
I x CEa x A	3	21.2800**	1.3298*	0.1742 ^{ns}	0.6927**	0.1237 ^{ns}	115.2207**
Resíduo	64						
Total	79						
MG		8,5	1,7	3,7	8,3	2,2	11,7
CV (%)		12,4	32,7	6,7	4,4	16,5	14,3

Fonte: Autor (2023). FV – Fonte de variação; GL – Graus de liberdade; MG – Média geral; CV – Coeficiente de variação (%); *, **, ns – Significativo a $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ e não significativo, respectivamente; CEa – Condutividade elétrica da água de irrigação.

6.2.1 Número de vagens por planta

O número de vagens por planta foi influenciado significativamente pela interação entre a inoculação, CEa e adubação fosfatada (Figura 17). Os tratamentos com 50% da recomendação de adubação fosfatada (Figura 17A) apresentaram decréscimo linear para ambas as condutividades elétricas (0,3 e 4,0 dS m⁻¹) de 24,6 e 22,4%, respectivamente, de acordo com o aumento dos volumes do inoculante utilizado, porém com menores valores na água de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹). Esse resultado demonstra que o aumento do volume do inoculante utilizado não apresentou efeito benéfico para o número de vagens por planta, independentemente da condutividade elétrica da água utilizada para irrigação, com a utilização de 50% da dose de P.

Figura 17 – Número de vagens por planta de soja submetida a inoculação com *Bacillus* sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). ** - Significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Esse resultado pode estar relacionado à inoculação com solubilizadores de P, pois o processo pode ser dificultado por diversos fatores, como altas temperaturas ou a baixa colonização da rizosfera, o que diminui a eficiência da inoculação com esses microrganismos. O contrário é observado com a utilização de 100% da recomendação de adubação fosfatada (Figura 17B), onde é observado efeito linear crescente de acordo com o aumento dos volumes de inoculante utilizado para a água de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹), com incremento de até 60% no número de vagens. Adhikari *et al.*, (2020) observaram que a utilização de *Pseudomonas koreensis* MU2 promoveu maior tolerância ao estresse salino em plantas de soja, devido, dentre outros efeitos, à maior absorção e uso eficiente do P.

O P solubilizado pode não estar disponível para as plantas devido ao consumo pelos próprios microrganismos, fazendo com que a quantidade de P liberada por eles seja insuficiente

para um aumento substancial no crescimento vegetal (RENGEL; MARSCHNER 2005; GYANESHWAR *et al.*, 2002; GIOVELLI; TABALDI, 2022), o que pode justificar o decréscimo com o aumento do volume aplicado do inoculante.

Microrganismos promotores do crescimento vegetal podem atuar regulando a produção de fitohormônios, como o ácido indolacético (AIA), que é um dos mais importantes hormônios de crescimento, auxiliando o desenvolvimento vegetal sob situações de estresse (GUPTA *et al.*, 2022), o que pode justificar o efeito positivo observado nesse estudo. Além disso, esses microrganismos atuam na solubilização de nutrientes, sendo capazes de promover incrementos no crescimento e no desenvolvimento das plantas (YAN *et al.*, 2015).

Resultados contrários foram observados por Tavanti *et al.* (2020) que, ao avaliarem a produção e a qualidade de sementes de soja inoculadas com estirpes de *Bacillus subtilis*, não constataram diferença significativa para os componentes de produção. De forma similar, Silvestrine *et al.* (2023), avaliando a fertilização fosfatada e inoculação com *Bacillus sp.* na cultura da soja em condições de campo, não observaram respostas significativas para o número de vagens por planta. Já Braga Junior *et al.* (2018), realizando estudo em condições de campo na cultura da soja, observaram que a inoculação com *Bacillus subtilis* UFT-Bs10 promoveu incrementos no número de vagens por planta.

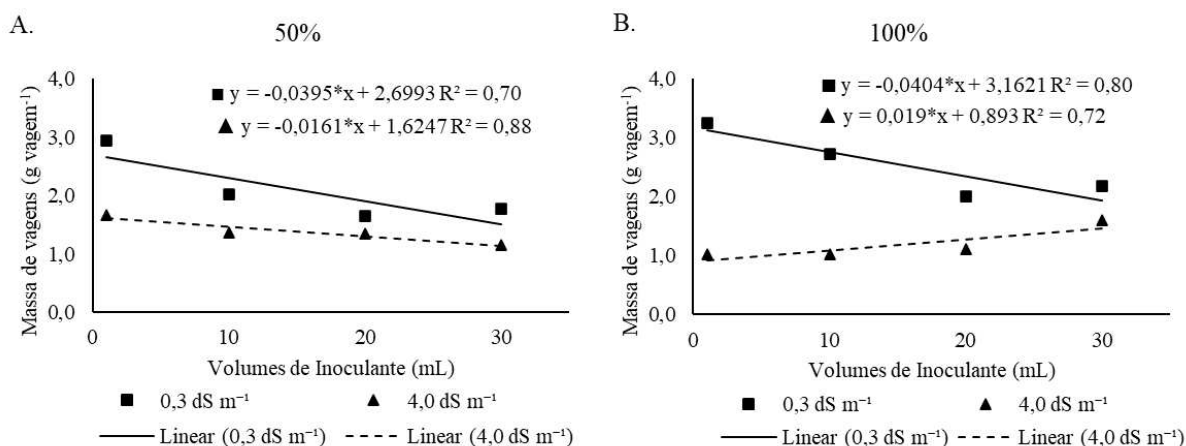
6.2.2 Massa da vagem

Através da Figura 18 é possível observar que a massa da vagem sofreu influencia significativa da interação entre inoculação, CEa e adubação fosfatada. Com a utilização de 50% da recomendação de adubação fosfatada (Figura 18A), o modelo linear decrescente foi o que melhor se ajustou aos dados, apresentando redução de 39,1 e 31,3% para as condutividades de 0,3 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente, com o aumento do volume de inoculante utilizado. Para os tratamentos que receberam 100% da recomendação de adubação fosfatada (Figura 18B) foi observada redução de 33,2% para as plantas irrigadas com água de 0,3 dS m⁻¹. Enquanto que para as plantas irrigadas com água de 4,0 dS m⁻¹ é observado um acréscimo linear, porém com valores médios inferiores aos observados com a água de menor salinidade.

Giovelli e Tabaldi (2022), ao avaliarem níveis de fósforo e inoculação de sementes com *Bacillus sp.* no crescimento e desenvolvimento de plantas de soja, não observaram efeito significativo da inoculação para a cultura da soja. Os mesmos autores afirmam que este efeito pode estar relacionado a diversos fatores, dentre eles a baixa sobrevivência na rizosfera ou ainda à falta de associações específicas entre os microrganismos e a planta hospedeira (RENGEL;

MARSCHNER 2005; GYANESHWAR *et al.*, 2002). Resultados contrários foram obtidos por Braga Junior *et al.* (2018), ao avaliarem a inoculação com *B. subtilis* UFT-Bs10 na cultura da soja em condições de campo, que observaram incrementos na massa das vagens em plantas irrigadas com água não salina.

Figura 18 – Massa de vagens de plantas de soja submetida a inoculação com *Bacillus* sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). * - Significativo a $p \leq 0,05$ pelo teste F.

Quanto ao efeito do estresse salino, Ilangumaran *et al* (2021), ao avaliarem coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* 532C em plantas de soja, afirmaram que a inoculação promoveu tolerância ao estresse salino devido, dentre outros meios, à habilidade das plantas inoculadas em manter uma elevada razão K⁺/Na⁺ no interior das células, em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura. Resultados obtidos por Silvestrine *et al.* (2023) não expressaram respostas significativas a inoculação com *B. subtilis* e *B. megaterium*, associada ou não à adubação fosfatada na cultura da soja.

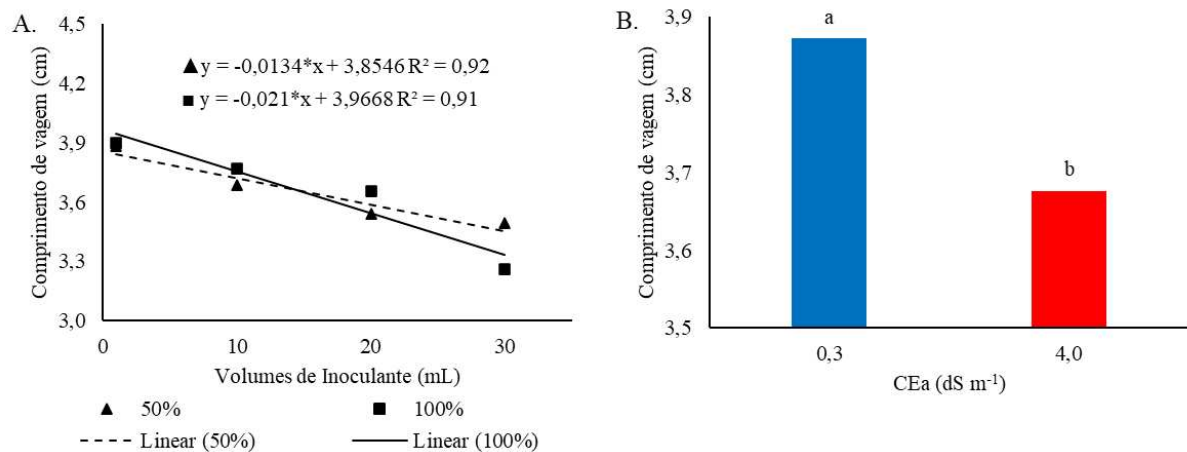
6.2.3 Comprimento da vagem

A Figura 19A demonstra decréscimo de 10,1 e 16,4% no comprimento das vagens a medida em que se elevam os volumes de inoculante utilizado para ambas as formas de adubação (50 e 100%, respectivamente). Os microrganismos solubilizadores de P utilizados para inoculação são selecionados com base em sua solubilização *in vitro*, ou seja, em condições ideais para o crescimento e a solubilização. As condições na rizosfera não refletem as mesmas observadas em laboratório, o que pode prejudicar o mecanismos de ação desses organismos e

promover menor solubilização de P (RENGEL; MARSCHNER 2005; GYANESHWAR *et al.*, 2002).

Resultados contrastantes foram obtidos por Ku *et al.* (2018), ao avaliarem a colonização radicular de plantas de soja com *Bacillus cereus* YL6 irrigadas com água de menor salinidade, que obtiveram maiores comprimentos de vagens em plantas que foram inoculadas, em comparação ao tratamento controle sem inoculação. Por outro lado, resultados obtidos por Sousa *et al.* (2023), utilizando biofertilizante de origem animal como bioestimulante, evidenciaram maior comprimento de vagem na cultura do amendoim sob estresse salino.

Figura 19 – Comprimento de vagem submetida a inoculação com *Bacillus* sp. e adubação fosfatada – A – (50% e 100%), e irrigação com água salobra – B – (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). * - Significativo a $p \leq 0,05$ pelo teste F. Colunas seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

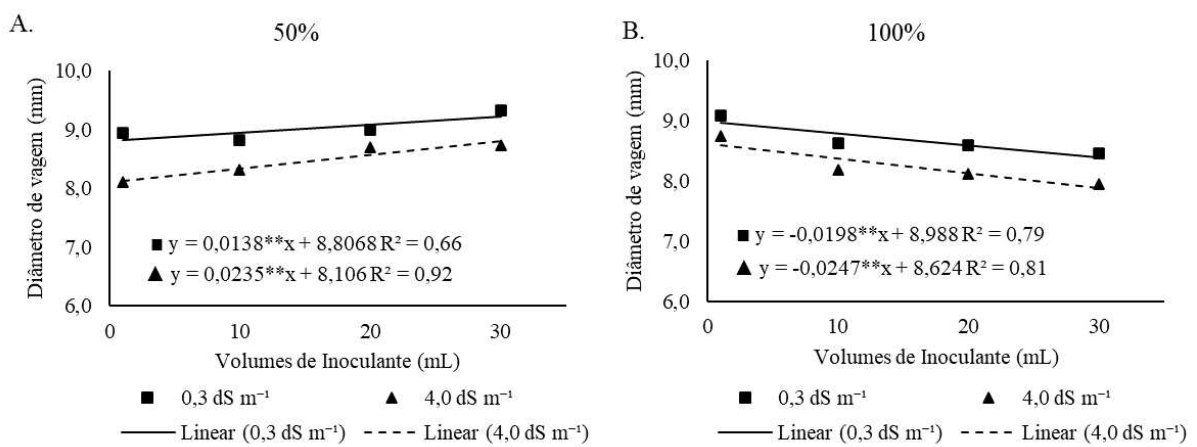
Para o comprimento da vagem em função da condutividade elétrica (Figura 3B), os menores valores para esta variável foram observados em plantas irrigadas com água de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹). Reduções no potencial hídrico do substrato devido ao acúmulo de sais podem induzir maior gasto energético para manutenção de atividades metabólicas, o que reflete em prejuízos ao desenvolvimento vegetal, como menor comprimento de frutos (SILVA *et al.*, 2019). Ahmed *et al* (2023) também observaram redução no comprimento de vagens em plantas de soja submetidas a irrigação com água salobra.

6.2.4 Diâmetro da vagem

É possível observar que o diâmetro das vagens sofreu influencia significativa da interação entre inoculação, CEa e adubação fosfatada, sendo que a utilização de 50% da

recomendação de adubação fosfatada (Figura 20A), ocasionou acréscimos lineares de acordo com o aumento do volume de inoculante de 4,3 e 7,4% para as condutividades elétricas da água de 0,3 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente, porém com valores inferiores com a utilização da água de maior salinidade (4,0 dS m⁻¹) para irrigação. Efeito contrário foi obtido nos tratamentos que receberam 100% da recomendação e adubação fosfatada (Figura 20B), com decréscimos de 7,1 e 9,1% para as condutividades elétricas da água de 0,3 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente.

Figura 20 – Diâmetro da vagem em plantas de soja submetida a inoculação com *Bacillus* sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). ** - Significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Diversos fatores podem afetar o resultado final da inoculação microbiana, dentre eles o método de aplicação, a densidade de inóculo, a colonização das raízes da planta hospedeira, dentre outros (LOPES; DIAS-FILHO; GURGEL, 2021).

Silvestrine *et al.* (2023) constataram resultados contrários aos deste estudo. Esses mesmos autores verificaram que não houve resposta significativa da inoculação com *B. subtilis* e *B. megaterium* para o diâmetro da vagem da cultura da soja, que não expressaram respostas significativas a inoculação, associada ou não à adubação fosfatada e irrigada com água de menor salinidade. Ahmed *et al* (2023) também observaram redução no diâmetro de vagens em plantas de soja submetidas a irrigação com água salobra.

6.2.5 Número de grãos pro vagem

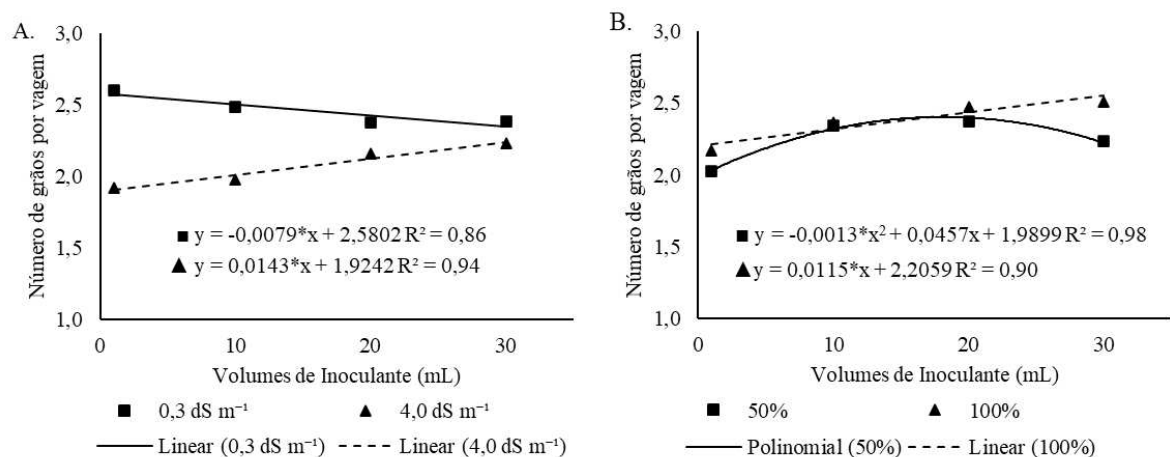
O número de grãos por vagem foi influenciado significativamente pela interação entre inoculação e CEa, onde é observado decréscimo linear de 8,4% com a utilização da água de 0,3 dS m⁻¹ para irrigação, de acordo com o aumento do volume do inoculante utilizado

(Figura 21A). Este resultado pode estar relacionado a incompatibilidade entre as cepas e a planta hospedeira, o que representa um dos principais fatores para o sucesso da inoculação microbiana (LOPES; DIAS-FILHO; GURGEL, 2021). As cepas que compõem o inoculante utilizando neste estudo (B2084) e (B119) são provenientes da cultura do milho, embora seu uso já seja recomendado para a cultura da soja (OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2009; OLIVEIRA-PAIVA *et al.*, 2022).

Efeito contrário é observado nos tratamentos irrigados com água de maior salinidade, onde é observado efeito linear crescente a medida em que se eleva o volume utilizado de inoculante, com acréscimo de 16,1%. Esse efeito pode estar relacionado a menor absorção de Na^+ pelas plantas devido a inoculação, como reportam Hasanuzzaman *et al.* (2021), onde a inoculação com *B. subtilis* reduziu significativamente o conteúdo interno de Na^+ em plantas de soja submetidas a inoculação e estresse salino.

Já Schwaab e Aguiar (2019) não observaram efeito significativo da aplicação de *B. megaterium* e *B. subtilis* nas variáveis de produção da cultura da soja, dentre elas o número de grãos por vagem. O mesmo foi observado por Silvetrine *et al.* (2023), avaliando a inoculação com *Bacillus* sp. na cultura da soja irrigada com água de menor salinidade, ou seja, sem influência significativa para o número de grãos por vagem.

Figura 21 – Número de grãos por vagem de soja submetida a irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m^{-1}) inoculação com *Bacillus* sp. e adubação fosfatada (50% e 100%).



Fonte: Autor (2023). * - Significativo a $p \leq 0,05$ pelo teste F.

O número de grãos por vagem também foi influenciado pela interação entre inoculação e adubação fosfatada (Figura 21B), onde o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial quadrático, revelando um valor estimado em 2,39 grãos.vagem⁻¹ com um volume equivalente a 17,57 ml do inoculante, em plantas irrigadas com 50% da dose recomendada de

P. Esse incremento pode estar relacionado aos vários mecanismos pelos quais os microrganismos do gênero *Bacillus* agem, dentre eles a produção de fitohormônios e enzimas, além de promover maiores níveis de nutrientes às plantas (CARVALHO *et al.*, 2023).

Efeito linear crescente para o número de grãos por vagem foi observado em plantas adubadas com 100% da dose recomendada de P a medida em que se elevaram os volumes do inoculante utilizado, com incremento de 15,6% (Figura 21B), demonstrando efeito positivo para as plantas que receberam a dose total de fósforo (100%). Resultados semelhantes foram obtidos por Moursy *et al.* (2008), ao avaliarem a resposta à adubação fosfatada da cultura da soja inoculada com *Bacillus* sp., onde foi observado aumento em todos os componentes de produção.

6.2.6 Produção

Para a produção, com a utilização de 50% da recomendação de adubação fosfatada (Figura 22A) observa-se que para as plantas irrigadas com água de $0,3 \text{ dS m}^{-1}$ o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial quadrático, evidenciando uma produção máxima de $19,91 \text{ g vaso}^{-1}$ com volume de inoculante estimado em 17,33 mL. Este incremento está relacionado ao efeito benéfico proporcionado pelos microrganismos, tais como maior disponibilidade de P proporcionada pela ação das bactérias (LOPES; DIAS-FILHO; GURGEL, 2021).

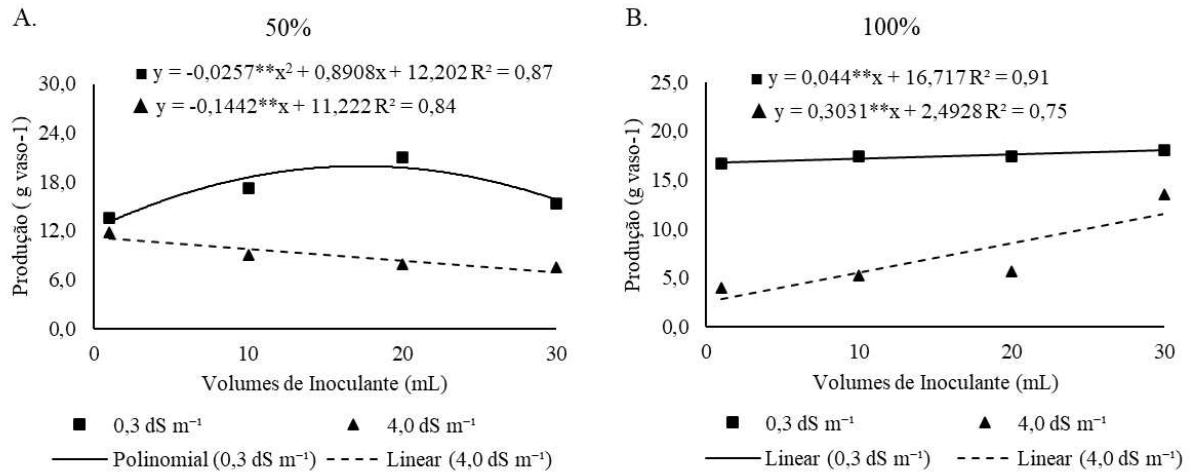
Ainda nos tratamentos que receberam 50% da recomendação de adubação fosfatada, porém irrigados com água de maior salinidade ($4,0 \text{ dS}^{-1}$), observa-se efeito linear decrescente a medida em que se elevaram os volumes de inoculante, com decréscimo de 36,6%, ou seja, a inoculação não promoveu efeito atenuante ao estresse salino.

Em estudo realizado por Otie *et al.* (2021) foi observado que a produtividade de grãos de soja foi negativamente afetada pela salinidade da água de irrigação. Os autores afirmaram que tal redução ocorre principalmente pela alta concentração de Na^+ no tecido foliar, que acarreta em senescência prematura das folhas o que diminui o suprimento de fotoassimilados, além de causar o abortamento de flores e vagens em desenvolvimento.

Com relação a inoculação, Lopes, Dias-Filho e Gurgel (2021) afirmaram que esse processo pode ser afetado negativamente por diversos fatores, o que reflete diferentemente na eficiência dos microrganismos. Condições abióticas podem gerar mudanças na rizosfera e assim interferir na sobrevivência e na diversidade dos microrganismos (RENGEL; MARSCHNER 2005; GYANESHWAR *et al.*, 2002; GIOVELLI; TABALDI, 2022). El-Eswai *et al.* (2018)

obtiveram resultados contrastantes ao observar aumento na tolerância ao estresse salino em plantas de soja inoculadas com *Bacillus firmus* (SW5).

Figura 22 – Produção de plantas de soja submetida a inoculação com *Bacillus* sp., adubação fosfatada (50% e 100%) e irrigação com água salobra (0,3 e 4,0 dS m⁻¹).



Fonte: Autor (2023). ** - Significativo a $p \leq 0,01$ pelo teste F.

Quando fertilizadas com 100% da recomendação de adubação fosfatada, as plantas apresentaram crescimento linear para a produtividade independentemente da CEA, demonstrando efeito positivo da adubação fosfatada com 100% da recomendação para esta variável (Figura 22B). Em situações de estresse, microrganismos como *Bacillus* sp. produzem exopolissacarídeos que formam um biofilme na superfície radicular. Esse mecanismo age estabilizando o balanço iônico do substrato, imobilizando Na⁺ em condições de estresse salino. Além disso, exopolissacarídeos produzidos por *Bacillus* sp. podem aumentar a atividade antimicrobiana no solo (HASHIM *et al.*, 2019; LOPES; DIAS-FILHO; GURGEL, 2021).

Resultados obtidos por Guilherme *et al.* (2021), ao avaliarem irrigação com água salina e adubação fosfatada na cultura do amendoim, registraram que a irrigação com água de 4,0 dS m⁻¹ na fase de frutificação e de formação de vagens associada a adubação fosfatada com 100% da dose recomendada (6,2 g vaso⁻¹) proporcionaram maior produtividade.

7 CONCLUSÕES

7.1 Experimento I: Formas de Adubação

As formas de adubação orgânica com 100% da recomendação através de biofertilizante bovino e adubação organomineral (50% mineral e 50% orgânica com biofertilizante bovino) promovem maior performance produtiva na cultura da soja irrigada com água de menor salinidade ($0,3 \text{ dS m}^{-1}$).

A adubação organomineral (50% mineral e 50% orgânica com biofertilizante bovino) foi mais eficiente para a produção da soja, independentemente da inoculação com *Bacillus* sp.

O estresse salino afetou negativamente os componentes de produção da soja sob todas as formas de adubação.

7.2 Experimento II: Volumes de *Bacillus* sp.

A utilização de 100% da recomendação de adubação fosfatada associada à inoculação com *Bacillus* sp. promoveu atenuação do estresse salino ($4,0 \text{ dS m}^{-1}$) para as variáveis: número de vagens por planta, massa da vagem, número de grãos por vagem e a produção.

A fertilização com 50% da recomendação de adubação fosfatada afetou negativamente os componentes de produção da soja irrigada com água de menor e maior salinidade.

O aumento do volume do inoculante até 30,0 mL associado a dose de 100% da adubação fosfatada proporciona maior número de vagens por planta, massa de vagens, número de grãos por vagem e produção da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. S. *et al.* Maize endophytic bacteria as mineral phosphate solubilizers. **Genetics and Molecular Research**, [S.l.], v. 16, n. 1, p. 1-13, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313871200_Maize_endophytic_bacteria_as_mineral_phosphate_solubilizers. Acesso em jun. 2023.
- ABREU, F. S. *et al.* Salt stress and potassium fertilization on the agronomic performance of peanut crop. **Caatinga**, Mossoró, v.37, e11996, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/11996>. Acesso em fev.2024.
- ADHIKARI, A. *et al.* The halotolerant rhizobacterium – *Pseudomonas koreensis* MU2 enhances inorganic silicon and phosphorus use efficiency and augments salt stress tolerance in soybean (*Glycine max* L.). **Microorganisms**, Basel, v.8, e1256, p. 1-18, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-2607/8/9/1256>. Acesso em jan. 2024.
- AHMED, R. *et al.* Morphological responses of three contrasting Soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes under different levels of salinity stress in the coastal region of Bangladesh. **Journal of Plant Stress Physiology**, India, v. 9, p.18-26, 2023. Disponível em: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/jpsp/article/view/8595>. Acesso em fev. 2024.
- ALVES, L. S. *et al.* Salinidade na água de irrigação e aplicação de biofertilizante bovino no crescimento e qualidade de mudas de tamarindo. **Irriga**, Botucatu, v.24, n.2, p.254-273, 2019. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2764>. Acesso em set. 2023.
- ARIF, M. S. *et al.* Phosphorus-mobilizing rhizobacterial strain *Bacillus cereus* GS6 improves symbiotic efficiency of soybean on an Aridsol amended with phosphorus-enriched compost. **Pedosphere**, Nanquim, v.27, n.6, p. 1049-1061, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002016017603667>. Acesso em jan. 2024.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BABAEI, K. *et al.* Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. **Journal of Plant Interactions**, London, v.12, n.1, p.381-389, 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17429145.2017.1371798>. Acesso em set. 2023.
- BAILEY-SERRES, J. *et al.* Genetic strategies for improving crop yields. **Nature**, [S.l.], v. 575, p.109-118, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1679-0>. Acesso em 20 fev. 2023.
- BERNARDO, S. *et al.* **Manuel de irrigação**. 9. ed. Viçosa – MG: Editora UFV, 2019.
- BEZERRA, A. R. G. *et al.* Importância econômica. In: SILVA, F. *et al.* (Org.). **Soja: do plantio a colheita**. 2. Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2022. p. 6-20.
- BEZERRA, A. R. G. *et al.* Importância econômica. In: SILVA, F. *et al.* (Org.). **Soja: do plantio a colheita**. 2. Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2022. p. 6-20.

- BEZERRA, C. V. C. **Crescimento, fisiologia e produção do tomate cereja (*Lycopersicon esculentum* var. *Cerasiforme*) sob doses de potássio.** 2019. 59f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2019.
- BIDALIA, A. *et al.* Effect of salinity on soil nutrients and plant health. *In:* AKHTAR, M. S. (Org.) **Salt stress, microbes, and plant interactions: causes and solution**, 1. Ed. Singapura, Springer Singapore, 2019.
- BRAGA JUNIOR, G. M. *et al.* Efficiency of inoculant by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.13, n.4, e5571, 2018. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v13i4a5571>. Acesso em fev. 2024.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 61 de 8 de julho de 2020. Estabelece regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, nº134, 15 jul. 2020. Seção 1, p. 5. 2020.
- CÂMARA, G. M. S. Adubação. *In:* SILVA, F. *et al.* (Org.). **Soja: do plantio a colheita**. 2. Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2022a. p. 112 - 144.
- CÂMARA, G. M. S. Preparo do solo e plantio. *In:* SILVA, F. *et al.* (Org.). **Soja: do plantio a colheita**. 2. Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2022b. p. 50 - 84.
- CARVALHO, M. A. C. *et al.* *Bacillus subtilis* UFMT-Pant001 as a plant growth promoter in soybean in a greenhouse. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 19, n. 2, p. 161-169. 2023. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJAR/article-abstract/F9FC07370336>. Acesso em Mar. 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (2023). Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, 12º levantamento. Brasília, Brasil. 9.
- CONCEIÇÃO, P. C. *et al.* Plantas de cobertura e saúde do solo. *In:* MEYER, M. C. *et al.* (Org.) **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 227-248.
- CORDEIRO, C. F. S.; ECHER, F. R. Interactive effects of nitrogen-fixing bacteria inoculation and nitrogen fertilization on soybean yield in unfavorable edaphoclimatic environments. **Scientific Reports**, London, v.9, e15606, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-52131-7>. Acesso em set. 2023.
- CRUSCIOL, C. A. C. *et al.* Organomineral fertilizer as source of P and K for Sugarcane. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 10, n. 1, article 5398. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-62315-1>. Acesso em mai. 2023.
- DEY, G. *et al.* Management of phosphorus in salinity-stressed agriculture for sustainable crop production by salt-tolerant phosphate-solubilizing bacteria – A review. **Agronomy**, Basel, v.

11, e.1552, p.1-27, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1552>. Acesso em fev. 2024.

DIAS, A. S. *et al.* Crescimento do algodoeiro ‘BRS rubi’ em função da irrigação com águas salinas e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.11, n. 7, p. 1945 - 1955, 2017. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/660>. Acesso em mar. 2023.

DIAS, N. S. *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. IN: GHEYI, H. R. *et al.* (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. INCTSA: Fortaleza - CE, ed. 2, 2016. p. 149-161.

EL-ESAWI, M. A. *et al.* *Bacillus firmus* (SW5) augments salt tolerance in soybean (*Glycine max* L.) by modulating root system architecture, antioxidant defense systems and stress-responsive genes expression. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v.132, p. 375-384, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S098194281830425X?via%3Dihub>. Acesso em set. 2023.

ELICIN, A. K. *et al.* Coherent fertilization regimes boost productivity and nutritional quality of soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Fresenius Environmental Bulletin**, [S.l.], v.30, n.12, p.13323-13330, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/356287799>. Acesso em fev. 2024

EMBRAPA SOJA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA DA EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2014. Londrina, PR, 2013, 268 p. (Sistemas de Produção, n. 16).

EVANS, J. R. Improving photosynthesis. **Plant Physiology**, [S. l.], v. 162, p. 1780- 1793., 2013. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/162/4/1780/6110898?login=false>. Acesso em mar. 2023.

FERGUNSON, R. B. *et al.* G87-859 Fertilizer recommendations for soybean (Revised august 2006). 1987. Disponível em: https://digitalcommons.unl.edu/extensionhist/1714/?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Fextensionhist%2F1714&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages. Acesso em fev. 2024.

GIOVELLI, J.; TABALDI, L. A. Níveis de fósforo e inoculação de sementes por *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) e *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) no crescimento e desenvolvimento de plantas de soja. **Ensaios e Ciência**, [S. l.], v.26, n.4, p. 451-458, 2023. Disponível em: <https://ensaioseciencia.pgsscogna.com.br/ensaiociencia/article/view/9955>. Acesso em fev. 2024.

GALBIATI, J. A. *et al.* Desenvolvimento do feijoeiro sob uso de biofertilizante e adubação mineral. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n.1, p.167-177. 2011. Disponível em: https://orgprints.org/id/eprint/22631/1/Galbiatti_Desenvolvimento.pdf. Acesso em mai. 2023.

GOES, G. F. *et al.* Produtividade da cultura do amendoim sob diferentes supressões da irrigação com água salina. **Irriga**, Botucatu, v.26, n.2, p.210-220, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4336>. Acesso em set. 2023.

GUILHERME, J. M. S. *et al.* Água salina e adubação fosfatada na cultura do amendoim. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial – Inovagri, v.1, n. 4, p. 704-713, 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4428>. Acesso em jan. 2024.

GUPTA, A. K. *et al.* Silicon and organic manure influence on phosphorus dynamics in *Alfisols* of West Bengal, India. **Journal of Plant Nutrition**, Londres, v.45, n.20, p.3118-3128, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2022.2035761>. Acesso em fev. 2024.

GYANESHWAR, P. *et al.* Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. **Plant and Soil**, Netherlands, v.245, p.83-93, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020663916259>. Acesso em fev. 2024.

HAMMOND, J. P.; WHITE, P. J. Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 59, n. 1, p. 93-109, 2008. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/59/1/93/430725>. Acesso em 20 fev. 2023.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Insight into the mechanism so salt-induced oxidative stress tolerance in soybean by the application of *Bacillus subtilis*: coordinated actions of osmoregulation, ion homeostasis, antioxidant defense, and methylglyoxal detoxification. **Antioxidants**, Basel, v.11, n.10, e1856, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/11/10/1856>. Acesso em fev. 2024.

HASHEM, A. *et al.* *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impact biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v.26, n.6, p. 1291-1297, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X19300890?via%3Dihub>. Acesso em fev. 2024.

HUNGRIA, M.; CAMPOS, R.; 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, PR: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja - Documentos, n. 283).

HYMOWITZ, T. On the Domestication of the Soybean. *Economic Botany*, v. 24, n. 4, p. 408-421, 1970.

ILAGUMARAM, G. *et al.* Rhizobacteria from root nodules of an indigenous legume enhance salinity stress tolerance in soybean. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S.l.], v.4, e617978, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.617978/full>. Acesso em out. 2023.

JAIN, S. *et al.* Isolation and characterization of plant growth promoting bacteria from soybean rhizosphere and their effect on soybean plant growth promotion. **Int. J. Advanc. Sci. Tec.**

Res., [S.l.], v. 5, p. 397-410, 2016. Disponível em:

<http://www.rpublication.com/ijst/index.html>. Acesso em 20 fev. 2023.

KADMIRI, I. M. *et al.* Phosphate-solubilizing and auxin-producing rhizobacteria promote plant growth under saline conditions. **Arabian Journal of Science and Engineering**,

Dhahran, v.43, p. 3403-3415, 2018. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-017-3042-9>. Acesso em fev. 2024.

KALAYU, G. Phosphate Solubilizing Microorganisms: Promising Approach as Biofertilizers.

Int. J. Agron, London, v. 2019, e4917256, p. 1-7, 2019. Disponível em:

<https://www.hindawi.com/journals/ija/2019/4917256/>. Acesso em mai. 2023.

KHAN, M. A. *et al.* Halotolerant rhizobacterial strains mitigate the adverse effects of NaCl stress in soybean seedlings. **BioMed Research International**, Cairo, v.2019, e9530963,

2019. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2019/9530963/>. Acesso em jan. 2024.

KÖPPEN, W. P. Die klimate der erde: Grundriss der klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter & Co., 1923. 369p

KU, Y. *et al.* Root colonization and growth promotion of soybean, wheat and Chinese

cabbage by *Bacillus cereus* YL6. **PLoS ONE**, China, v. 13, n.11, e0200181, 2018. Disponível

em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0200181>. Acesso em fev. 2024.

LACERDA, C. F. L. *et al.* Interação entre salinidade e fósforo em plantas de sorgo forrageiro.

Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v.37, n.2, p. 258-263, 2006. Disponível em:

<http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/83711>. Acesso em jan. 2024.

LI, C. *et al.* Evaluation of *Bacillus* seed coatings on soybean phosphorus uptake in an oxisol

fertilized with ³²P-labeled. **Plant Soil**, [S. l.], v.464, p.273-287, 2021. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-021-04941-w>. Acesso em fev. 2024.

LI, H. *et al.* Soybean root traits after 24 years off different soil tillage and mineral phosphorus fertilization management. **Soil and tillage research**, [S.l.], v.165, p. 258-267. 2017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198716301866>.

Acesso em jan. 2024.

LI, S. *et al.* Modulating plant growth–metabolism coordination for sustainable agriculture.

Nature, [S.l.], v. 560, p. 595-600, 2018. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0415-5>. Acesso em 20 fev. 2023.

LIMA, A. F. S. *et al.* Physiological responses of inoculated and uninoculated peanuts under

saline stress. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.16, n.1, e2643, p.26-43, 2021. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/RjmgTzLn6Z7h6DBwZj99GJL/?lang=en>. Acesso em set. 2023.

LIN, W. *et al.* The effects of chemical and organic fertilizer usage on rhizosphere soil in tea

orchards. **PLoS ONE**, Fujian, v. 14, n.5, p.1-16. 2019. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0217018&type=printable>. Acesso em jun. 2023.

LOPES, M. J. S.; DIAS-FILHO, M. B.; GURGEL, E. S. C. Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v.5, e606454, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.606454/full>. Acesso em fev. 2024.

MAGALHÃES, I. P. B. *et al.* Produtividade e exportação de nutrientes em feijão-vagem adubado com esterco de galinha. **Revista Ceres**, Viçosa, v.64, n.1, p.098-107, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/Gz7PdqlZQbbh5PDv3ZLxNTQ/?lang=pt>. Acesso em set. 2023.

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

MARIN, R. S. F. *et al.* Efeito da adubação fosfatada na produção de sementes de soja. **Rev. Ceres**, Viçosa, v.62, n.3, p. 265-274. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/hZ6ksnbgKzqMFJSpZx8xBNP/?lang=pt>. Acesso em jan. 2024.

MARQUES, K. R. *et al.* Soil and plant bioactivator and phosphate fertilization on soybean yield characteristics. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 11, n. 11, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/34159/28690>. Acesso em 20 fev. 2023.

MASRAHI, A. S. *et al.* Role of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphate solubilizing bacteria in improving yield, yield components, and nutrients uptake of barley under salinity soil. **Agriculture**, Basel, v.13, n.3, e537, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/3/537>. Acesso em set. 2023.

MCGILL, W. B.; COLE, C. V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. **Geoderma**, Wageningen, v. 26, n. 4, p. 267-268, 1981. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706181900240?via%3Dihub>. Acesso em abr. 2023.

MILLÉO, M. V. R. *et al.* Agronomic efficiency of an inoculant based on *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 for corn and soybean crops. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Dois Irmãos, v.18, n.1, p.1-10, 2023. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v18i1a2844>. Acesso em set. 2023.

MIRANDA, R. S. *et al.* Phosphorus fertilization improves soybean growth under salt stress. **International Journal of Plant and Animal Science**, [S.l.], v.1, n.2, p.21-29, 2013. Disponível em: (PDF) Phosphorus fertilization improves soybean growth under salt stress (researchgate.net). Acesso em jan. 2024.

MOKRANI, S. *et al.* Current advances in plant growth promoting bacteria alleviating salt stress for sustainable agriculture. **Applied Sciences**, Basel, v.10, e7025, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7025>. Acesso em fev. 2024.

MORZELLE, M. C. *et al.* **Agroquímicos estimulantes, extratos vegetais e metabólicos microbianos na agricultura.**: Série produtor rural – nº63. 1. ed. Piracicaba: ESALQ – Divisão de biblioteca, 2017. 96 p.

MOTA, R. P. *et al.* Biosolid and sugarcane filter cake in the composition of organomineral fertilizer on soybean responses. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, [S.l.], v.7, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0237-3>. Acesso em abr. 2023.

MOURSY, M. E. *et al.* Response of soybean to phosphorus fertilizer under the effect of some plant growth promoting rhizobacteria. **J. Agric. Sci**, Mansoura, v.33, n.10, p.7463-7473, 2008. Disponível em: https://journals.ekb.eg/article_200723_0.html. Acesso em fev. 2024.

MUNNS, R. Genes and salt tolerance: Bringing them together. **New Phytologist**, [S.l.], v.167, p.645-663, 2005. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x>. Acesso em 20 fev. 2023.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

OLIVEIRA, F. A. *et al.* Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.11, p.1049-1056, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/bYCzk7StfZTc9GhT8brRwdw/?lang=pt>. Acesso em set. 2023.

OLIVEIRA, F. R. A. *et al.* Interação entre salinidade e fósforo na cultura do rabanete. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.4, p. 519-526, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/LVsPgZ9q4tvXm7zZ6yqtGHL/abstract/?lang=pt>. Acesso em jan. 2024.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* Microrganismos solubilizadores de fósforo e potássio na cultura da soja. In: MEYER, M. C. *et al.* (Org.) **Bioinsumos na cultura da soja**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. p. 163-179.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, [S.l.], v. 41, n. 9, p. 1782-1787, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222558504_Phosphate_solubilizing_microorganism_s_isolated_from_rhizosphere_of_maize_cultivated_in_an_oxisol_of_the_Brazilian_Cerrado_Biome. Acesso em mai. 2023.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de**

milho e soja. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 210).

OTIE, V. *et al.* Salinity effects on morpho-physiological and yield traits of soybean (*Glycine maxL.*) as mediated by foliar spray with brassinolide. **Plants**, Spain, v. 10, n. 541, p. 1-22, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/541>. Acesso em jan. 2024.

PAIVA, F. I. G. *et al.* Qualidade da fibra do algodoeiro BRS Verde irrigado com água de diferentes níveis salinos. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 1, p. 209-220, 2016. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1930>. Acesso em jun. 2023.

PAVINATO, P. S. *et al.* Revealing soil legacy phosphorus to promote sustainable agriculture in Brazil. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 10, article 15615, 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-72302-1>. Acesso em mar. 2023.

PAVLI, O. I. *et al.* Effect of salinity on seed germination and seedling development of soybean genotypes. **International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources**, Irvine, v.27, n.2, p. 1-9, 2021. Disponível em: <https://juniperpublishers.com/ijesnr/IJESNR.MS.ID.556210.php>. Acesso em dez. 2023.

PESKE, F. B.; BAUDETE, L.; PESKE, S. T. Produtividade de plantas de soja provenientes de sementes tratadas com fósforo. **Revista brasileira de sementes**, [S.l.], v.31, n.1, p. 95-101. 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/fyBL4Qmkz7Y8pWcL4qcf9mw/abstract/?lang=pt>. Acesso em jan. 2024.

PRADO, R.M. **Nutrição de Plantas**. Editora UNESP, São Paulo. 2. Ed. 2020. 407p.
PRIETO, C. A. *et al.* Bioestimulante, biofertilizante e inoculação de sementes no crescimento e produtividade da soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 2, p. 1-8, 2017. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/agrineo/article/view/1167/1367>. Acesso em abr. 2023.

RAMESH, A. *et al.* Phosphorus mobilization from native soil P-pool upon inoculation with phytate-mineralizing and phosphate solubilizing *Bacillus aryabhatai* isolates for improved P-acquisition and growth of soybean and wheat crops in microcosmos conditions. **Agric. Res.**, Nova Deli, v.3, n.2, p. 188-127, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40003-014-0105-y>. Acesso em dez. 2023.

RAN, Q. *et al.* Enhanced seed yield, essential amino acids and unsaturated fatty acids in soybean seeds with phosphorus fertilizer supply. **Journal of Food Composition and Analysis**, [S.l.], v.125, e105813, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889157523006877?via%3Dihub>. Acesso em fev. 2024.

RAWAT, P. *et al.* Phosphate-solubilizing microorganisms: Mechanism and their role in phosphate solubilizing and uptake. **Journal of soil science and plant nutrition**, Chile, v.21, p. 49-68, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42729-020-00342-7>. Acesso em jun. 2023.

RENGEK, Z; MARCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytologist**, [S.l.], v.168, n.1, p305-312, 2005. Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2005.01558.x>. Acesso em fev. 2024.

RHOADES, J.D., KANDIAH, A., MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos FAO - Irrigação e Drenagem, 48).

RIBEIRO, R. M. R. *et al.* Irrigation strategies with saline water and phosphate fertilization in cowpea culture. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 17, n. 8, e2572, 2022. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v17i3a2572>. Acesso em dez. 2023.

SÁ, F. V. S. *et al.* Phosphorus doses alter the ionic homeostasis of cowpea irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.25, n.6, p.372-379, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xSqYL6HPTbdQfv7MR9Pbv6q/abstract/?lang=en>. Acesso em fev. 2024.

SCHROEDER, J. I. *et al.* Using membrane transporters to improve crops for sustainable food production. **Nature**, [S.l.], v. 497, p. 60-66, 2013. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature11909>. Acesso em 20 fev. 2023.

SCHWAAB, E. F.; AGUIAR, C. G. Interação de inoculantes nitrogenados com *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* em soja. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v.1, n.1, p24-32, 2019. Disponível em: <https://cultivandosaber.fag.edu.br/index.php/cultivando/article/view/966>. Acesso em jan. 2024.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. C.; REIS, M. S. Melhoramento da soja. *In*: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. Ed. Viçosa, Mg: Editora UFV, 2005. p. 551-603.

SEDIYAMA, T; TEIXEIRA, R. C.; BARROS, H. B. Origem, evolução e importância econômica. *In*: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos da soja**. Londrina, PR: Mecenaz, 2009. p. 1-5.

SHAFFIQUE, S. *et al.* A newly isolated *Bacillus pumilus* strain SH-9 modulates response to drought stress in soybean via endogenous phytohormones and gene expression (Daegu, South Korea). **Plant Stress**, Netherlands, v.10, e100279, 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X2300146X?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=858700568fa751e7. Acesso em fev. 2024.

SHARMA, S. B. *et al.* Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. **Springer Plus**, [S.l.], v. 2, e587, 2013. Disponível em: <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-587>. Acesso em mai. 2023.

SILVA, A. O.; SILVA, E. F. F.; KLAR, A. E. Yield of beet cultivars under fertigation management and salinity control in a protected environment. **Chilean Journal of**

Agricultural Research. Chile, v. 76, n. 4, p. 463-470, 2016. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392016000400010. Acesso em mar. 2023.

SILVA, E. B. *et al.* Growth and nutrition of peanut crop subjected to saline stress and organimineral fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 26, n.7, p. 495-501, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/GSQs78k8JWKD8HfhSW3rJMH/>. Acesso em dez. 2022.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, [S.l.], v. 11, p. 3733-3740, 2016.

SILVA, F. C. S. *et al.* Manejo da irrigação. In: SILVA, F. *et al.* (Org.). **Soja: do plantio a colheita**. 2. Ed. São Paulo, SP: Oficina de textos, 2022. p. 176-192

SILVA, L. I. *et al.* Phosphorus-solubilizing microorganisms: A key to sustainable agriculture. **Agriculture**, Basel, v.13, n.2, p.1-33, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/2/462>. Acesso em set. 2023.

SILVA, L.I. *et al.* Phosphorus Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. **Agriculture**. [S.l.], v. 13, n.2, e462, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/2/462>. Acesso em mai. 2023.

SILVA, S. S. *et al.* Gas exchanges and production of watermelon plant under salinity management and nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.49, e54822, p.1-10, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Jd6MQJ63HBhSnBtCbr9fV4s/?lang=en>. Acesso em set. 2023.

SILVESTRINE, G. R. *et al.* Potential use of phosphate-solubilizing bacteria in soybean culture. **AgriEngineering**, [S. l.], v.5, p.1544-1554, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2624-7402/5/3/95>. Acesso em fev. 2024.

SONG, K. *et al.* Effects of the continuous use of organic manure and chemical fertilizer on soil inorganic phosphorus fractions in calcareous soil. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 7, p.1-8. 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-01232-2>. Acesso em mai. 2023.

SOUSA, G. G. *et al.* Irrigation with saline water in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a soil with bovine biofertilizer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.22, n.9, p.604-609, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/CNZ8jNLPWT3XY8Hbp399pqv/?lang=en>. Acesso em abr. 2023.

SOUSA, J. T. M. *et al.* Desempenho agrônômico de genótipos de amendoim sob estresse salino e diferentes formas de adubação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v.16, n.2, p.1-17, 2023. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/9707>. Acesso em set. 2023.

- SOUSA, R. A. *et al.* Crescimento do sorgo em função da irrigação com água salobra e aplicação de compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.12, n.1, p.2315-2326, 2018. Disponível em: <https://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/696>. Acesso em set. 2023.
- SOUZA, F. E. C. *et al.* Produtividade de diferentes genótipos de amendoim submetidos a diferentes formas de adubação. **Nativa**, Sinop, v.7, n.4, p.383-388. 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6683/5737>. Acesso em abr. 2023.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: ARTEMED, 2017. 858 p.
- TALIMAN, N. A. *et al.* Effect of phosphorus fertilization on the growth, photosynthesis, nitrogen fixation, mineral accumulation, seed yield, and seed quality of a soybean low-phytate line. **Plants**, Spain, v.8, n.119, p.1-13, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2223-7747/8/5/119>. Acesso em jan. 2024.
- TAREQ, M. S. *et al.* Salinity-induced changes in growth, physiology and yield of soybean genotypes. **Annals of Bangladesh Agriculture**, Bangladesh, v.26, n.1, p.29-48, 2022. Disponível em: <https://www.banglajol.info/index.php/ABA/article/view/67015>. Acesso em set. 2023
- TAVANTI, T. R. *et al.* Yield and quality of soybean seeds inoculated with *Bacillus subtilis* strains. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.24, n.1, p.65-71, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/BM7r9xKwmfx8h4zr6t7qDWF/?lang=en>. Acesso em fev. 2024.
- TEIXEIRA, P. C. *et al.* Manual de métodos de análise de solo. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2017. 574p.
- TIAN, J. *et al.* Phosphorus fertilization affects soybean rhizosphere phosphorus dynamics and the bacterial Community in karst soils. **Plant soil**, Switzerland, v.475, p. 137-152, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-020-04662-6>. Acesso em jan. 2024.
- TORRES, P. *et al.* Phenotypic, genomic and *in planta* characterization of *Bacillus sensu lato* for their phosphorus biofertilization and plant growth promotion features in soybean. **Microbiological Research**, [S.l.], v.280, e.127566, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501323002689?via%3Dihub>. Acesso em fev. 2024.
- YAN, N. *et al.* Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, [S. l.], v.3, p. 316-323, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209563391530112X?via%3Dihub>Acesso em fev. 2024.
- ZAINUDDIN, M. *et al.* Effect of integrated biofertilizers with chemical fertilizers on the oil palm growth and soil microbial diversity. **Biocatalysts and Agricultural Biotechnology**,

Taichung, v.39, e102237, 2022. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818121003339?via%3Dihub>. Acesso em set. 2023.