



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

TESE DE DOUTORADO

**INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO BACTERIANA EM FEIJÃO-CAUPI SOB
SALINIDADE: EFEITOS NA NODULAÇÃO, CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E
PRODUÇÃO.**

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO DE 2022



ELKA COSTA SANTOS NASCIMENTO
Engenheira Agrícola

**INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO BACTERIANA EM FEIJÃO-CAUPI SOB
SALINIDADE: EFEITOS NA NODULAÇÃO, CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E
PRODUÇÃO.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. DSc. Ronaldo do Nascimento

CAMPINA GRANDE – PB

JULHO DE 2022

N244i

Nascimento, Elka Costa Santos.

Inoculação e coinoculação bacteriana em feijão-caupi sob salinidade : efeitos na nodulação, crescimento, fisiologia e produção. / Elka Costa Santos Nascimento – Campina Grande, 2024.

73 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento."

Referências.

1. Fixação biológica de nitrogênio. 2. *Vigna unguiculata* L. 3. Walp. 4. Salinidade. 5. Fisiologia vegetal. I. Nascimento, Ronaldo do. II. Título.

CDU 635.654(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM



FOLHA DE ASSINATURA DA TESE DE DOUTORADO
ELKA COSTA SANTOS NASCIMENTO

**INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO BACTERIANA EM FEIJÃO-CAUPI SOB
SALINIDADE: EFEITOS NA NODULAÇÃO, CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E
PRODUÇÃO.**

BANCA EXAMINADORA

DSc. Ronaldo do Nascimento - Orientador

DSc. Maria Sally Sobral de Farias - Examinadora interna

DSc. Viviane Farias Silva - Examinadora externa

DSc. José Alberto Ferreira Cardoso - Examinador externo



Documento assinado eletronicamente por **RONALDO DO NASCIMENTO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/09/2022, às 10:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **ELKA COSTA SANTOS NASCIMENTO, Usuário Externo**, em 15/09/2022, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VIVIANE FARIAS SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/09/2022, às 15:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 15/09/2022, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **2729398** e o código CRC **22A04C23**.

Aos meus filhos, Ladhu Gopal, Maya Devi e Nitai Goura, minhas inspirações.

DEDICO

“Quando você planta uma semente de amor, é você que floresce.”

Ma Jaya Sati Bhagavati

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todo seu amor e presença constante em minha vida.

Aos meus pais, Gerusa e Hamilton, que sempre me incentivaram a seguir em frente e alcançar meus objetivos.

Ao meu esposo, Leandro, pelo companheirismo, apoio, amizade, amor e compreensão na minha jornada acadêmica.

Aos meus filhos, Gopal, Maya e Nitai, por todo amor recebido, pela paciência nos dias atarefados.

Ao meu orientador, DSc. Ronaldo do Nascimento, pelos ensinamentos, respeito, compreensão, confiança e dedicação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, pela oportunidade concedida à realização do curso.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG, pelos ensinamentos prestados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da bolsa de estudo e incentivo a pesquisa.

A empresa Total Biotecnologia pela disponibilidade dos inoculantes essenciais para essa pesquisa.

Aos meus companheiros de pesquisa, Allesson, Carlos, Robson, Rafaela e Mateus, agradeço imensamente por todo apoio, sem eles não seria possível o desenvolvimento desse trabalho. Obrigada pela disponibilidade e companheirismo.

Aos meus amigos da pós, em especial, Mari, Mayra, Jean, Felipe, Hallysson, Antônio e André por todo apoio.

Aos funcionários da Coordenação da Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Dona Cida, Gilson, Roberto e Aldaniza, pela prestatividade.

Aos funcionários do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), Doutor (*in memoriam*) e Wilson, pelo auxílio nas tarefas sempre que necessitava.

Aos membros da banca examinadora, representada por Prof^a. DSc. Maria Sallydelândia, Prof^a. DSc. Viviane Farias e ao Prof. DSc. José Alberto pela disposição e contribuição para a melhoria do meu trabalho.

De forma geral, gostaria de agradecer àqueles que, de uma forma ou de outra, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização e sucesso deste trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físicas do solo.....	28
Tabela 2. Caracterização química (fertilidade) do solo.....	28
Tabela 3. Resumo das análises de variância para a altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.....	35
Tabela 4. Resumo da análise variância referente a fitomassa seca das folhas (FSF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), fitomassa seca de raiz (FSR) e a relação entre FSR e FSPA (R/PA).....	40
Tabela 5. Resumo da análise de variância para a condutância estomática (gs), transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO ₂ (Ci) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.	44
Tabela 6. Resumo da análise de variância para a eficiência instantânea de uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.....	47
Tabela 7. Resumo da análise de variância para teor de clorofila a (CLa), teor de clorofila b (CLb) teor de clorofila total (CLT) e teor de carotenóides (CAT) do feijão-caupi em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.....	49
Tabela 8. Resumos da análise de variância referente à massa fresca de nódulos (MFN) e massa seca de nódulos (MSN) do feijão-caupi submetidos as diferentes fontes de nitrogênio sob salinidade.	52
Tabela 9. Resumos da análise de variância referente ao número de vargens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e produção (PROD) do feijão-caupi submetidos as diferentes fontes de nitrogênio sob salinidade.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da casa de vegetação na UFCG.	26
Figura 2. Disposição dos vasos na área experimental.	27
Figura 3. Avaliação de trocas gasosas nas folhas do feijão-caupi.....	32
Figura 4. Altura de plantas - AP (cm) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.	36
Figura 5. Diâmetro do caule - DC (mm) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.	37
Figura 6. Número de folhas - NF (unidade) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.	38
Figura 7. Área foliar – AF (cm ²) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.	39
Figura 8. Fitomassa seca das folhas-FSF (A) e a fitomassa seca da parte aérea-FSPA (B) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.	41
Figura 9. Fitomassa seca de raiz (A) e R/PA (B) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.....	43
Figura 10. Transpiração (<i>E</i>) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio aos 60 dias após semeadura.....	45
Figura 11. Fotossíntese líquida (A) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após semeadura.	46
Figura 12. Eficiência instantânea de uso da água (EiUA) do feijão-caupi em função das fontes de nitrogênio, aos 60 dias após semeadura.	48
Figura 13. Teor de clorofila a – CLa (A), clorofila b – CLb (B) e clorofila total – CLT (C) do feijão-caupi em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.	50
Figura 14. Carotenóides – CAT (D) do feijão-caupi em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.....	51
Figura 15. Massa fresca de nódulos (MFN) em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.	52

Figura 16. Massa seca de nódulos (MSN) em função da interação entre em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.....	54
Figura 17. Número de vargens por planta (NVP) do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.....	56
Figura 18. Número de grãos por planta (NGP) do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.	57
Figura 19. Produção do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.....	58

SUMÁRIO

RESUMO	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1 Aspectos gerais e importância econômica do feijão-caupi	18
3.2 Salinidade em feijão-caupi.....	19
3.3 Fixação biológica de nitrogênio (FBN).....	21
3.4 Inoculação e Coinoculação com <i>Bradyrhizobium ssp.</i> e <i>Azospirillum brasilense</i>	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 Localização e caracterização da área experimental	26
4.2 Delineamento experimental e tratamentos	27
4.3 Preparo das unidades experimentais e solo utilizado.....	27
4.4 Inoculação e coinoculação das sementes com as bactérias	28
4.5 Adubação e semeadura.....	29
4.6 Preparo da água salinizada e manejo da irrigação	29
4.7 Tratos culturais e fitossanitários.....	30
4.8 Variáveis analisadas	31
4.8.1 Variáveis de crescimento	31
4.8.2 Parâmetros fisiológicos	32
4.8.3 Dados de nodulação	33
4.8.4 Componentes de produção	34
4.9 Análise estatística.....	34
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1 Variáveis de Crescimento	35
5.1.1 Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) 35	
5.1.2 Produção de fitomassa	40
5.2 Parâmetros fisiológicos	44

5.2.1 Trocas gasosas	44
5.2.2 Pigmentos fotossintéticos.....	49
5.3 Dados de nodulação	52
5.4 Componentes de produção	55
6 CONCLUSÕES.....	59
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

INOCULAÇÃO E COINOCULAÇÃO BACTERIANA EM FEIJÃO-CAUPI SOB SALINIDADE: EFEITOS NA NODULAÇÃO, CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO

RESUMO

A cultura do feijão-caupi possui grande importância socioeconômica para o Nordeste brasileiro, porém, pela escassez hídrica presente na região sua produção é reduzida. Quando irrigada, pela salinidade da água e a disponibilidade de nitrogênio na planta são necessárias estratégias de cultivo, como a coinoculação de bactérias diazotróficas e bactérias promotoras de crescimento em plantas, favorecendo um incremento da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Dessa forma, o objetivo deste trabalho baseou-se em avaliar a eficiência da inoculação e coinoculação com as bactérias *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense* em feijão-caupi sob salinidade. Para tanto, o experimento foi conduzido em casa de vegetação no campus I da Universidade Federal de Campina Grande. Os tratamentos se constituíram de T1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); T2 (adubado com N mineral e sem inoculante); T3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e T4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*) submetidos aos níveis salinos de 0,4; 1,9; 3,4; 4,9 e 6,4 dS.m⁻¹. O arranjo experimental em blocos casualizados, em esquema fatorial 4x5 com cinco repetições, perfazendo 100 unidades experimentais. Foram avaliados aspectos de crescimento, produção, fisiologia e nodulação. As variáveis foram submetidas à análise de variância através do software estatístico SISVAR e o nível de significância pelo teste de médias por teste de Tukey ($p < 0,05$) para os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa, enquanto os dados de natureza quantitativa foram pelo estudo de regressão. No nível da salinidade limiar do feijão-caupi, 3,4 dS.m⁻¹, a inoculação refletiu em maior produção. O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação afetou negativamente a nodulação, o crescimento, fisiologia e a produção de feijão-caupi da variedade “corujinha”.

Palavras-chave: Fixação biológica de Nitrogênio, *Vigna unguiculata* L. Walp, salinidade, fisiologia vegetal.

BACTERIAL INOCULATION AND CO-INOCULATION IN COWBEANS UNDER SALINITY: EFFECTS IN NODULATION, GROWTH, PHYSIOLOGY AND PRODUCTION

ABSTRACT

The cowpea crop has great socioeconomic importance for the Brazilian Northeast, but in this region, its production is reduced by water scarcity and, when irrigated, by the salinity of the water, and availability of nitrogen to the plant, making it necessary to use of cultivation strategies, such as the co-inoculation of diazotrophic bacteria and growth-promoting bacteria in plants, favoring an increase in biological nitrogen fixation (BNF). Thus, the objective of this work was to evaluate the efficiency of inoculation and co-inoculation with *Bradyrhizobium* ssp. and *Azospirillum brasilense* in cowpea under salinity. The experiment was carried out in a greenhouse on campus I of the Federal University of Campina Grande. The treatments consisted of T1 (without mineral N fertilizer and without inoculant); T2 (fertilized with mineral N and without inoculant); T3 (*Bradyrhizobium* ssp. inoculation) and T4 (*Bradyrhizobium* ssp. and *Azospirillum brasilense* co-inoculation) submitted to saline levels of 0.4; 1.9; 3.4; 4.9 and 6.4 dS.m⁻¹. The experimental arrangement was in randomized blocks, in a 4x5 factorial scheme with five replications, totaling 100 experimental units. Aspects of growth, production, physiology and nodulation were evaluated. The variables were submitted to analysis of variance through the statistical software SISVAR and the level of significance by the Tukey test of means ($p < 0.05$) for the data obtained in the different treatments of qualitative nature, while the data of a quantitative nature were submitted to the regression study. At the threshold salinity level of cowpea, 3.4 dS.m⁻¹, inoculation resulted in higher production. The increase in the electrical conductivity of irrigation water negatively affected the nodulation, growth, physiology and production of cowpea of the “corujinha” variety.

Keyword: biological nitrogen fixation, *Vigna unguiculata* L. Walp, salinity, plant physiology.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), conhecido popularmente por feijão-de-corda, é cultivado, em maior parte, nas regiões Norte e Nordeste brasileiro (BRASIL, 2019), sobretudo, para produção de grãos verdes e secos visando o consumo *in natura* (SILVA et al., 2016). Para a região Nordeste do Brasil é uma cultura granífera de grande importância socioeconômica, por possuir elevada qualidade nutricional, sendo importante fonte de proteína, contendo, inclusive, todos os aminoácidos essenciais, minerais e fibras.

No Brasil, a produção total de feijão-caupi na safra 2019/2020 foi de 712,6 mil toneladas, colhidas em 1.307,8 mil hectares, com uma produtividade média de 545 kg ha⁻¹. No mesmo período, a região Nordeste produziu 476,9 mil toneladas, o que representa aproximadamente 67% da produção do país (CONAB, 2021), ainda de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento, em seu boletim de acompanhamento de safra 2020/21, consta uma produção estimada de 692 mil toneladas do feijão-caupi no Brasil.

Como exposto a região Nordeste se destaca como a principal produtora e consumidora de feijão-caupi no Brasil, todavia, ainda é uma cultura que necessita de desenvolvimento de pesquisa e de tecnologia para aumentar a produção e evitar perdas (PEREIRA et al., 2020). Apesar do destaque os rendimentos alcançados são baixos, pois o potencial produtivo da espécie pode chegar a 3000 kg ha⁻¹, dependendo da cultivar e de tecnologias adequadas (SALGADO et al., 2011). Essa queda é consequência da baixa tecnologia empregada na produção, das irregularidades pluviométricas e da insuficiência na disponibilidade de nutrientes no solo da região, sobretudo, o nitrogênio (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2019).

De acordo com Toledo et al. (2017), a prática da irrigação, principalmente, em regiões que apresentam irregularidades pluviométricas, garante a viabilidade econômica do cultivo do caupi, entretanto, em diversas localidades do Semiárido brasileiro a água disponível para a prática contém elevados teores de sais. E a irrigação com água salina, proporciona aumento na concentração de sais na zona radicular, afetando a absorção de água e nutrientes, limitando o crescimento e o desenvolvimento das culturas (HUSSAIN et al., 2015), sendo importante a realização de pesquisas abordando a irrigação com água salinas, para se obter informações sobre o manejo e sensibilidade da cultura.

Outro fator limitante à produção de grãos, é o nitrogênio (N), (CAVALCANTE et al., 2017), sendo ele um dos elementos essenciais para a produção do feijão-caupi. Dentre os insumos agrícolas mais usados no fornecimento de nitrogênio, inclusive, no cultivo do feijão-

caupi, estão os fertilizantes nitrogenados (HUNGRIA et al., 2008), no entanto, possuem elevado custo, alto gasto de fontes energéticas na sua fabricação, baixa eficiência de utilização pelas plantas e risco ambiental, uma vez que, parte do N aplicado pode ser perdido por diversas vias como desnitrificação, volatilização de amônia (NH₃) e lixiviação do nitrato (NH₃⁻) (GILABE, 2018).

Para suprir de forma nutricional a planta em relação ao nitrogênio, a inoculação com rizóbios, tem sido largamente usada na cultura da soja, por exemplo, com grande sucesso. É uma tecnologia comprovadamente barata e com impactos positivos sobre o ambiente. As pesquisas indicam que, o uso de associação entre genótipos de feijão-caupi e bactérias do gênero rizóbio para a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é uma alternativa viável de suprimento de nitrogênio para a planta, proporcionando incrementos na produção devido aos menores custos com uso de fertilizantes nitrogenados, sendo a FBN importante na produção sustentável de alimentos agrícolas (SOUZA et al., 2015) e no incremento produtivo (ZUFFO et al., 2015).

Além dos Rizóbios específicos para as leguminosas, existem outros microrganismos que podem trazer grandes benefícios ao caupi, como as bactérias pertencentes ao gênero *Azospirillum* que de forma associativa são capazes de promover o crescimento das plantas, como a produção de hormônios de crescimento que resulta em maior desenvolvimento do sistema radicular, possibilitando uma maior nodulação, potencializando a fixação do N₂ atmosférico (HUNGRIA et al., 2013).

Dessa forma, o uso das bactérias *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* em feijão-caupi se torna uma alternativa para o agricultor no semiárido, reduzindo os custos com adubação nitrogenada e aumentando a produção, irrigado com água salina.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o efeito da inoculação e coinoculação com *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense* na nodulação, crescimento, fisiologia, e produção do feijão-caupi irrigado com água salina.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a nodulação do feijão-caupi (massa fresca e seca total de nódulos por planta) inoculado e coinoculado com as bactérias *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense* sob salinidade crescente;

Analisar o crescimento do feijão-caupi submetido aos tratamentos N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp.) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp e *Azospirillum brasilense*) sob salinidade crescente;

Mensurar o efeito da inoculação e coinoculação com *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense* através dos parâmetros fisiológicos do feijão-caupi sob salinidade crescente;

Quantificar a produção do feijão-caupi inoculado e coinoculado com as bactérias *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense* da água de irrigação.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Aspectos gerais e importância econômica do feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) é uma planta dicotiledônea, pertencente à família Fabaceae, do gênero *Vigna* (EMBRAPA, 2019). De origem africana foi introduzida no Brasil no século XVI, no estado da Bahia pelos portugueses, posteriormente seu cultivo foi se expandindo para outros estados, como os da região Norte e Nordeste (BRITO et al., 2015; SANTOS, 2017).

O caupi é uma excelente fonte de proteínas (23 a 25% em média) e possui todos os aminoácidos essenciais, carboidratos, vitaminas e minerais, além de grandes quantidades de fibras e baixa quantidade de gordura. Por seu valor nutritivo, é cultivado para o consumo humano, *in natura*, na forma de conserva ou desidratado e, principalmente, para produção de grãos, secos ou verdes (EMBRAPA, 2017). Em várias regiões do mundo, as folhas também são usadas como forragem ou silagem, além de incorporadas no solo como adubo verde (PEREIRA & MENESES, 2019).

A cultura apresenta ciclo curto e consegue fixar nitrogênio no solo (FBN). A sua germinação ocorre de 2-3 dias após a semeadura, sendo a faixa de temperatura ideal para seu desenvolvimento entre 20 °C e 35 °C, e a formação de nódulos de rizóbios ocorre preferencialmente com temperaturas variando de 24 °C a 33 °C (ARAÚJO et al., 1984; RIBEIRO et al.; 2015). Apresenta metabolismo C3 sendo sua capacidade fotossintética máxima atingida a partir de 20 dias de desenvolvimento (FREIRE FILHO et al., 2005).

Quanto ao manejo, as principais pragas que atacam a leguminosa são a vaquinha, lagartas desfolhadoras, pulgões, mosca-branca e a traça dos grãos (SILVA et al., 2005), cada uma ataca a planta em uma determinada fase do desenvolvimento fenológico, além de atacar os grãos no armazenamento. Em relação as doenças, as de maior ocorrência na cultura do feijão são o oídio, nematoses, cercospora, podridão das vagens, ferrugem, mosaico e murcas bacterianas (FREIRE FILHO et al., 2005).

A produção de feijão-caupi no Brasil está condicionada as condições ambientais com uma produtividade média de 449 kg ha⁻¹, entretanto, na região Nordeste do país está ligada, na maioria das vezes, as condições adversas do meio ambiente, dentre elas, as precipitações pluviométricas irregulares, que limita a produção agrícola, influenciando todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das plantas (DAMATTA, 2007; CONAB, 2020).

A região tem uma grande participação na área cultivada, com cerca de 80% da área plantada em todo país, porém, com baixa produtividade, que pode ser incrementada com o uso

de inoculantes de bactérias fixadoras de nitrogênio. Por ser uma fonte de emprego e renda na área rural, o aumento da sua produtividade beneficia os agricultores familiares (SABOYA, et al., 2013; CONAB, 2017). O seu cultivo impacta na geração de renda da agricultura familiar e atinge de 98% a 100% da área total plantada com feijão nos estados do Maranhão, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (SILVA et al., 2018). Conforme os dados estimados da CONAB (2020), o Ceará e a Bahia receberam destaque nas produções do feijão-caupi entre os estados do Nordeste brasileiro, na safra de 2019/2020, com uma produção de 144,9 mil toneladas e 109,6 mil toneladas, respectivamente.

A produtividade do feijão-caupi na região Nordeste e no Brasil não reflete o potencial que tem a cultura, em consequência, do manejo inadequado e da fertilidade do solo pela insuficiência de nitrogênio (DUTRA et al., 2012; SANTANA et al., 2020).

Dentre as cultivares comerciais mais cultivadas para a produção de grãos secos no Nordeste, se destaca a cv. Corujinha, a qual apresenta grãos de tegumento liso e cor mosqueada, cinza ou azulada (EMBRAPA, 2017) e ciclo médio variando de 71 a 90 dias (VIEIRA, 2015).

3.2 Salinidade em feijão-caupi

O cultivo de plantas, em condições salinas, apresenta reduções em seu crescimento, desenvolvimento e na produção, por causa da redução do potencial osmótico da solução do solo e do desbalanceamento nutricional, em razão da elevada concentração iônica, especialmente, o sódio, inibindo a absorção de outros nutrientes e o efeito tóxico de íons, particularmente o cloro e sódio (GHEY et al., 2016). Além da redução na capacidade fotossintética, em virtude das limitações estomáticas e não estomáticas, causando redução no crescimento e na produtividade das plantas (SILVA et al., 2013).

O feijão-caupi é classificado como uma espécie moderadamente tolerante à salinidade da água de irrigação, tendo o nível de 3,3 dS.m⁻¹ como salinidade limiar (AYERS; WESTCOT, 1999). De acordo com Souza et al. (2014), as concentrações de sais que restringem o crescimento variam entre as cultivares e parecem depender da composição iônica do meio, das concentrações de íons potencialmente tóxicos, em particular, Na⁺ e Cl⁻, que proporcionam redução no crescimento foliar e na assimilação líquida de carbono, repercutindo de forma negativa na produtividade da cultura (CALVET et al., 2013).

A salinização do solo causa efeitos negativos para as plantas pelo aumento do potencial osmótico do solo, que resulta em maior gasto energético no processo de absorção da água do solo e dos demais elementos vitais; pela toxicidade iônica, sobretudo, sódio, boro, bicarbonatos e cloretos, que em concentrações elevadas causam distúrbios fisiológicos nas plantas (DIAS et al., 2010; PEDROTTI et al., 2015). Pesquisadores enfatizam que o excesso de sais pode comprometer as funções fisiológicas das plantas causando estresse osmótico, o que resulta em alterações de absorção de nutrientes essenciais e acumulação de íons tóxicos (AQUINO et al., 2017).

A salinização também pode provocar desequilíbrio nutricional em virtude da significativa alteração nos processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes na planta, além de afetar negativamente a absorção de água pelas raízes. A presença de sais na solução do solo acarreta diminuição do potencial hídrico externo. O déficit hídrico nos tecidos das plantas em decorrência do efeito osmótico pode provocar o fechamento estomático para reduzir as perdas de água por transpiração, o que reduz a taxa fotossintética e afeta o desenvolvimento e produtividade das plantas ao longo do seu ciclo (SILVA et al., 2013; PEDROTTI et al., 2015).

Elevados teores de sais na água de irrigação podem alterar a anatomia do feijão-caupi (GARZÓN & GARCÍA, 2011), podendo ocorrer redução da matéria seca total e da nodulação, que é justificada pelos efeitos tóxicos e nutricionais na zona radicular, afetando a assimilação líquida de CO₂, inibindo a expansão foliar, reduzindo a área fotossintética e, por fim, a produção de fotoassimilados (NEVES et al., 2009) assim como a redução do teor de proteína nos grãos (DANTAS et al., 2002).

Os pesquisadores Singh et al. (2008) afirmam que, a salinidade do solo pode limitar os processos simbióticos, afetando tanto a sobrevivência quanto a proliferação de rizóbios no solo e na rizosfera, causando a inibição do processo de nodulação nas raízes. Segundo L'Taief et al. (2012), a seleção de estirpes de rizóbio adaptáveis ao estresse de salinidade e temperatura elevada da região semiárida amplia as chances de sucesso para a introdução e estabelecimento da bactéria na associação com o feijão-caupi, aumentando a produtividade de grãos. Para que o processo de fixação biológica de nitrogênio seja eficiente é necessário que sejam selecionadas estirpes nativas adaptadas às condições edafoclimáticas. A seleção, por sua vez, é feita com o objetivo de ter um inoculante competitivo capaz de se estabelecer mais rapidamente no solo e tolerar melhor os estresses ambientais como temperatura, salinidade e acidez (SILVA et al., 2002).

Segundo Medeiros et al. (2008), a nodulação do feijão-caupi, pelo *Bradyrhizobium* sp., foi reduzida em concentrações salinas superiores a 2 dS.m⁻¹. Todavia, Santos (2017) com o objetivo de avaliar o sinergismo da coinoculação com *Bradyrhizobium* sp. e bactérias promotoras de crescimento em plantas (BPCP) como alternativa para otimizar a performance simbiótica e o desenvolvimento do feijão-caupi com e sem indução do estresse, concluiu que as plantas coinoculadas apresentam maior tolerância ao estresse oxidativo, induzido pelo estresse salino, afirmando ainda que a coinoculação é promissora na proteção ao dano oxidativo quando inoculadas em plantas de feijão-caupi.

3.3 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) é o processo pelo qual alguns microrganismos de vida livre, associativos ou simbióticos fixam o nitrogênio atmosférico, transformando-o em amônia, uma forma prontamente assimilável pelas plantas (CARVALHO et al., 2019).

O nitrogênio (N) é o nutriente que, frequentemente, limita as produções agrícolas no Brasil. Na cultura do feijão-caupi possui papel importante na produção, uma vez que, além do crescimento e desenvolvimento das plantas, atua na formação e enchimento de grãos, garantindo uma produção rentável (DUTRA et al., 2012), necessitando para seu pleno desenvolvimento uma quantidade superior a 100 kg ha⁻¹ de N (BEZERRA NETO et al., 2015). É, portanto, considerado elemento muito importante, por desempenhar diversas funções na planta, como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos, em virtude disso, a deficiência desse mineral pode inibir rapidamente o crescimento vegetal (TAIZ et al., 2017).

Para a cultura do feijão, as principais fontes de nitrogênio são as aplicações de adubos minerais nitrogenados, como a ureia, matéria orgânica decomposta e através da fixação biológica de N₂ atmosférico, que ocorre devido à simbiose com as bactérias pertencentes ao gênero rizóbio (ALMEIDA JÚNIOR, 2018). Dentre as fontes fornecedoras de N, evidencia-se a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que representa, segundo Taiz et al. (2017), a forma mais importante de fixar o nitrogênio atmosférico N₂ em amônio pelas plantas, visando suprir a demanda de nitrogênio que é necessária para o desenvolvimento da cultura. O gás nitrogênio, abundante no ar atmosférico, cerca de 80%, não pode ser diretamente usado pelos vegetais superiores por causa da tripla ligação existente entre os dois átomos de nitrogênio, e precisa estar sob forma combinada para satisfazer as necessidades nutricionais das plantas (HOFFMAN et al., 2014; EMBRAPA, 2017).

A FBN é um processo intermediado por bactérias, genericamente conhecidas como rizóbios, que induzem a formação de nódulos nas raízes de leguminosas (HUNGRIA & KASCHUK, 2014), devido a enzima nitrogenase, a qual converte o nitrogênio atmosférico (N₂) em duas moléculas de amônia (NH₃), forma assimilável pelas plantas (LOPES et al., 2016). Os compostos nitrogenados produzidos pelos rizóbios são trocados por carboidratos fornecidos pela planta hospedeira e estes são empregados como fonte de energia pelos micro-organismos (CLARKE et al., 2014).

A FBN se constitui como uma via principal de incorporação do nitrogênio à biosfera e depois da fotossíntese é considerado o processo biológico mais importante para as plantas sendo fundamental para a vida na Terra (EMBRAPA, 2019), essa adição pode contribuir para o aumento da área foliar da planta, e quanto maior a área foliar, maior a captação de radiação solar, influenciando positivamente no aumento de grãos e a qualidade deles (SCHERER et al., 2015).

Do ponto de vista agrícola, a fixação biológica de nitrogênio é crucial, pois os fertilizantes à base do nitrogênio produzidos industrialmente possuem elevados custos econômicos e ambientais, além de não estarem acessíveis para muitos agricultores familiares (TAIZ et al., 2017). Os benefícios dos processos ecológicos desempenhados por estes microrganismos por meio da FBN, do controle biológico, da promoção de crescimento vegetal e da solubilização de nutrientes contribuem para aumentar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (MARTINS et al., 2003; ALCANTARA et al., 2014).

De acordo com Campo (2018), a FBN é um exemplo de técnica sustentável na agricultura, ele cita como exemplo a vantagem da substituição dos fertilizantes nitrogenados pela fixação biológica de nitrogênio por meio da inoculação, a redução da emissão dos gases de efeito estufa, que está estimada em 62 milhões de toneladas de equivalentes de gás carbônico emitidos por ano. Visando esse benefício ambiental o processo foi incluído no programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC) do MAPA.

O feijão-caupi é considerado uma planta de boa capacidade de nodulação e com alta eficiência de fixação de N atmosférico, podendo dispensar a adubação nitrogenada (EMBRAPA, 2017). Em sua pesquisa Brito et al. (2011) concluíram que, a fixação simbiótica de nitrogênio fornece a maior parte do N acumulado nas plantas de feijão-caupi, quando comparada ao solo e a ureia.

Conforme a Embrapa (2019), as culturas como: feijão-caupi, milho e feijoeiro comum, consideradas importantes para o Brasil, tanto pela extensão da área que ocupam

como pelo alto consumo de fertilizantes, podem ser beneficiadas pela fixação biológica de nitrogênio. Juntas, elas ocupam 61,3 milhões hectares e consomem 1.890 milhão de toneladas de fertilizantes nitrogenados.

De forma geral, é possível concluir que, para que ocorra uma redução eficiente do uso de fertilizantes químicos, é preciso uma intensificação das pesquisas de modo a ser disponibilizados inoculantes apropriados para cada tipo de cultura e práticas que favoreçam a fixação biológica de nitrogênio, com isso, além de proporcionar a redução do consumo de fertilizantes nitrogenados, incentiva uma agricultura com níveis elevados de produção, baixos custos e baixos impactos ambientais (EMBRAPA, 2019).

3.4 Inoculação e Coinoculação com *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*

A inoculação é o processo do qual, bactérias fixadoras de nitrogênio são adicionadas às sementes das plantas antes da semeadura, tendo como objetivo estabelecer uma população vigorosa de bactérias, chamadas de rizóbios, em torno das raízes. A inoculação é feita com um produto chamado inoculante, que não polui o solo, fornece nitrogênio para as plantas, sendo mais barato que o adubo químico nitrogenado.

O inoculante que contém rizóbios é desenvolvido e produzido de acordo com protocolos aprovados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (COSTA, 2020). Silva (2019) define o inoculante, como um produto ou formulação composto-se de um determinado micro-organismo que possui objetivo de introduzir ou aumentar a comunidade edáfica no ambiente de interesse, isto é, estimulando o crescimento da planta.

Atualmente, existem quatro estirpes do gênero *Bradyrhizobium* autorizadas para uso em inoculantes na cultura do feijão-caupi, a citar: UFLA 3-84 (SEMIA 6461); BR 3267 (SEMIA 6462); INPA 03-11B (SEMIA 6463) e BR 3262 (SEMIA 6464), as quais fazem parte da composição de inoculantes que normalmente são comercializados em veículo turfoso ou líquido (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Além do uso do *Bradyrhizobium* na inoculação, as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), especificamente as do gênero *Azospirillum*, também estão sendo utilizadas no processo, sendo responsáveis por aumentar o sistema radicular e o volume de solo explorado, possibilitando assim, uma maior absorção de nutrientes do solo e nodulação (GITTI, 2019).

Os mecanismos de promoção do crescimento vegetal, proporcionados pelas BPCV compreendem a fixação biológica de nitrogênio (BALDANI & BALDANI, 2005), o aumento da atividade do nitrato redutase vegetal quando em interações endofíticas, a produção de hormônios como auxinas, citocininas (TIEN et al., 1979), giberelinas (BOTTINI et al., 1989) e uma variedade de outras moléculas; a solubilização de fosfatos (RODRIGUEZ et al., 2004).

A capacidade do *Azospirillum* para produzir hormônios vegetais, proporcionando a modificação no sistema radicular, é um argumento que comprova o potencial benéfico de seu uso na agricultura (CASSÁN & DÍAZ-ZORITA, 2016). Em escala global, os efeitos da excessiva adubação nitrogenada causam sérios problemas ao ambiente, contaminando água potável com nitratos e acidificando os solos (HUNGRIA et al.; 2013). Nos últimos anos, houve um aumento no uso das BPCV como inoculantes no intuito de diminuir o consumo de insumos agrícolas tem aumentado, uma importante prática para expandir a sustentabilidade da agricultura (SOUZA et al.; 2015).

A coinoculação é baseada na mistura de inoculantes, ou seja, combinações de microrganismos que interagem sinergicamente, a inoculação mista de rizóbios com outras rizobactérias promotoras de crescimento de plantas como alternativa promissora para aumento do crescimento das plantas, melhoria da nodulação e otimização da fixação de N₂ em leguminosas como caupi (ARAÚJO et al., 2012).

A inoculação mista de *Azospirillum* com rizóbios em leguminosas pode potencializar a nodulação e aumento na produção de grãos, quando a interação entre as espécies bacterianas é positiva (CHIBEBA et al., 2015). O efeito benéfico da associação se deve, na maior parte, a capacidade que a bactéria *Azospirillum brasilense* tem de produzir fitormônios, que resulta em maior desenvolvimento do sistema radicular, e, portanto, a possibilidade de explorar um volume mais amplo de solo (BÁRBARO et al., 2008; PERES, 2014).

A coinoculação com rizóbio e bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) é uma alternativa que visa aumentar a produção, em que a coinoculação é realizada com diferentes combinações de micro-organismos que produzem um efeito sinérgico, ou seja, o incremento produtivo da combinação excede os obtidos de uma maneira isolada (ZUFFO et al., 2015). As BPCV promovem nas plantas o aumento na taxa de germinação, comprimento das raízes, aumento do número de folhas, além do rendimento, da nodulação e da fixação biológica de nitrogênio (SOUZA, 2015).

Diversos estudos comprovam que o aumento da eficiência do processo de nodulação e, conseqüentemente, da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) é uma das formas de

proporcionar o maior crescimento da planta, incrementar a produtividade da cultura do feijão-caupi e reduzir os custos com fertilizantes nitrogenados (ALCANTARA et al., 2014; BATISTA et al., 2017).

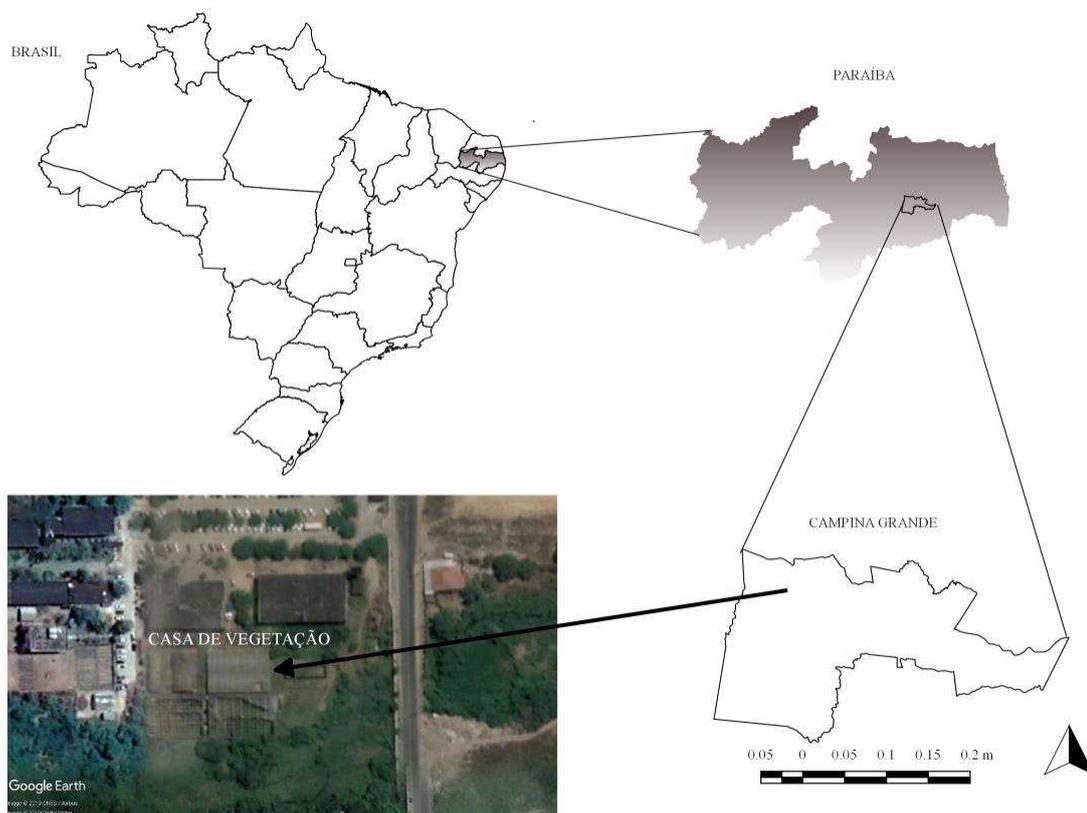
A coinoculação é considerada uma tecnologia em sintonia com a abordagem atual da agricultura, que respeita as demandas de altos rendimentos, mas com sustentabilidade agrícola, econômica, social e ambiental. Vale ressaltar também que foram confirmados incrementos no rendimento de grãos, em relação à inoculação exclusivamente com rizóbios. Desse modo, além de ambientalmente sustentável, é uma tecnologia altamente rentável para o agricultor. (EMBRAPA, 2014).

Em sua pesquisa Oliveira (2020) ao avaliar o desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi inoculados com Rizóbio no Semiárido Brasileiro, concluiu que a inoculação de sementes de feijão-caupi com as estirpes BR 3262 e BR 3267 de *Bradyrhizobium* spp. foi capaz de proporcionar rendimento de grãos verdes e secos, semelhante ao obtido com aplicação de adubação mineral de N. Rocha et al. (2019) afirmam que, a inoculação das sementes de feijão-caupi com a estirpe de Rizóbio BR 3267 é a alternativa que proporcionou o maior ganho produtivo, em comparação a adubação com ureia, no manejo da cultura do feijão-caupi.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em ambiente protegido (casa de vegetação), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), localizado no município de Campina Grande ($7^{\circ}12'52,56''S$; $35^{\circ}54'22,26''O$ e 532 m de altitude), Paraíba, (Figura 1), no período de julho a outubro de 2020. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Csa, mesotérmico, subúmido, com período de estiagem quente e seco (4 a 5 meses) e período chuvoso de outono a inverno.



(Qgis, 2019)

4.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 4×5 com 5 repetições, totalizando 100 unidades experimentais. Os fatores consistiram em quatro fontes de nitrogênio, sendo elas, N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium ssp*) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium ssp* e *Azospirillum brasilense*) combinados com cinco níveis de condutividade elétrica da água de irrigação - CEa 0,4; 1,9; 3,4; 4,9 e 6,4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Os níveis de CEa foram baseados no valor da salinidade limiar (SL) variando entre 3,3 e 4,9 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, estimado por Ayers & Westcot (1999).

4.3 Preparo das unidades experimentais e solo utilizado

A pesquisa foi realizada em vasos de polietileno com capacidade para 20 litros, dispostos em espaçamento de 0,9 m entre linhas e 0,7 m entre plantas, preenchidos com uma camada em sua base de 3 cm de brita e uma manta geotêxtil para evitar a obstrução do sistema de drenagem pelo solo e em seguida, preenchidos com 20 kg de solo. Foi instalado um dreno em cada vaso, conectados por mangueira transparente de 5 mm de diâmetro à sua base, de modo a facilitar o processo da drenagem, sendo acoplada a um recipiente plástico (garrafa pet) para coleta da água a ser drenada, para funcionar como lisímetro de drenagem. Os vasos foram apoiados sobre tijolos (Figura 2).



Figura 2. Disposição dos vasos na área experimental.

Fonte: Autor, 2020.

O solo usado na pesquisa veio de uma área localizada no município de Alagoa Nova, Estado da Paraíba. Após a coleta, foi feita a análise físico-química do solo no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) – UFCG, Campina Grande – PB, com finalidade de verificar as propriedades físicas (Tabela 1) e químicas (Tabela 2).

Tabela 1. Propriedades físicas do solo.

Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05 - 0,002 mm	Argila < 0,002 mm	Densidade do Solo	Densidade de Partículas	Porosidade Total	Umidade Mpa						CLASSE TEXTURAL	
						0,01	0,03	0,10	0,3 0	0,50	1,00		1,50
-----g/kg-----			--g/cm ³ --	--g/cm ³ --	--m ³ /m ³ --	-----g/kg-----							
686	118	196	-	-	-	164	109	100	95	93	90	81	Franco Arenosa

Tabela 2. Caracterização química (fertilidade) do solo.

pH	P	S-SO ₄ ⁻²	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	M.O.
H ₂ O _(1:2,5)	-----	mg/dm ³	-----	-----	-----	-----	cmol _c /dm ³	-----	-----	-----	g/kg
5,1	2,91	-	32,01	0,04	7,46	0,90	1,40	1,37	2,89	10,35	16,2 4

Devido à presença de pH ácido (5,1) foi necessária a correção do pH do solo, que se deu através do calcário dolomítico, sendo incubado por 30 dias. Após o período, foram efetuadas análises do pH em laboratório para cada vaso para verificar o andamento da correção.

4.4 Inoculação e coinoculação das sementes com as bactérias

A partir da recomendação do MAPA as sementes foram inoculadas com as estirpes de *Bradyrhizobium* ssp. (SEMIA 6462/6463) e *Azospirillum brasiliense* (AbV5/AbV6), cedidas pela empresa Total Biotecnologia, sediada em Curitiba – PR.

No processo da inoculação se seguiu a recomendação indicada pela Total Biotecnologia, descrita na embalagem do produto, que consta em misturar as sementes ao inoculante, em proporção de 3mL do inoculante líquido por Kg de sementes até que estejam totalmente envolvidas e de forma uniforme. Para a coinoculação também empregada a metodologia indicada pela empresa, inoculando com a estirpe *Bradyrhizobium* ssp., conforme procedimento descrito anteriormente, em conjunto com a estirpe *Azospirillum brasiliense*,

cuja proporção é 2,5 mL.Kg⁻¹ de sementes. Todo esse procedimento se sucedeu apenas na sombra e logo após, as sementes foram semeadas.

4.5 Adubação e semeadura

As sementes crioulas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) variedade corujinha, utilizadas no experimento são provenientes dos agricultores familiares pertencentes ao programa sementes da paixão, localizada no município de São José da Mata, essa variedade é de uso comum na região Nordeste. A escolha da cultura se deu em função da sua representatividade local, pois, são usadas com frequência pelos agricultores.

Sendo assim, as adubações seguiram conforme a recomendação de Novais *et al.* (1991) para os ensaios nos vasos, com aplicação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), nas quantidades de 100, 300 e 150 mg.kg⁻¹ de solo, respectivamente, nas formas de ureia, superfosfato simples e sulfato de potássio. A adubação fracionada e aplicada em fundação apenas 1/3 da recomendação. Sendo os dois terços restantes aplicados em cobertura, via água de irrigação, aos 15 e 30 dias após a semeadura (DAS). Os vasos correspondentes aos tratamentos N1, N3 e N4 não receberam nenhuma adubação com o nitrogênio, apenas o fósforo e potássio.

Foram semeadas 5 sementes por vaso, antecedente ao semeio o solo foi levado à capacidade de campo com o objetivo de homogeneizar as condições hídricas de cada tratamento. Quinze dias após a semeadura (DAS) ocorreu o desbaste, permanecendo apenas uma planta por vaso até o final do experimento.

4.6 Preparo da água salinizada e manejo da irrigação

As águas de irrigação foram preparadas de modo a se ter uma proporção equivalente de 7:2:1, entre Na:Ca:Mg, respectivamente, a partir dos sais NaCl, CaCl₂.2H₂O e MgCl₂.6H₂O, relação predominante aos íons em fontes de água para irrigação, em pequenas propriedades do Nordeste brasileiro (MEDEIROS, 1992).

No preparo da água de irrigação foi considerada a relação entre CEa e concentração de sais ($10 \times \text{meq L}^{-1} = 1 \text{ dS m}^{-1}$ de CEa), extraída de Richards (1954), tendo como base a água de abastecimento existente no local. Após preparação, as águas foram armazenadas em cinco caixas de polietileno de 500L, cada uma correspondeu a um tratamento com salinidade da água de irrigação, devidamente protegidas, evitando a evaporação, a entrada de água de chuva

e a contaminação com materiais que poderiam comprometer sua qualidade. Após o preparo das águas foram verificadas as condutividades elétricas (CE) dos tratamentos com um condutivímetro, para a correção caso necessário.

A priori, o volume de água foi aplicado para manter o solo em capacidade de campo e calcular em função da Curva de Retenção de Umidade no Solo no laboratório (Tabela 1). Os tratamentos foram iniciados logo após a semeadura, a irrigação realizada manualmente através do recipiente graduado, diariamente, às 17 horas, visando manter o teor de umidade do solo próximo à capacidade de campo, aplicando em cada recipiente a água conforme tratamento, sendo o volume aplicado de acordo com a necessidade hídrica das plantas, determinada pelo balanço hídrico, tendo como base os termos: VC é o volume consumido, considerando o volume de água aplicado às plantas (VA) no dia anterior; VD é o volume drenado, quantificado na manhã do dia seguinte e FL é a fração desejada de lixiviação (Equação 1), a ser aplicada em 20%, aplicada a cada 15 dias, a fim de propiciar a manutenção de parte dos sais acumulados na zona radicular, provenientes da água de irrigação.

$$VC = \frac{VA - VD}{1 - FL} \text{ (Litros)} \quad (\text{Eq. 1})$$

Antes da semeadura, colocou-se o solo em capacidade de campo, com o objetivo de homogeneizar as condições hídricas de cada tratamento.

4.7 Tratos culturais e fitossanitários

O controle de insetos e patógenos se deu através do extrato da folha do Nim e o fumo, conforme a necessidade, aplicados apenas sobre as plantas do feijão-caupi por meio de um pulverizador manual no turno da tarde, a fim de controlar o ataque de *Aphis craccivora* (pulgão preto) e *Bemisia tabaci* (mosca branca). Foram feitos ainda outros tratos culturais para controle das plantas invasoras, como capinas manuais semanais e escarificação superficial do solo durante o período de condução do experimento, com o objetivo de neutralizar a competição interespecífica por água e nutrientes, favorecendo o desenvolvimento pleno da cultura.

4.8 Variáveis analisadas

4.8.1 Variáveis de crescimento

4.8.1.1 Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF)

Para avaliação de crescimento do feijão-caupi, foram feitas medições quanto a: altura de plantas (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), aos 60 dias após semeadura (DAS).

A altura da planta foi determinada através de uma trena o comprimento do ramo principal, medindo a partir do nível do solo até o meristema apical da planta. Os resultados foram expressos em cm. A medição do diâmetro do caule foi realizada com um paquímetro, cujas leituras foram efetuadas na região do colo de cada planta. Na contagem do número de folhas foram consideradas as com comprimento superior a 3 cm. A área foliar foi estimada medindo o comprimento da nervura principal de cada folha, conforme equação (2) (Grimes & Carter, 1969).

$$Y = 0,4322.X^{2,3032} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: Y é a área foliar por planta e X é o comprimento da nervura principal da folha.

4.8.1.2 Produção da fitomassa

Ao término do experimento foi efetuada a avaliação da biomassa seca. As distintas partes da planta do feijão-caupi (caule, folhas e raízes) foram separadas e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e depois levados para secagem em estufa de circulação de ar, mantida a 65 °C, por 48 horas; posteriormente, o material passou por pesagem em balança de precisão de 0,0001 g, obtendo-se a fitomassa das folhas (FSF), do caule (FSC) e das raízes (FSR), cujo somatório da fitomassa das folhas e caules resultou na fitomassa da parte aérea (FSPA).

A relação raiz/parte aérea (R/PA) foi obtida pelo quociente entre a fitomassa seca das raízes e a fitomassa seca da parte aérea da planta, segundo a equação (3), extraída de Magalhães (1979):

$$R/PA = \frac{FSR}{FSPA} \quad (\text{Eq. 3})$$

4.8.2 Parâmetros fisiológicos

4.8.2.1 Trocas gasosas

As variáveis de trocas gasosas foram mensuradas, aos 60 DAS, realizadas na folha central do primeiro trifólio de cada planta, em folhas completamente expandidas e não sombreadas. As variáveis de trocas gasosas das plantas envolvem os processos de fotossíntese, transpiração e condutância estomática, as quais foram quantificadas com uso do equipamento conhecido como IRGA, marca ADC, modelo LCpro – SD. Ao aparelho foi acoplado uma fonte de luz artificial de modo para obter uma densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 3).



Figura 3. Avaliação de trocas gasosas nas folhas do feijão-caupi.

Fonte: Autor, 2020.

A partir da obtenção de condutância estomática (g_s) ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), são estimadas a eficiência instantânea no uso da água ($EiUA$) (A/E) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$] e a eficiência instantânea da carboxilação ($EiCi$) (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. Tais medidas foram identificadas com um determinador de trocas gasosas em plantas, contendo um analisador de gás infravermelho - IRGA (Infra Red Gás Analyser), modelo LCpro – SD, da ADC Bioscientific.

4.8.2.2 Teor de clorofila

O teor de clorofila a, b, total e carotenoides foram determinados aos 60 DAS. Para o procedimento são necessários discos foliares com diâmetro de 0,771 mm da lâmina foliar por meio de um furador. Os teores foram quantificados por meio da extração em amostras de folhas frescas que, após pesadas, foram picotadas em placas de petri em ambiente com mínima luminosidade e colocadas em recipientes contendo 6 mL de acetona 80%, depois mantidas no escuro e em refrigerador durante 48 horas; em seguida, coletados os sobrenadantes contendo os pigmentos extraídos e as leituras de absorbâncias em espectrofotômetro a 470, 647 e 663 nanômetros, conforme (ARNON, 1949; LICHTENTHÄLER, 1987). Os conteúdos de clorofila a, b, total e carotenoides foram calculados pelas equações (4), (5), (6), e (7), respectivamente (LICHTENTHÄLER, 1987), e seus valores expressos em $\mu\text{m g}^{-1}$ MF.

$$\text{Clorofila a} = (12,25 \times A_{663}) - (2,79 \times A_{647}) \quad (4)$$

$$\text{Clorofila b} = (21,50 \times A_{647}) - (5,10 \times A_{663}) \quad (5)$$

$$\text{Clorofila total} = (7,15 \times A_{663}) + (18,71 \times A_{647}) \quad (6)$$

$$\text{Carotenóides} = (1000 \times A_{470} - 1,82 \text{ Cl a} - 85,02 \text{ Cl b}) / 198 \quad (7)$$

Os valores das equações acima expressos em μg de pigmento por mL de extrato, esse valor foi convertido a μg de pigmento por grama de massa fresca através de regra de três simples.

4.8.3 Dados de nodulação

As variáveis de nodulação foram: massa fresca e seca total de nódulos por planta. Ao término do experimento, foram coletadas as raízes das plantas, que passaram por lavagem com água corrente com auxílio de peneiras, para então, calcular a massa fresca dos nódulos através da pesagem. A matéria seca dos nódulos foi obtida mediante a secagem em estufa a 65°C por 72 horas e, posteriormente, da pesagem. Os dados foram transformados em matéria fresca e seca de nódulos por planta (g).

4.8.4 Componentes de produção

Ao término do ciclo vegetativo foram avaliados os seguintes dados de produção: número de vagens por planta (NVP) estimado pela contagem do número total de vagens por planta, e número de grãos por planta (NGP) estimado pela contagem do número total de grãos por planta. Para saber a produção (PROD) foi levada em consideração a massa total dos grãos colhidos. A colheita foi iniciada quando as vagens estavam secas, ou seja, quando apresentaram coloração palha, típico para colheita de grãos secos.

4.9 Análise estatística

Os dados passaram pela análise de variância através do software estatístico SISVAR 5.6 e o nível de significância pela análise do teste “F”. Em casos de significância, foi feito o teste de médias por teste de Tukey ($p < 0,05$) para os dados obtidos nos diferentes tratamentos de natureza qualitativa, enquanto os dados de natureza quantitativa foram submetidos ao estudo de regressão, com ajuste de curvas representativas para cada uma das características avaliadas (FERREIRA, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Variáveis de Crescimento

5.1.1 Altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF)

Conforme o resumo da análise de variância (Tabela 3), a interação entre os fatores níveis salinos da água de irrigação e fontes de nitrogênio influenciou de forma significativa a altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), em nível de 0,01 de probabilidade.

Tabela 3. Resumo das análises de variância para a altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.

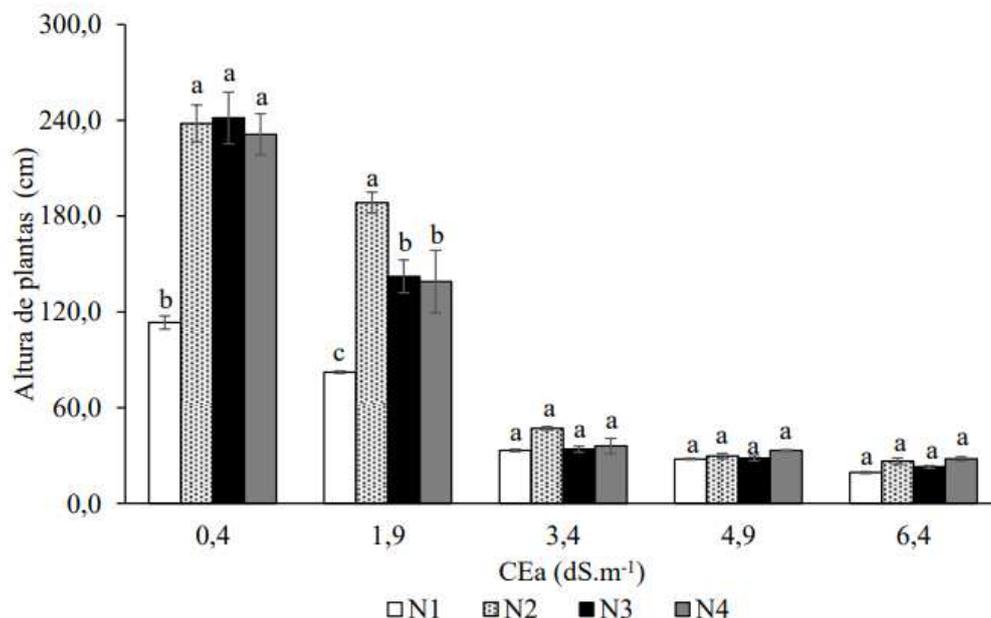
Fonte de variação	Quadrados médios				
	GL	AP	DC	NF	AF
Níveis salinos (NS)	4	132018,91**	68,27**	13422,91**	104819945,838**
Fontes de Nitrogênio (N)	3	12149,68**	14,26**	636,95**	8270300,375**
Interação (NS x N)	12	4188,39**	4,17**	82,19**	2058559,203**
Bloco	4	720,92 ^{ns}	0,17 ^{ns}	21,02 ^{ns}	265122,237 ^{ns}
Resíduo	76	223,19	0,27	23,93	143658,852
CV (%)		17,15	6,47	14,13	12,65

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

O incremento de sais às águas de irrigação afetou negativamente as variáveis de crescimento analisadas do feijão-caupi (Figura 4, 5, 6, 7 e 8). Sobre esse aspecto, muitos estudos apontam que, a elevação da salinidade pode inibir o desenvolvimento das plantas de feijão *Vigna*, em consequência das alterações nos parâmetros fisiológicos, de crescimento e rendimento da cultura (OLIVEIRA et al., 2015). Contudo, vale ressaltar que, o grau de sensibilidade do feijão-caupi ao estresse salino pode variar entre os genótipos (COELHO et al., 2013).

Analisando a interação entre os fatores níveis salinos e fonte de nitrogênio na variável altura de plantas do feijão-caupi, na Figuras 4, percebe-se que a AP diferiu estatisticamente apenas nos dois menores níveis salinos estudados, 0,4 dS.m⁻¹ e 1,9 dS.m⁻¹, não sendo observado diferença estatística relevante para os tratamentos submetidos aos níveis salinos de 3,4, 4,9 e 6,4 dS.m⁻¹. O efeito deletério da salinidade nas plantas está associado aos danos causados pelo estresse salino, causando uma diminuição na pressão de turgor ao reduzir a

disponibilidade e absorção de água, levando assim, restrição a expansão celular e o crescimento da planta (WANG et al., 2013).



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

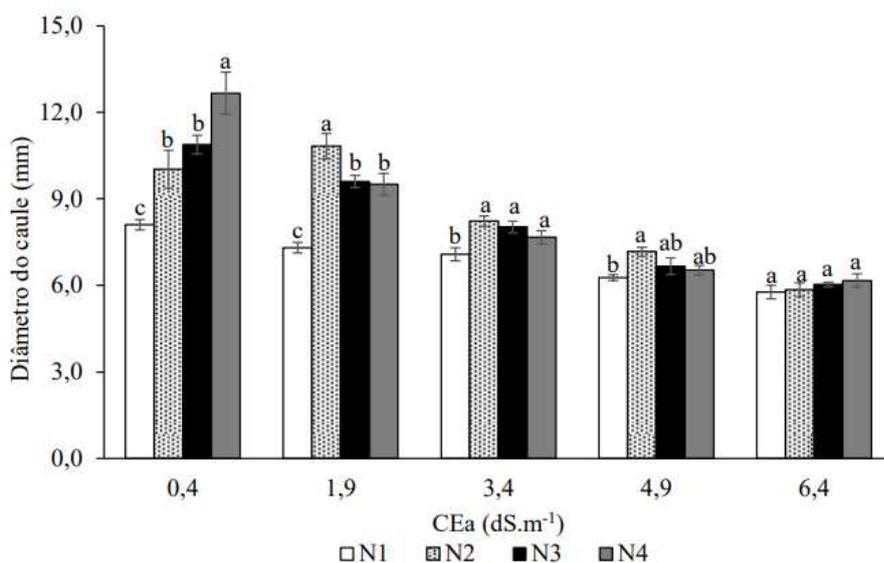
Figura 4. Altura de plantas - AP (cm) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

No entanto, resultados divergentes foram obtidos por Sousa et al. (2021) em estudo sobre a influência da irrigação com água salina com condutividade elétrica de 4 dS.m⁻¹ no crescimento de feijão-caupi e adubação mineral (NPK 10:28:20), pois, obtiveram uma altura de planta de quase 10,0 cm, enquanto nessa pesquisa com o uso da salinidade combinada com fontes de nitrogênio constatou-se resultados superiores (Figura 4).

Em termos de resultados, os tratamentos N2, N3 e N4 (Figura 4) não se diferenciam estatisticamente no menor nível salino de 0,4 dS.m⁻¹, isso indica que, o uso de inoculantes também proporcionou um maior incremento na altura de planta do feijão-caupi em relação ao uso da adubação nitrogenada. De acordo com os autores Thorburn et al. (2011) e Martins et al. (2013), as doses excessivas de adubação mineral além de causar efeitos negativos sobre o crescimento vegetal, podem aumentar os custos de produção e promover a contaminação dos corpos hídricos, em decorrência das perdas por erosão e lixiviação.

Os tratamentos N2, N3 e N4 tiveram médias maiores (238; 241,4 e 231,2 cm) do que o tratamento N1 (sem nitrogênio) irrigados com CEa 0,4 dS.m⁻¹ aos 60 DAS (Figura 4). Esse incremento pode ser explicado pelo maior aporte de nitrogênio promovido por estes tratamentos, por ser o nutriente constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas e hexosaminas, compostos diretamente envolvidos no desenvolvimento vegetativo das plantas (TAIZ et al.; 2013). Segundo Leal & Prado (2008), a deficiência em nitrogênio na planta do feijão reduz bastante o desenvolvimento vegetativo, afetando diretamente à altura da planta estudada.

Analisando o diâmetro caulinar, o N4 seguido de uma CEa de 0,4 dS.m⁻¹, obteve maior média do que tratamento N1, sem nitrogênio, incrementos de 4,56 mm no diâmetro de caule (Figura 5), visto que o nitrogênio possui um papel fundamental no crescimento das plantas, promovendo expansão celular e estimulando o acréscimo no diâmetro do colmo (LOPES et al., 2020). Resultados semelhantes foram encontrados por Pedro et al. (2017), avaliando o crescimento de duas cultivares do feijão-caupi submetidas a cinco concentrações de sais na água de irrigação (0,95; 2,45; 3,95; 5,45 e 6,95 dS.m⁻¹) encontrando um decréscimo de 29,66% no diâmetro do caule.



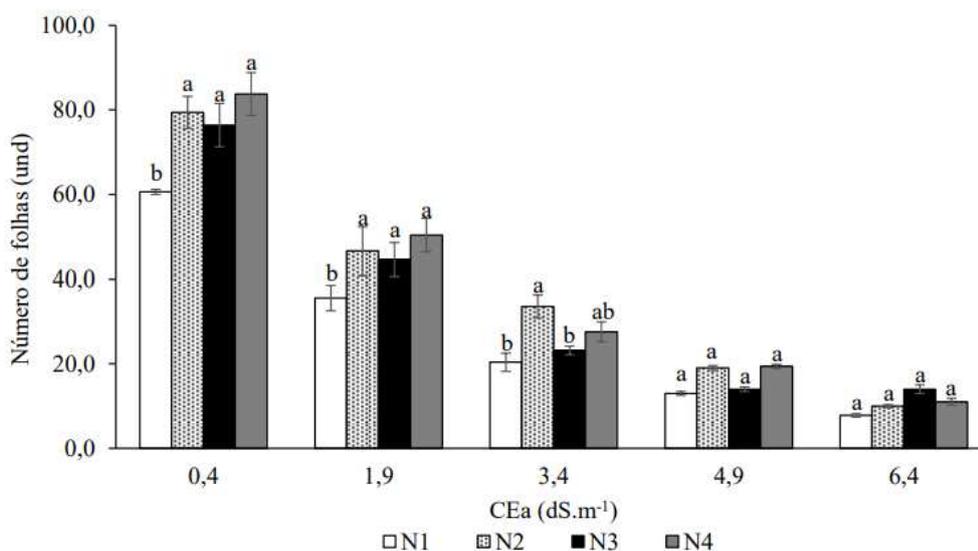
N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coincoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, p < 0,05.

Figura 5. Diâmetro do caule - DC (mm) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

Sousa et al. (2021) obtiveram o diâmetro de caule do feijão-caupi com aplicação adubação mineral (NPK 10:28:20) e irrigado com água com condutividade elétrica de 4 dS.m^{-1} de aproximadamente 4,7 mm, valor semelhante quando comparado aos obtidos nessa pesquisa.

Nos estudos de Sousa et al. (2021), o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, resultou em plantas de feijão-caupi com menores alturas e diâmetro, afetando o crescimento, o que pode ser constatado na pesquisa aqui apresentada, pois, com o aumento da quantidade de sais na água de irrigação, houve diferença no diâmetro e altura de planta e interferiu diretamente no seu desenvolvimento. Souza et al. (2019) relatam que, níveis salinos na água de irrigação ocasionam estresse a cultura reduzindo o desenvolvimento e a planta gasta mais energia para se desenvolver.

Em relação ao número de folhas, não houve significância estatística para as CEa 4,9 e $6,4 \text{ dS.m}^{-1}$ e a salinidade afetou o número de folhas independente das fontes de nitrogênio (Figura 6).



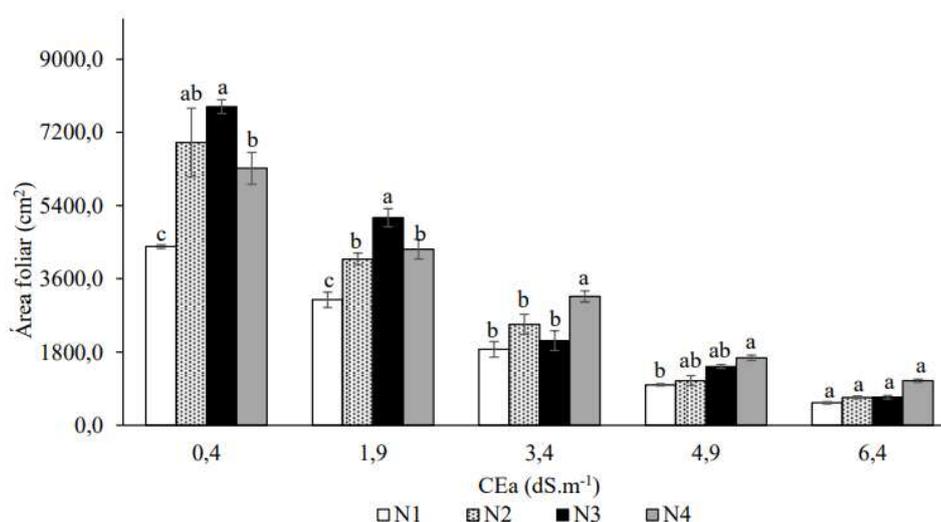
N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 6. Número de folhas - NF (unidade) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

Com o aumento da condutividade elétrica na água de irrigação, é visível a redução do número de folhas das plantas de feijão-caupi na época avaliada (Figura 6), a exemplo de Andrade et al. (2012), que avaliando o crescimento do feijão-caupi submetido a inoculação

com rizóbio irrigado com água salina (1,5; 3,0; 4,5 e 6 dS.m⁻¹), obtiveram um decréscimo no número de folhas quando o nível de CEa na água de irrigação foi elevado.

Analisando a interação entre os níveis de salinidade da água de irrigação e as fontes de nitrogênio na área foliar do feijão-caupi, Figura 7, os fatores analisados só não apresentaram diferença estatística para uma CEa de 6,4 dS.m⁻¹. A inoculação com *Bradyrhizobium* ssp. apresentou as maiores médias para uma salinidade na água de irrigação de 0,4 e 1,9 dS.m⁻¹ de 7834,20 e 5100,00 cm², respectivamente e com relação ao tratamento N2 irrigado com o mesmo nível salino, houve incrementos de 11,26% e 19,91%, respectivamente.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 7. Área foliar – AF (cm²) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após a semeadura.

Para o crescimento foliar, trocas gasosas e desempenho de assimilação de variedades de feijão-caupi em resposta à inoculação de *Bradyrhizobium* ssp.. Ayalew et al. (2022), observaram acréscimos de 14% na área foliar, concordando com os resultados encontrados na presente pesquisa.

Dentre os principais efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento das plantas, destaca-se a redução na área foliar, seja pela redução no número de folhas e/ou no tamanho do limbo foliar (OLIVEIRA et al., 2013). Na pesquisa aqui apresentada, o uso de água de elevada salinidade reduziu bastante a área foliar, entretanto, o uso de bactérias proporcionou uma redução no efeito deletério da salinidade até uma CEa de 0,4 dS.m⁻¹.

Sobre os efeitos danosos da salinidade sob as plantas, pesquisadores atribuem a vários problemas, dentre eles, o mais comum é o aumento da pressão osmótica do solo, tornando-o mais negativo que o da planta, dificultando a absorção de água pelas raízes e afetando a sua divisão celular e alongamento das células (TAIZ & ZEIGER, 2009). Além da redução da área foliar, que pode evidenciar uma defesa da planta cultivada em um meio salino, visando à redução da perda de água pela transpiração.

5.1.2 Produção de fitomassa

Pelos dados da análise de variância para produção de fitomassa, como mostra a Tabela 4, houve efeito significativo ($p < 0,01$) na interação entre os níveis salinos da água de irrigação (NS) e as fontes de nitrogênio (N) em todas as variáveis analisadas (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise variância referente a fitomassa seca das folhas (FSF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), fitomassa seca de raiz (FSR) e a relação entre FSR e FSPA (R/PA).

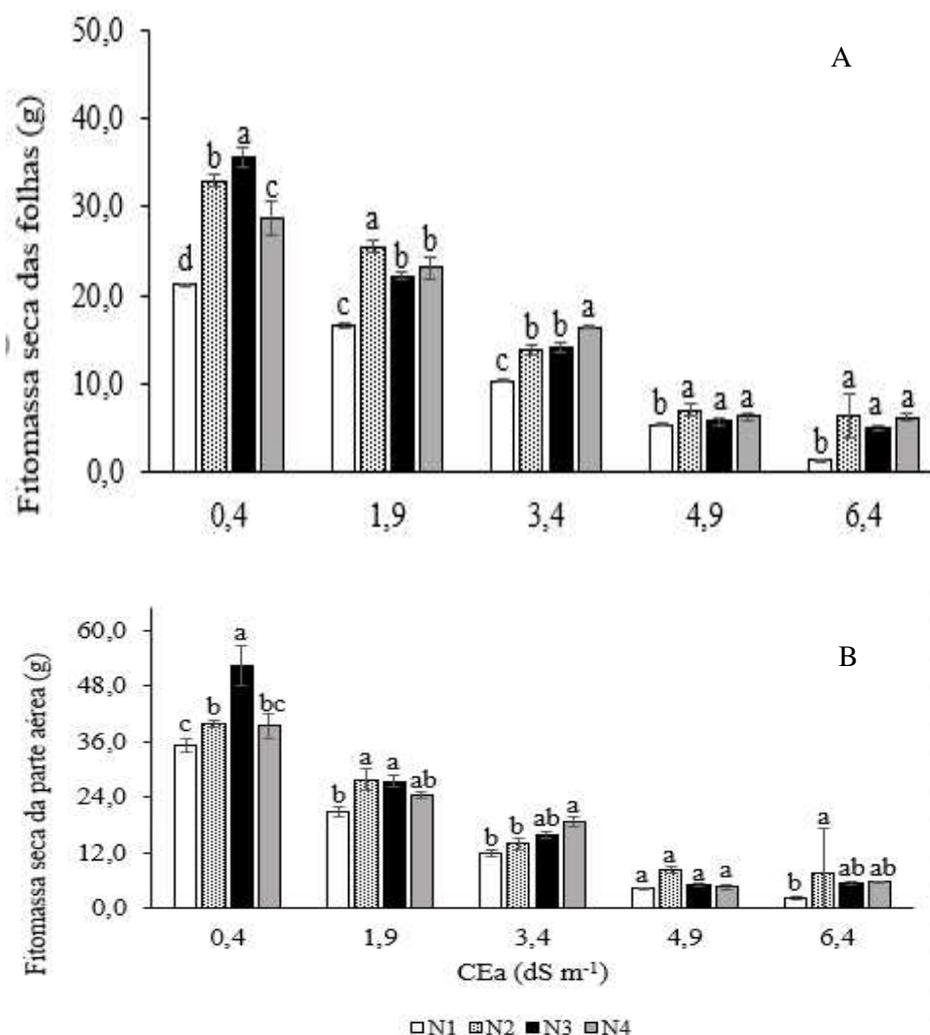
Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		FSF	FSPA	FSR	R/PA
Níveis salinos (NS)	4	2218,179**	4676,537**	1421,821**	0,225**
Fontes de Nitrogênio (N)	3	201,911**	180,716**	308,520**	0,493**
Interação (NS x N)	12	32,374**	58,494**	36,172**	0,071**
Bloco	4	0,063 ^{ns}	4,392 ^{ns}	0,950 ^{ns}	0,016 ^{ns}
Resíduo	76	1,581	7,280	2,385	0,019
CV (%)		8,25	14,51	13,08	19,75

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

Em virtude do aumento da salinidade na água de irrigação, as plantas possuem dificuldades em absorver água e nutrientes causando uma redução no seu crescimento. De acordo com Richardson & Mccree (1985), a redução da fitomassa pode estar associada ao aumento no potencial osmótico quando submetida em níveis salinos elevados, possivelmente, em função do desvio de energia do crescimento para adaptação ao estresse. Isto é, a redução da fitomassa seca pode refletir o custo metabólico de energia, associado a adaptação, a salinidade e a redução no ganho de carbono.

No desdobramento dos níveis salinos (NS) e as fontes de nitrogênio (N) para a fitomassa seca das folhas (Figura 8A) e da parte aérea (Figura 8B), se diferiram estatisticamente para quase todos os níveis salinos na água de irrigação, exceto no nível 4,9

dS.m⁻¹ na FSPA. As plantas irrigadas com 0,4 dS m⁻¹ e cultivadas com a fonte de nitrogênio N3, tiveram maiores médias, chegando a 35,67 g e 52,44 g para FSF e FSPA, respectivamente.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, p < 0,05.

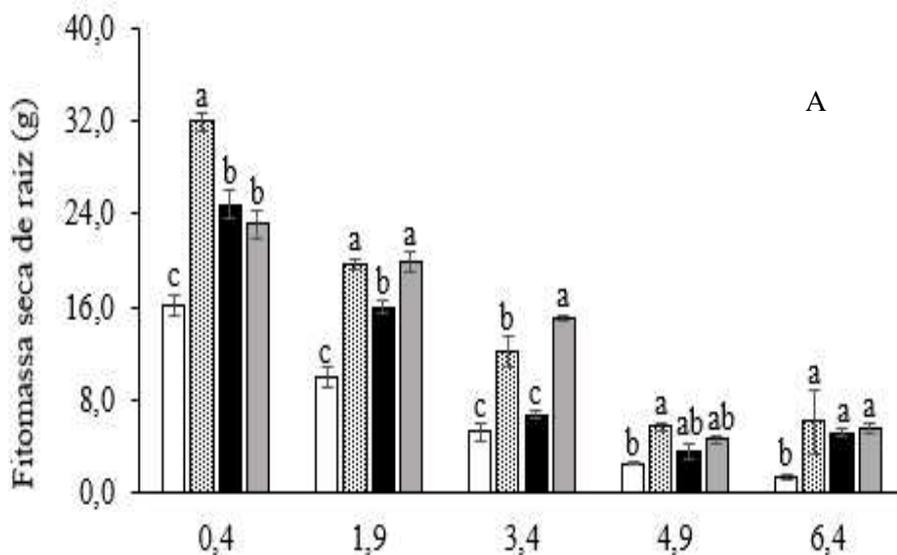
Figura 8. Fitomassa seca das folhas-FSF (A) e a fitomassa seca da parte aérea-FSPA (B) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

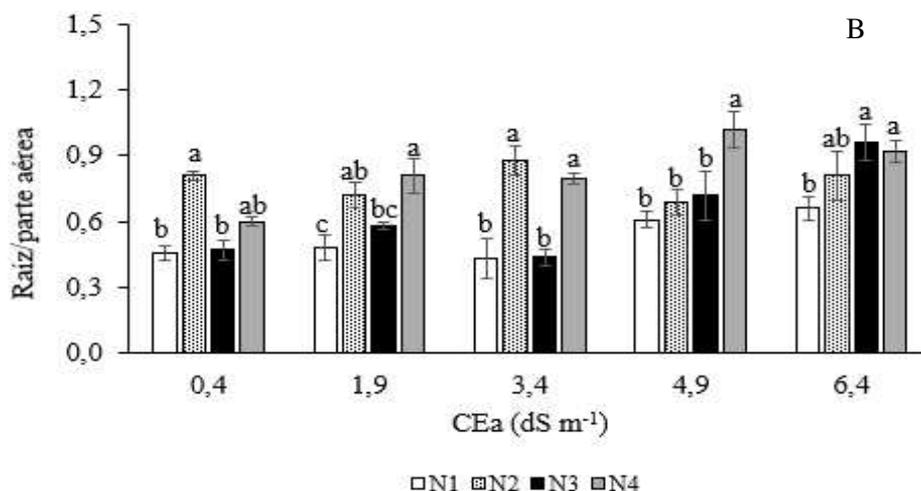
Em relação as plantas irrigadas com o mesmo nível salino e sem a aplicação da fonte de nitrogênio (N1), foram encontrados aumentos de 14,5 g (40,65%) e 17,2 g (32,8%) em relação ao tratamento N3, respectivamente, para as variáveis analisadas (Figura 8). De acordo com Ikeda (2010), estas melhorias são decorrentes à presença dessas bactérias, que estimulam

o aumento do sistema radicular da planta, possibilitando uma maior absorção de água e minerais, ajudando em toda parte de crescimento da planta, proporcionando redução nos custos de produção do feijão-caupi, além de ser uma tecnologia a ser aplicada em produção de feijão. Os ganhos de massa seca da parte aérea das plantas do feijão-caupi promovidos por estirpes com elevada eficiência de fixação biológica de nitrogênio, podem significar uma excelente vantagem sobre os demais tratamentos, pois, o caupi é utilizado apenas na alimentação humana, mas apresenta grande potencial de uso como adubo verde, disponibilizando nitrogênio no solo (CASTRO et al., 2004).

No entanto, com o aumento da salinidade na água de irrigação, se intensificaram os efeitos deletérios nas plantas, quando comparado ao mesmo tratamento (N3) irrigados com uma CEa $6,4 \text{ dS.m}^{-1}$, ocorreu uma diminuição de $30,62 \text{ g}$ (85,84%) e $46,91 \text{ g}$ (89,47%), para FSF (Figura 8A) e a FSPA (Figura 8B). De acordo Lacerda et al. (2011), a redução da matéria seca da parte aérea em plantas de feijão *Vigna*, irrigadas com água salina, está relacionada ao desvio de energia em decorrência do aumento dos níveis de salinidade do solo, logo, a redução nos valores da matéria seca da parte aérea deve estar relacionada com custo metabólico de energia.

As plantas irrigadas com CEa de $0,4 \text{ dS.m}^{-1}$ e que receberam a fonte de nitrogênio N2, resultaram em maiores médias para a fitomassa seca de raiz (Figura 9A) e a relação entre a fitomassa seca de raiz e da parte aérea (Figura 9B) se diferenciando estatisticamente dos demais tratamentos, com significância para todos os níveis salinos. Contudo, quando comparados com o tratamento N1, sem fonte de nitrogênio, adicionais de $15,73 \text{ g}$ (49,27%) e de $0,35 \text{ g}$ (43,21%), respectivamente.





N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 9. Fitomassa seca de raiz (A) e R/PA (B) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

Calvet et al. (2013) encontraram resultados diferentes no estudo sobre irrigação de águas salinas em diferentes fases de desenvolvimento do feijão-caupi, não verificando efeito da salinidade sobre a fitomassa das plantas. Para Epstein & Bloom (2006), a matéria seca se constitui como uma variável que representa o desenvolvimento vegetativo das culturas. O nitrogênio é o nutriente mais exigido para um melhor desenvolvimento das plantas e o que mais contribui para o aumento da biomassa vegetal.

Por outro lado, quanto maior a CEa na água de irrigação, maiores são as reduções de absorção de água e nutrientes nas plantas. Quando comparado N2 que alcançou a maior média quando irrigados com uma CEa $0,4 \text{ dS.m}^{-1}$ com o de $6,4 \text{ dS.m}^{-1}$, observa-se uma redução de 25,76 g (80,7%) para a FSR (Figura 9A). No entanto, para o R/PA (Figura 9B), as fontes de nitrogênio mitigaram os efeitos do estresse salino na irrigação até uma CEa de $6,4 \text{ dS.m}^{-1}$. A fitomassa está diretamente ligada ao acúmulo real de carboidratos gerado no processo fotossintético. No entanto, a redução da atividade fotossintética, possivelmente, ocasionada pelo efeito do estresse salino na irrigação, afeta diretamente o acúmulo de fitomassa das plantas de feijoeiro (SÁ et al., 2018).

5.2 Parâmetros fisiológicos

5.2.1 Trocas gasosas

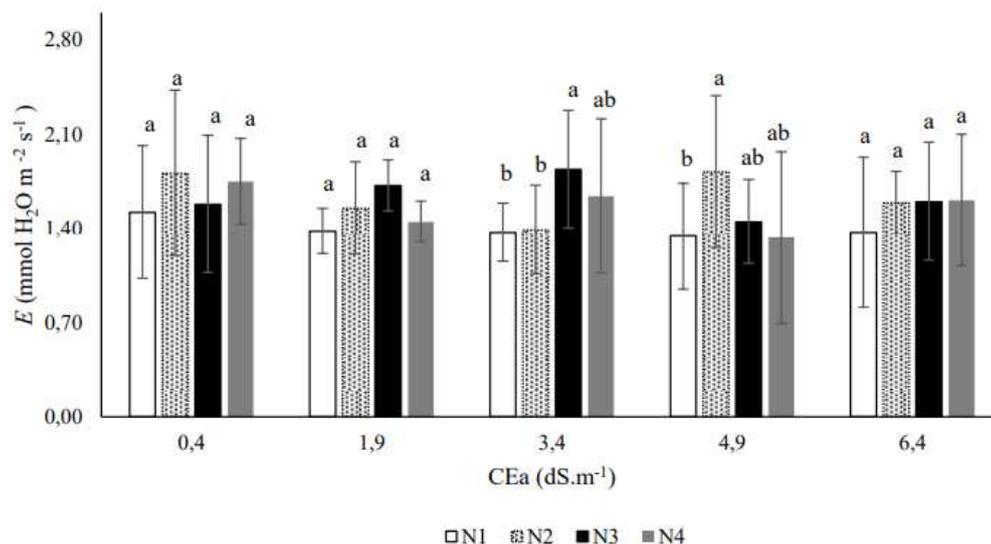
Conforme o resumo da Análise de Variância (Tabela 5), a interação entre os níveis salinos da água de irrigação (NS) e as fontes de nitrogênio (N) influenciou de forma significativa ($p < 0,01$) somente a transpiração (E) e fotossíntese líquida (A). As variáveis, condutância estomática (g_s) e a concentração interna de CO_2 (C_i) não foram afetadas pelos fatores de variação analisados.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para a condutância estomática (g_s), transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e concentração interna de CO_2 (C_i) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		g_s	E	A	C_i
Níveis salinos (NS)	4	0,0109 ^{ns}	0,0637 ^{ns}	0,1287 ^{ns}	2,8489 ^{ns}
Fontes de Nitrogênio (N)	2	0,0028 ^{ns}	0,0775 ^{ns}	0,6817 [*]	2,7219 ^{ns}
Interação (NS x N)	8	0,0077 ^{ns}	0,1680 ^{**}	0,5022 ^{**}	3,6010 ^{ns}
Bloco		0,0008 ^{ns}	0,3902 ^{ns}	0,4961 ^{ns}	10,538 ^{ns}
Resíduo		0,0042	0,0735	0,1585	2,5574
CV (%)		17,22	17,3	12,00	11,75

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

Com base na interação entre as fontes de nitrogênio e os níveis de condutividade elétrica na água de irrigação na transpiração E (Figura 10) das plantas de feijão-caupi, essa variável diferiu estatisticamente apenas em plantas submetidas às condutividades elétricas de 3,4 e 4,9 $dS \cdot m^{-1}$, na água de irrigação.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

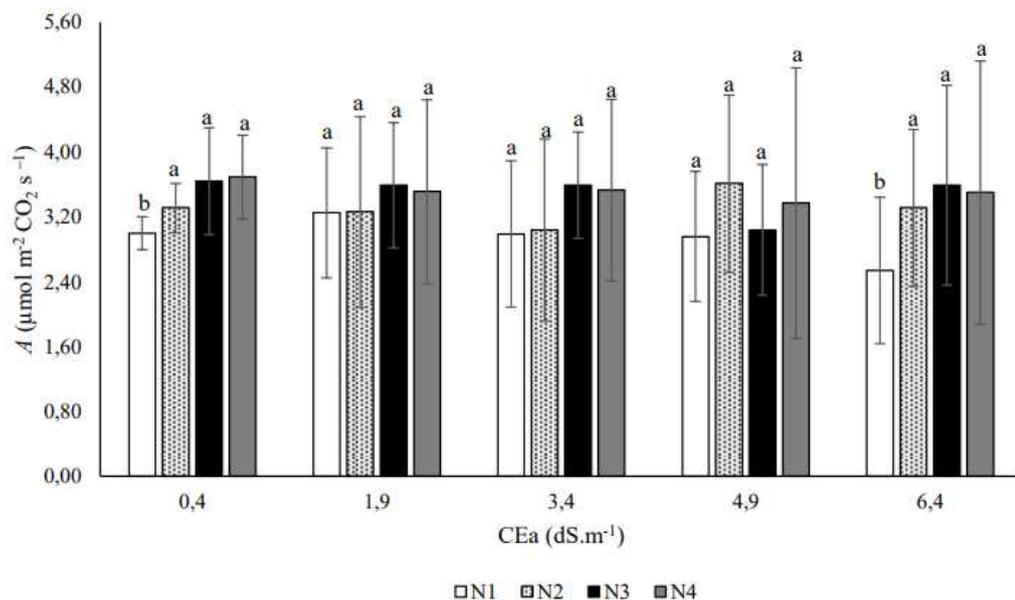
Figura 10. Transpiração (E) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio aos 60 dias após semeadura.

Plantas irrigadas com uma CEa 3,4 dS.m⁻¹, submetidas a inoculação com *Bradyrhizobium* ssp apresentaram o valor máximo para a transpiração (1,84 H₂O m⁻² s⁻¹) e, quando comparadas com as plantas do tratamento N1, sem nitrogênio, irrigadas com o mesmo nível salino, verifica-se um aumento de 25,54% (0,47 H₂O m⁻² s⁻¹). As plantas inoculadas com *Bradyrhizobium* ssp e irrigadas com uma água de CEa 3,4 dS.m⁻¹ foram capazes de manter sua capacidade de absorção de água do solo e permanecer com os estômatos abertos, possibilitando a absorção de CO₂, água e os processos fotossintéticos. Sobre a questão, Doni et al. (2014) afirmam em seu estudo que a simbiose entre plantas e bactérias pode melhorar todo o sistema fisiológico das plantas e assim, melhorar seu desempenho na transpiração, ressaltando o efeito positivo da inoculação.

Com o aumento da CEa para 4,9 dS.m⁻¹ os tratamentos das inoculações não divergiram estatisticamente da adubação nitrogenada por causa do aumento dos níveis salinos na água de irrigação, tornou maior a concentração dos sais no solo, apresentando baixa disponibilidade hídrica para as plantas, o que pode ter causado a redução de emissão de pelos radiculares e também uma menor nodulação, comprometendo o processo da fixação biológica de nitrogênio.

Em seu estudo com a cultura da soja inoculada e/ou coinoculadas com *B. japonicum* e *A. brasilense*, Bulegon et al. (2016) concluíram que, as plantas não inoculadas têm menor tolerância à perda de água pela transpiração e antecipam o fechamento estomático.

Pela análise da interação dos fatores estudados na fotossíntese líquida *A* (Figura 11), constata-se que só se diferenciaram de forma expressiva em dois níveis salinos, 0,4 e 6,4 dS.m⁻¹, respectivamente. Plantas irrigadas com CEa 0,4 dS m⁻¹ inoculadas com *Bradyrhizobium* ssp, marcaram a melhor média, assim como, *E* (Figura 10), obtendo uma média de (3,69 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) e, quando comparadas com o tratamento N1 (sem nitrogênio) com o mesmo nível salino, consta uma redução de 18,7% (0,69 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹). O resultado pode estar ligado ao melhor fornecimento de nitrogênio a partir da simbiose entre a bactéria e as plantas de feijão-caupi, que possibilita o melhorando dos processos metabólicos, uma vez que, o N é o principal nutriente necessário para a síntese de macromoléculas responsáveis pela assimilação de CO₂ (AYALEW et al., 2022). Os autores Augé et al. (2015) afirmam que a simbiose modifica o comportamento estomático.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 11. Fotossíntese líquida (*A*) do feijão-caupi em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio, aos 60 dias após semeadura.

Na Figura 11, podemos verificar que, os tratamentos N2, N3 e N4 não apresentaram diferença estatística entre si, mesmo assim é importante ressaltar que o tratamento N3

inoculado com *Bradyrhizobium*, apresentou uma maior média em relação aos demais, evidenciando a importância dessa bactéria para os processos fisiológicos. De acordo com (ZHOU et al. 2006), em avaliação do efeito da inoculação de rizóbios na fisiologia fotossintética da soja, constataram que a taxa fotossintética aumentou bastante após a inoculação com rizóbios.

Taiz & Zeiger (2013) salientam que, em condições adversas, como a salinidade, os processos de transpiração e da fotossíntese, são afetados diretamente pelo fechamento estomático induzido pelo acréscimo dos níveis de ácido abscísico ou pela perda de solutos das células-guarda, que acarretam perda de água e redução da turgidez.

Embora, o efeito da salinidade seja danoso às trocas gasosas de forma geral (MONTEIRO, 2016; SOUSA et al., 2016), a inoculação com bactérias diazotróficas, tem desempenhado bons resultados em relação a esses parâmetros, como afirma Oliveira (2020) em sua pesquisa, a respeito do uso de bactérias diazotróficas como atenuante do efeito da salinidade na cultura do milho, constatando efeito mitigador do inoculante bacteriano perante a salinidade nas variáveis de trocas gasosas, isso se deve a ligação entre todos esses parâmetros devido ao incremento da superfície de contato das raízes, que, provavelmente, aumentou a exploração de água e nutrientes no solo, favorecendo a translocação para células, mantendo-as túrgidas e, por consequência, causando abertura estomática, transpiração, absorção de luz e CO₂ e, por fim, baixa redução da taxa de fotossíntese líquida.

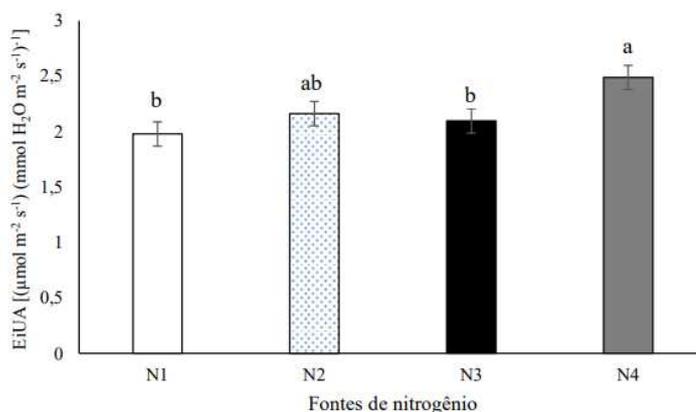
Através da tabela 6, observa-se que apenas o fator fonte de nitrogênio exerceu significância estatística ($p < 1\%$) na variável de eficiência instantânea de uso de água (EiUA) e que não houve interação entres os fatores estudados.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para a eficiência instantânea de uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		EiUA	EiCi
Níveis salinos (NS)	4	0,130054 ^{ns}	0,001462 ^{ns}
Fontes de Nitrogênio (N)	3	1,190198 ^{**}	0,005474 ^{ns}
Interação (NS x N)	12	0,302678 ^{ns}	0,003355 ^{ns}
Bloco	4	0,483513 ^{ns}	0,012063 ^{ns}
Resíduo	76	0,277952	0,001738
CV (%)		24,18	16,82

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

A eficiência instantânea de uso da água (EiUA), advinda da relação entre a taxa de fotossíntese líquida (A) e transpiração (E), apresentou maior média para o tratamento N4, coinoculação de *Bradyrhizobium ssp* e *Azospirillum brasilense* (Figura 12). A associação das duas bactérias foi benéfica às plantas de feijão-caupi, proporcionando uma elevação da EiUA o que, para Coêlho & Oliva (1981), se baseia em uma maior taxa de fotossíntese associada a uma menor taxa de transpiração, o que para eles aponta para um comportamento conservador, mantendo o controle transpiratório a fim de evitar perdas de água.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium ssp*) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium ssp* e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 12. Eficiência instantânea de uso da água (EiUA) do feijão-caupi em função das fontes de nitrogênio, aos 60 dias após semeadura.

De acordo com Jaimez et al. (2005), a eficiência instantânea de uso da água tem que ser avaliada, como a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que a planta perde, diante disto, é possível verificar nessa pesquisa que a coinoculação proporcionou condições favoráveis para que as plantas de feijão-caupi aproveitassem melhor a sua disponibilidade hídrica, permitindo fixar mais CO₂ por unidade de água transpirada.

Bulegon et al. (2016) em sua pesquisa com a cultura da soja e inoculantes, constataram que a coinoculação proporcionou uma maior eficiência instantânea do uso de água, enfatizando que ela é um componente importante na quantificação da adaptação das plantas ao ambiente de cultivo que ela foi submetida.

5.2.2 Pigmentos fotossintéticos

A partir dos resultados da análise de variância (Tabela 7) verifica-se que a salinidade da água de irrigação afetou significativamente todas as variáveis de pigmentos fotossintéticos analisadas. Mas, sem efeito significativo das fontes de nitrogênio para nenhuma das variáveis analisadas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância para teor de clorofila a (CLa), teor de clorofila b (CLb) teor de clorofila total (CLT) e teor de carotenóides (CAT) do feijão-caupi em função de níveis salinos e fontes de nitrogênio do feijão-caupi aos 60 dias após a semeadura.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios			
		CLa	CLb	CLT	CAT
Níveis salinos (NS)	4	1650476,753**	162505,482**	2814684,6201**	103110,787**
Fontes de Nitrogênio (N)	3	41035,128 ^{ns}	10351,622 ^{ns}	86254,6759 ^{ns}	5213,208 ^{ns}
Interação (NS x N)	12	122250,926 ^{ns}	28128,375 ^{ns}	244327,552 ^{ns}	9406,970 ^{ns}
Bloco	4	85962,533 ^{ns}	5366,921 ^{ns}	116508,017 ^{ns}	7241,863 ^{ns}
Resíduo	76	92842,609	15221,098	159300,154	5899,139
CV (%)		18,08	20,95	16,90	21,13

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

Conforme a equação de regressão referente ao teor de Clorofila *a*, Clorofila *b* e Clorofila total (Figura 13A, B e C) observa-se que o modelo o qual os dados melhor se ajustaram em função da salinidade da água de irrigação, foi o quadrático, onde verifica-se que com o aumento da CEa na água de irrigação ocorreu baixa no teor de clorofila. Podemos observar ainda que as plantas irrigadas com uma CEa de $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ apresentaram uma redução de 50,94% ($692,54 \mu\text{m g}^{-1} \text{ MF}$), 54,70% ($227,80 \mu\text{m g}^{-1} \text{ MF}$) e 51,93% ($920,33 \mu\text{m g}^{-1} \text{ MF}$), para os índices de CLa, CLb, CLT, respectivamente, quando comparados com o menor nível salino ($0,4 \text{ dS.m}^{-1}$). Esta redução possivelmente está associada a um estresse oxidativo na planta, devido a inibição da síntese de clorofila, ligada a ativação de sua degradação pela enzima clorofilase, destacando-se como um mecanismo de proteção, causado através da redução da absorção de luz pela diminuição de concentração da clorofila (TAIBI et al., 2016).

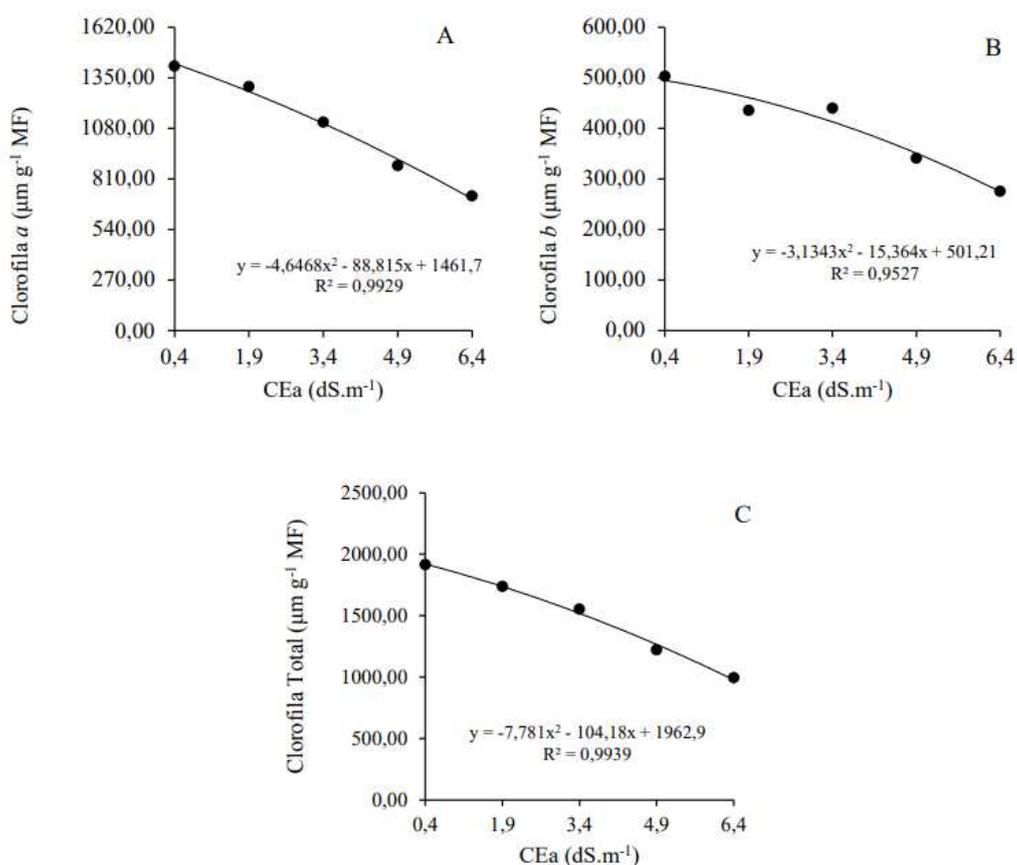


Figura 13. Teor de clorofila a – CLa (A), clorofila b – CLb (B) e clorofila total – CLT (C) do feijão-caupi em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.

A redução nos teores de clorofila devido ao aumento das concentrações salinas, também foi observado por Lima (2017), publicando um declínio no teor de clorofila a, b, total e carotenoide em plantas de feijão-caupi irrigadas com tratamentos salinos. Essa redução indica o dano causado ao sistema fotossintético da planta. De acordo com Bastos et al. (2012), as clorofilas são consideradas os principais pigmentos responsáveis por realizar a fotossíntese na planta, bem como um dos principais fatores relacionados à eficiência fotossintética dos vegetais e ao crescimento e adaptabilidade em diferentes ambientes.

Oliveira et al. (2018) em estudo sobre o efeito na salinidade sobre a clorofila no feijão-caupi cv. IPA-206 irrigados com uma CEa (0 ;2,5 ;5 ;7,5 ;10 ;12,5 dS.m⁻¹) as variáveis de clorofila a, clorofila b e clorofila total foram afetadas mediante os incrementos da salinidade na água de irrigação, com um decréscimo de 31%, 20% e 25%, respectivamente. Cha-um et al. (2013), também encontraram um decréscimo das funções da clorofila em função do aumento da salinidade. A redução dos pigmentos fotossintéticos ao estresse salino pode

ocorrer pela diminuição na absorção de íons de Mg^{+} e de Fe , reduzindo assim a eficiência do carbono, síntese de clorofila, aumentando a produção de etanol e lactato (LATIF & MOHAMED, 2016; ALI et al., 2022).

O aumento nos níveis salinos da água de irrigação promoveu uma redução linear nos carotenóides (Figura 14), apresentando um decréscimo de 8,70% por incremento unitário da CEa. Quantitativamente, o incremento da salinidade de 0,4 para 6,4 $dS.m^{-1}$ ocasionou uma redução de 335,97 para 157,47 $\mu m g^{-1} MF$ para a variável estudada. Para Taibe et al. (2016), a redução desta variável mediante ao aumento da condutividade elétrica na água de irrigação pode influenciar na capacidade de desintoxicação das plantas ao excesso de RSO.

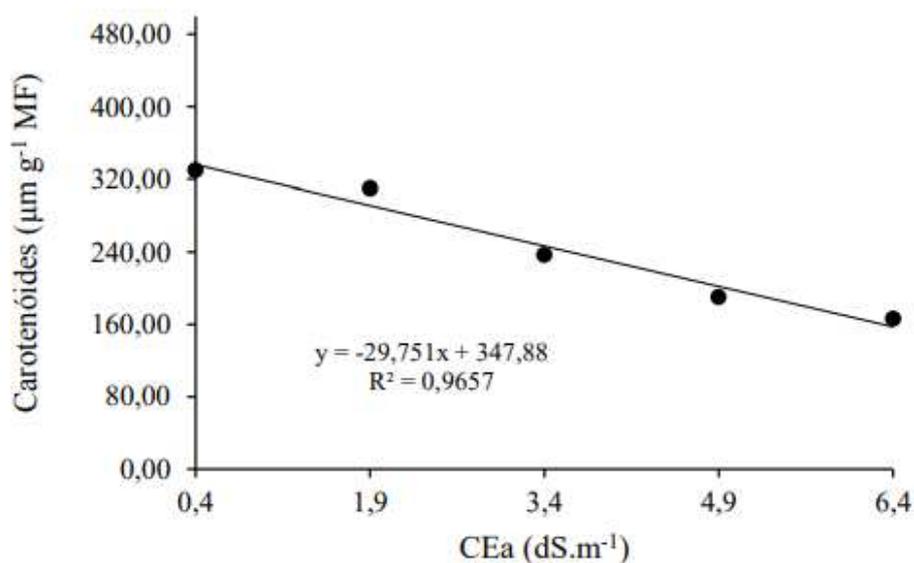


Figura 14. Carotenóides – CAT (D) do feijão-caupi em função da condutividade elétrica da água de irrigação – CEa.

A redução nos teores de clorofila é ocasionada pelos desequilíbrios atividades fisiológicas e bioquímicas em decorrência do excesso de sais além do tolerado pelas culturas (MUNNS & TESTER, 2008). Os autores citam ainda que o excesso de sais pode estimular a atividade enzimática da clorofilase que degrada as moléculas do pigmento fotossintetizante e induz a destruição estrutural dos cloroplastos, ocasionando desbalanceamento e perda de atividade das proteínas de pigmentação.

5.3 Dados de nodulação

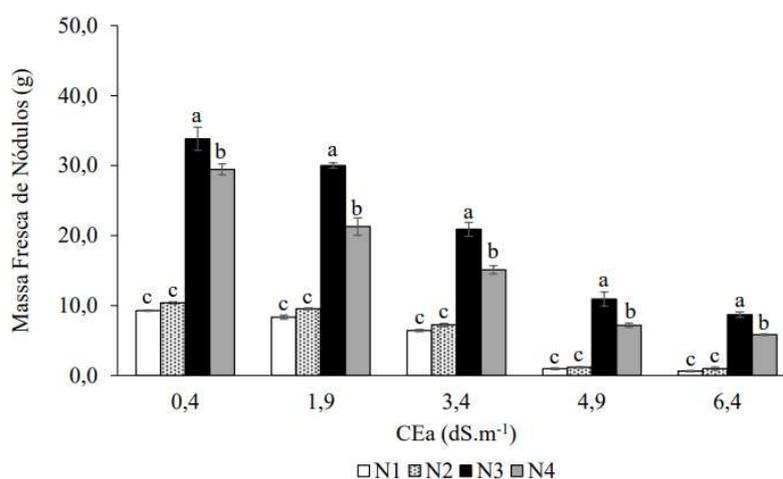
A partir do resumo da análise de variância (Tabela 8) percebe-se efeito significativo ($p \leq 0,01$) da interação entre os fatores salinidade da água de irrigação e as fontes de nitrogênio sobre as variáveis, massa fresca de nódulos (MFN) e massa seca de nódulos (MSN).

Tabela 8. Resumos da análise de variância referente à massa fresca de nódulos (MFN) e massa seca de nódulos (MSN) do feijão-caupi submetidos as diferentes fontes de nitrogênio sob salinidade.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		MFN	MSN
Níveis salinos (NS)	4	1080,1177**	30,228**
Fontes de Nitrogênio (N)	3	1480,8580**	40,670**
Interação (NS x N)	12	72,2754**	5,302**
Bloco	4	1,7925 ^{ns}	0,085 ^{ns}
Resíduo	76	2,0086	0,132
CV (%)		11,89	20,13

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

Através do gráfico da interação (Figura 15) é possível observar entre os níveis salinos e as fontes de nitrogênio, para massa fresca de nódulos das plantas do feijão-caupi, diferença estatisticamente em todos os níveis salinos, sendo a N3 a fonte de nitrogênio que apresentou maiores médias (Inoculação com o *Bradyrhizobium* spp.), para a variável em análise.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* spp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* spp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

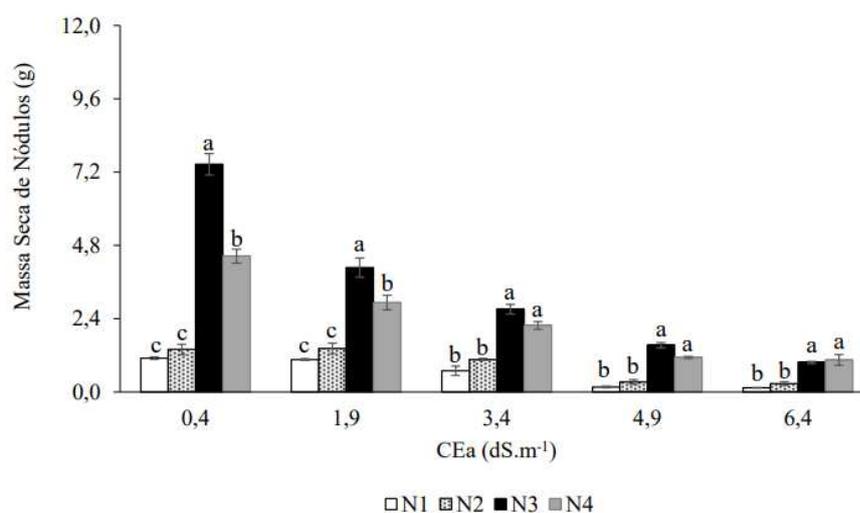
Figura 15. Massa fresca de nódulos (MFN) em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEA e as fontes de nitrogênio.

Quando comparado com o tratamento sem nitrogênio os incrementos são de 72,6% (24,55 g), 72,2% (21,67 g), 69,2% (14,47 g), 91,1% (9,96 g) e de 92,6% (8,05 g), na massa fresca de nódulos, para os níveis salinos de 0,4, 1,9, 3,4, 4,9 e 6,4 dS.m⁻¹, respectivamente. E na medida em que se eleva a condutividade da água de irrigação, ocorre um decréscimo na massa de nódulos. Lima et al. (2007) também observaram em sua pesquisa uma redução na nodulação, a medida em que o nível da água de irrigação era aumentado, podendo inferir que a massa de nódulos sofre perdas diante do efeito da salinidade.

Contudo, apesar das reduções na MFN com o aumento da salinidade, nota-se que as plantas do tratamento N3 cujas sementes foram inoculadas com as estirpes de *Bradyrhizobium* spp, alcançaram uma maior nodulação quando comparadas aos demais tratamentos de fontes de nitrogênio, como observado por Oliveira (2020), que em sua pesquisa notou que a inoculação de sementes de feijão-caupi com as estirpes BR 3262 e BR 3267 de *Bradyrhizobium* spp. promoveram incremento na nodulação das cultivares de feijão-caupi, quando comparada aos tratamentos com aplicação de N mineral.

Com relação a massa seca de nódulos (Figura 16), observa-se diferença estatística do tratamento inoculado N3 nos níveis menores de salinidade 0,4 e 1,9 dS.m⁻¹, quando comparado com o tratamento sem nitrogênio com incrementos de 85,2% (6,35 g) e 74% (3,01 g), respectivamente, na massa seca de nódulos, para os dois primeiros níveis salinos.

Com a fonte de nitrogênio (N3) em função de uma CEa 0,4 dS.m⁻¹ comparada com as irrigadas com CEa de 6,4 dS.m⁻¹, nota-se um decréscimo de 74,3% (25,14g) e de 87,07% (6,5 g), para a massa fresca e seca dos nódulos (Figura 15 e 16), respectivamente. Quando as plantas de feijão-caupi foram submetidas as concentrações salinas na água de irrigação, houve uma redução da massa nodular em decorrência do aumento dos níveis salinos, podendo indicar uma sensibilidade a salinidade na interação das bactérias com a cultura estudada. Os pesquisadores Medeiros et al. (2008), avaliando o efeito do estresse salino sobre a nodulação do feijão-caupi inoculado com o *Bradyrhizobium* spp., constataram uma redução acentuada na massa nodular a partir de concentrações salinas superiores a 2,0 dS.m⁻¹, enfatizando a sensibilidade dessa espécie ao incremento de sais solúveis no solo, seja via fertilização ou mesmo pela irrigação inadequada sobre o solo.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 16. Massa seca de nódulos (MSN) em função da interação entre em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

De acordo com Dias (2015), a salinidade contribui de forma negativa para o processo da fixação biológica de nitrogênio, reduzindo a nodulação da leguminosas pela inibição dos eventos iniciais da infecção bacteriana no sistema radicular, comprometendo a fixação biológica do nitrogênio. Os fatores abióticos que são responsáveis pela redução do seu potencial produtivo e diminui a eficiência simbiótica dos inoculantes que em sua maioria não contém bactérias adaptadas ao clima local (Jesus et al., 2018).

Singh et al. (2008) afirmam que a salinidade do solo pode limitar os processos simbióticos, afetar a sobrevivência, proliferação de rizóbios no solo e na rizosfera, inibir processo de infecção, afetar a função do nódulo nas raízes ou reduzir o crescimento das plantas.

5.4 Componentes de produção

O fator interação (NS x N) foi significativo ($p \leq 0,01$) para todos os parâmetros de produção estudados, como número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e produção (PROD) (Tabela 9).

Tabela 9. Resumos da análise de variância referente ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e produção (PROD) do feijão-caupi submetidos as diferentes fontes de nitrogênio sob salinidade.

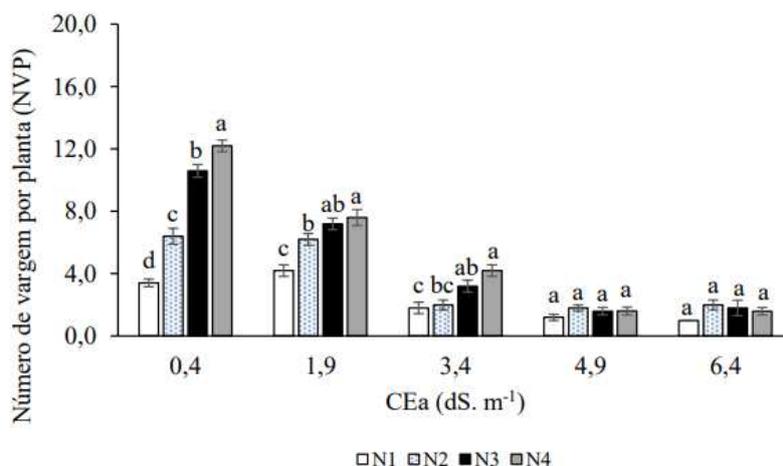
Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		NVP	NGP	PROD
Níveis salinos (NS)	4	178,4150**	14444,2350**	3284,0170**
Fontes de Nitrogênio (N)	3	47,8933**	4212,1867**	491,1299**
Interação (NS x N)	12	12,8017**	1301,4950**	189,5632**
Bloco	4	0,2900 ^{ns}	23,5600 ^{ns}	2,4897 ^{ns}
Resíduo	76	0,6216	38,9179	7,8374
CV (%)		19,32	20,68	22,29

ns, **, *, não significativo, significativo a $p < 0,01$ e a $p < 0,05$, respectivamente, CV- coeficiente de variação.

Ao desdobrar as fontes de nitrogênio no cultivo do feijão-caupi dentro de cada nível da salinidade (Figuras 17, 18 e 19), observa-se nos parâmetros de produção estudados, reduções ocasionadas pela salinidade da água. No menor nível de salinidade da água de irrigação 0,4 dS.m⁻¹, tratamento correspondente a coinoculação, apresentou a maior número de vagens por planta, quando comparada aos demais tratamentos se diferenciando estatisticamente entre si, nos maiores níveis salinos de 4,9 e 6,4 dS.m⁻¹ o número de vagens por planta não se diferenciaram estatisticamente.

Com o desdobramento das fontes de nitrogênio no cultivo do feijão-caupi, dentro dos níveis de CEa estudados, Figura 17, para o número de vagens por planta (NVP) os resultados foram significativos para quase todos os níveis salinos, exceto o 4,9 e 6,4 dS.m⁻¹, apresentando assim, as maiores médias para a fonte de nitrogênio N4 (Coinoculação bacteriana). Quando comparado o tratamento que obteve as maiores médias (N4) com a testemunha, nota-se um aumento de 72,1% (8,8), 44,7% (3,4) e de 57,1% (2,4) em relação ao NVP. Com isto, a simbiose melhora o desenvolvimento das plantas, o reflexo seria o aumento nos componentes de rendimento da planta. De acordo com Yadegari (2014), o feijoeiro comum pode obter incrementos nos componentes de rendimento do número de vagens por planta, quando elas forem inoculadas com bactérias do gênero Rizóbio associadas com outras estripes.

Com o aumento da salinidade na água de irrigação apareceu uma diminuição no número de vagens por plantas (Figura 17) com um decréscimo de 65,5% (7,40) em relação aos níveis salinos de 0,4 e 3,4 dS.m⁻¹ na fonte de nitrogênio N4. Os resultados se assemelham aos obtidos por Assis Júnior et al. (2007) avaliando o acúmulo de sais no solo e a produtividade do feijão-de-corda, em função da fração de lixiviação e salinidade na água de irrigação.



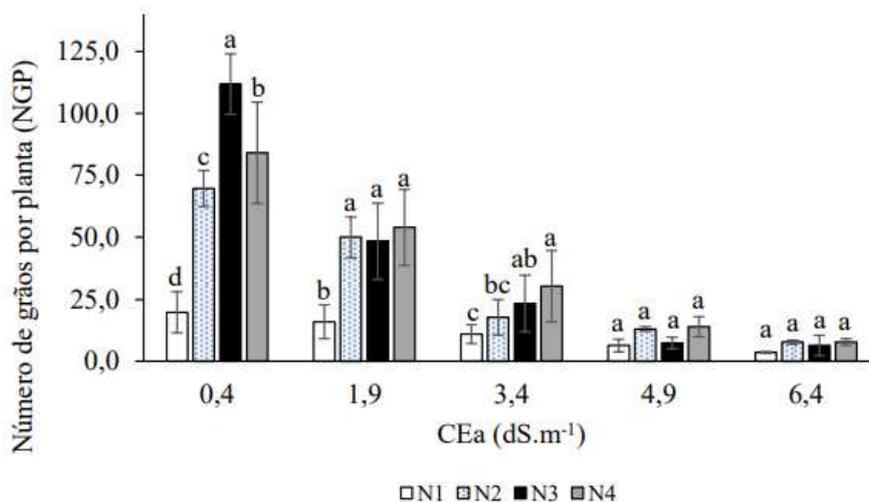
N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coincoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 17. Número de vagens por planta (NVP) do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

Oliveira et al. (2015) avaliando o crescimento e a produção do feijão caupi, em função de doses de bioestimulante Stimulate (0; 0,5; 1,0 e 1,5L ha⁻¹) e diferentes concentrações de água salina na água de irrigação (0,5; 2,0; 3,5 e 5,0 dS.m⁻¹) tiveram o NVP reduzido em função do aumento da CEa na irrigação.

O número de grãos por planta (NGP) também foi afetado pelo aumento do nível da salinidade na água de irrigação (Figura 18). No menor nível salino estudado, as plantas que receberam o tratamento da inoculação, apresentaram uma maior quantidade de grãos por planta em relação aos demais tratamentos, assim como no NVP os tratamentos não se diferenciaram nos dois maiores níveis salinos. No entanto, plantas irrigadas com uma CEa 0,4 dS.m⁻¹, mostraram um aumento de 82,2% (92) com relação a testemunha com o tratamento que alcançou a maior média (N3). Por outro lado, sem diferença significativa quando irrigadas com uma condutividade elétrica de 1,9 dS.m⁻¹ para os tratamentos N2, N3 e N4. Já as com 3,4

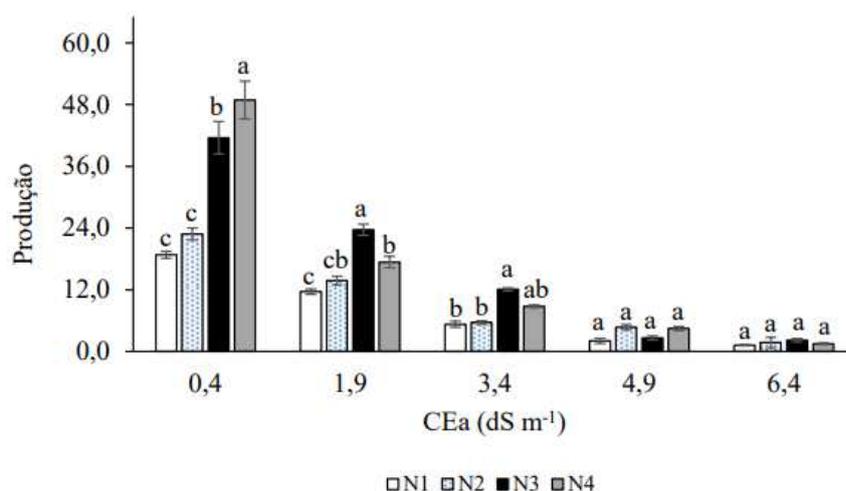
dS m⁻¹, o N4 foi o tratamento que alcançou a maior média, apresentando uma diferença de 63,8% (19,4) em comparação com o tratamento N1, sem nitrogênio.



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium* ssp) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium* ssp. e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 18. Número de grãos por planta (NGP) do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

Em relação a produção (Figura 19), assim como o NVP e o NGP não apresentaram significância para os maiores níveis salinos (4,9 e 6,4 dS.m⁻¹). Sendo que os tratamentos que obtiveram as maiores médias foram o N4 para uma CEa 0,4 dS.m⁻¹ e N3 para plantas irrigadas com uma CEa 1,9 e 3,4 dS.m⁻¹. Com isto, se evidencia um aumento na produção (Figura 19) com relação a fonte de nitrogênio com a maior média e a testemunha, sendo de 61,5% (30,09), 50,8% (12,03) e de 56,1% (6,79), para uma condutividade elétrica na água de irrigação de 0,4, 1,9 e 3,4 dS.m⁻¹. Considerando o assincronismo entre a nodulação e a fixação simbiótica pela junção das bactérias com o feijão caupi, a maior taxa de FBN se dá na prefloração, a mineralização da matéria orgânica e N absorvido, sendo que as argilas podem funcionar como reserva lábil do N, disponibilizando-o na fase inicial do processo de infecção, influenciando a FBN e, conseqüentemente, a produção (BRITO et al., 2009).



N1 (sem adubo N mineral e sem inoculante); N2 (adubado com N mineral e sem inoculante); N3 (inoculação de *Bradyrhizobium ssp*) e N4 (coinoculação de *Bradyrhizobium ssp* e *Azospirillum brasilense*). Tratamentos com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

Figura 19. Produção do feijão-caupi, em função da interação entre a salinidade da água de irrigação - CEa e as fontes de nitrogênio.

Em relação a salinidade, existe uma proporção inversa, pois quanto maior a CEa na água de irrigações menores são as taxas para as variáveis de produção (Figura 17, 18 e 19). Tais efeitos podem ser explicados devido aos efeitos deletérios que o estresse salino provoca por conta de uma redução na emissão de ramos reprodutivos, afetando as variáveis de produção (FURTADO et al., 2014).

6 CONCLUSÕES

O processo de nodulação em feijão-caupi foi afetado negativamente a partir do aumento da salinidade na água de irrigação, o que demonstra a sensibilidade da simbiose entre a cultura e as bactérias utilizadas.

As variáveis de crescimento reduziram, proporcionalmente, aos incrementos de sais na água de irrigação das plantas de feijão-caupi, conforme dados do estudo.

As bactérias diazotróficas favoreceram a fotossíntese no feijão-caupi, quando comparadas aos tratamentos sem as inoculações.

O Aumento da concentração salina na água de irrigação promoveu redução nos parâmetros fisiológicos das plantas de feijão-caupi.

No nível da salinidade limiar do feijão-caupi, $3,4 \text{ dS.m}^{-1}$, a inoculação refletiu em maior produção.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCANTARA, R. M. C. M.; XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; ROCHA, M. M.; CARVALHO, J.S. Eficiência simbiótica de progenitores de cultivares brasileiras de feijão caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p. 1- 9, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000100001>

ALI, A. Y. A., IBRAHIM, M. E. H., ZHOU, G., ZHU, G., ELSIDDIG, A. M. I., SULIMAN, M. S. E., SALAH, E. G. I. (2022). Interactive Impacts of Soil Salinity and Jasmonic Acid and Humic Acid on Growth Parameters, Forage Yield and Photosynthesis Parameters of Sorghum Plants. **South African Journal of Botany**, 146, 293-303.

ALMEIDA JÚNIOR, C.A. **Análise da inoculação e adubação nitrogenada em duas variedades de feijão caupi**. Chapadinha: Universidade Federal do Maranhão, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso.

ANDRADE, J. R.; BARBOSA, J. W. S.; ALENCAR, A. E. V.; NASCIMENTO, R.; MELO, D. F. Crescimento do feijão caupi submetido a inoculação com rizóbio e irrigação com água salina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.3, p. 06-09, 2012.

AQUINO, J.P.A.; BEZERRA, A.A.C.; NETO, F.A.; LIMA, C.J.G.S.; SOUSA, R.R. Respostas morfofisiológicas de genótipos de feijão-caupi à salinidade da água de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 1001 – 1008, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n421rc>

ARAÚJO, F. F. DE; ARAÚJO, A. S. F DE; SOUZA, M. R. Inoculação do feijão caupi com rizobactérias promotoras do crescimento e desempenho na produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 17, p.53-58, 2012. <https://doi.org/10.12661/pap.2012.010>

ARAÚJO, J. P. P. DE.; RIOS, G.P.; WATT, E.E.; NEVES, B.P. DAS.; FAGERIA, N.K.; OLIVEIRA, I.P.DE.; GUIMARÃES, C.M.; SILVEIRA FILHO,A. Cultura do caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp: descrição e recomendações técnicas de cultivo. Goiania: Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP), 1984.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.

ASSIS JÚNIOR, J. O.; LACERDA, F. C.; SILVA, F. B.; SILVA, F. L. B.; BEZERRA, M. A.; GHEYI, H. R. Produtividade do jeijão-de-corda e acúmulo de sais no solo em função de lixiviação e da salinidade da água de irrigação. **Revista Engenharia de água e solo**, v.27, n.3, 2007.

AUGÉ, R. M.; TOLER, H. D.; SAXTON, A. M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. **Mycorrhiza**, v. 25, p. 13-24, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00572-014-0585-4>

AYALEW, T.; YOSEPH, T.; HÖGY, P.; CADISCH, G. Leaf growth, gas exchange and assimilation performance of cowpea varieties in response to Bradyrhizobium inoculation. **Heliyon**, v.8, p.e08746, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08746>

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2.ed. João Pessoa: UFPB, 1999. 218p.

BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants : special emphasis on the Brazilian experience. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 77, n. 3, p. 549–579, 2005.

BÁRBARO, I. M.; BRANCALÃO, S. R.; TICELLI, M.; MIGUEL, F. B.; SILVA, J. A. A. Técnica alternativa: co-inoculação de soja com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium* visando incremento de produtividade [S. l.: s.n.], 2008.

BATISTA, E.R; GUIMARAES, S.L.; BONFIM-SILVA, E.M.; SOUZA, A.C.P. Combined inoculation of rhizobia on the cowpea development in the soil of Cerrado. **Revista de Ciência Agronômica**, v.48, p.745-755, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170087>

BEZERRA NETO, E; BARRETO, L. P; COELHO, J. B. M. Considerações sobre nutrição mineral e o caso do feijão vigna. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, v.11, p.85-120, 2015.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. Identification of gibberellins A1, A3, and Iso-A3 in cultures of *azospirillum lipoferum*. Plant Physiology, v. 90, n. 1, p. 45–47, 1 maio 1989.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da safra de grãos: safra 2017/18 –n. 11 – décimo levantamento, 2019.

BRITO, K. Q. D.; NASCIMENTO, R.; SANTOS, J. E. A.; SOUZA, F. G.; SILVA, I. A. C. Crescimento de genótipos de Feijão-caupi irrigados com água salina. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, p. 16-21, 2015.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Revista Bragantia**, v.70, p. 206-215, 2011.

BRITO, M. de M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da S. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em Feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de ¹⁵N. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.895-905, 2009.

BULEGON, L.G.; GUIMARÃES, V.F.; EGEWARTH, V.A.; SANTOS, M.G.; HELING, A.L.; FERREIRA, S.D.; Ana Paula Gonçalves da Silva WENGRAT, A.P.G.S.; BATTISTUS, A.G. Crescimento e trocas gasosas no período vegetativo da soja inoculada com bactérias diazotróficas. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.4, n.5, p.277-286, 2016.

CALVET, A. S. F.; PINTO, C. M.; LIMA, R. E. M.; MAIA-JOCA, R. P. M.; BEZERRA, M. A. Crescimento e acumulação de solutos em feijão-caupi irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento. **Irriga**, v. 18, p. 148-159, 2013. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2013v18n1p148>

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; MENDES, I.C. 2018. Métodos de inoculação. **Site:** https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/soja/arvore/CONTAG01_73_271020069133.html. Acesso em: 26 jun. 2019.

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

CASSÁN, F.; DÍAZ-ZORITA, M. *Azospirillum* sp. in current agriculture: From the laboratory to the field. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 103, p. 117–130, 2016.

- CASTRO, C. M.; ALVES, B. J. R.; ALMEIDA, D. L.; RIBEIRO, R. L. D. Adubação verde como fonte de nitrogênio para a cultura da berinjela em sistema orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v. 39, n. 8, p. 779-785, ago. 2004.
- CAVALCANTE, A.C.P.; CAVALCANTE, A.G.; NETO, M.A.D.; MATOS, B.F.; DINIZ, B.L.M.T.; BERTINO, A.M.P. Inoculação das cultivares locais de feijão-caupi com estirpes de rizóbio. **Revista Ciências Agrárias**, v.60, p. 38-44, 2017.
- CHA-UM, S.; BATIN, C.; SAMPHUMPHUNG, T.; KIDMANEE, C. Physio-morphological changes of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) and jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) in responses to soil salinity. *Australian Journal of Crop Science*, v. 7, n. 13, p. 2128-2135, 2013.
- CHIBEBA, A. M.; GUIMARÃES, M. F.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizbium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. **American Journal of Plant Sciences**, Califórnia, v.6, p. 1641, 2015. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1019251>
- CLARKE, V. C.; LOUGHLIN, P. C.; DAY, D. A.; SMIT, P.M.C. Transport processes of the legume symbiosome membrane. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v.5, 9 p, 2014. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00699>
- COÊLHO, K, J, F.; OLIVA, M. A. Eficiência do uso de água em plantas jovens de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) submetidas à deficiência hídrica. *Agropecuária Técnica*, v.2, n.1, p. 20-30, 1981.
- COELHO, B.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão *vigna* cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, p.379-385, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2019/20. Available on: <http://www.conab.gov.br/Conabweb/download/pdf> . Accessed on: Janeiro 2022.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília, v.4, n.4, 160p, 2017.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Monitoramento da safra agrícola 2018/19. Primeiro levantamento, Brasília: Conab, v.6, n.1, p.69- 71, 2018.

COSTA, A.F. **Cadernos do Semiáridos riquezas & oportunidades** / Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Pernambuco. – v.17, n.3 (2020). Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, 2020.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R S. Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. v.19, p.485-510. 2007.

DANTAS, J.P.; MARINHO, F.J.L.; FERREIRA, M.M.M.; AMORIM, S.N.; ANDRADE, S.I.O.; SALES, A.L. Avaliação de genótipos de caupi sob salinidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.425-430, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000300008>

DIAS, N. D.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal. p. 129-140, 2010.

DIAS, S, M. **Morfofisiologia de isolados de rizóbios de fabáceas forrageiras do semiárido pernambucano**. Garanhuns: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2015. 107p. Dissertação Mestrado.

DONI, F.; ISAHAK, A.; CHE MOHD ZAIN, C.R.; WAN YUSOFF, W.M. Resposta fisiológica e de crescimento do arroz plantas (*Oryza sativa* L.) para *Trichoderma* spp. inoculantes. *AMB Express*, v.4, art.45, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s13568-014-0045-8>. FAO. Food and Agriculture of the United Nations. Faostat (Crops).

DUTRA A.S.; BEZERRA, F.T.C.; NASCIMENTO, P.R.; LIMA, D.C. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão caupi em função da adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.816- 821, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000400025>

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2018): área, produção e rendimento. Embrapa Arroz e Feijão, 2019.

EMBRAPA. Cultivo de Feijão-Caupi. 2017. Net. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161168/1/SistemaProducaoCaupiCapituloFixacaoBiologicaNitrogenio.pdf>. Acesso em: Março/2019.

EMBRAPA. Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2017. Net. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/165329/1/500-Feijao-caupi-ed-01-2017.pdf>. Acesso em: Out/2018.

EMBRAPA. Fixação biológica de nitrogênio. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>. Acesso em: 7 maio 2019.

EPSTEIN, E., & BLOOM, A. P. Princípios e perspectivas. Londrina. editora planta, 2ª edição, p.404, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. *Cienc. e Agrotecnologia* 38, 109–112. 2014.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. DE A.; RIBEIRO, V. Q. Feijão-caupi: Avanços Tecnológicos. 1 ed., Brasília, Embrapa informação tecnológica, 2005, p. 519.

FURTADO, G. F.; SOUSA JÚNIOR, J. R.; XAVIER, D. A.; ANDRADE, E. M. G.; SOUSA, J. R. M. Pigmentos fotossintéticos e produção de feijão *Vigna unguiculata* L. Walp. sob salinidade e adubação nitrogenada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, p.291-299, 2014.

GARZÓN, P.; GARCÍA, M. Efecto del estrés por NaCl sobre La anatomia radical y foliar em dos genótipos de frijol (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.). *Bioagro*, v.23, p.153-160, 2011. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85721149001>

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza-CE, INCTSal, 2.ed. 2016.

GILABE, A. P., **Co-inoculação de *rhizobium* e *azospirillum* e adubação nitrogenada na cultura do feijão comum**. Botucatu :Universidade Estadual Paulista, 87p. Dissertação Mestrado, 2018.

GITTI, D. C. Inoculação e coinoculação na cultura da soja. Fundação MS, 2019. Disponível em: <https://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/234/234/newarchive-234.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2020.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements 1. *Jornal de Agronomia*, v.3, p.477-479, 1969. <https://doi.org/10.2134/agronj1969.00021962006100030048x>

HOFFMAN, B. M.; LUKOYANOV, D.; YANG, Z. Y.; DEAN, D. R.; SEEFELDT, L. C. Mechanism of nitrogen fixation by Nitrogenase: the next stage. *Chemical Reviews*, Washington, v. 114, p. 4041-4062, 2014.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O.; PROBANZA, A.; GUTTIERREZ-MAÑERO, F. J.; MEGÍAS, M. Conjunto mínimo de parâmetros para avaliação da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.83-91, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000100011>

HUNGRIA, M.; KASCHUK, G. Regulation of N₂ fixation and NO₃⁻/NH₄⁺ assimilation in nodulated and Nfertilized *Phaseolus vulgaris* L. exposed to high temperature stress. *Environmental and Experimental Botany*, Oxford, v.98, p.32- 39, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.010>

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

HUSSAIN, R. A.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A.; NAWAZ, F. Nutrient uptake, water relations, and yield performance of different wheat cultivars (*Triticum aestivum*L.) under salinity stress. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 38, p. 2139-2149, 2015. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.958169>

IKEDA, A. C. Caracterização morfofisiológica e genética de bactérias Endofíticas isoladas de raízes de diferentes genótipos de milho (*Zea mays* L.). 2010. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GÁRCIA-NÚÑEZ, C.; AZÓCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchanges of plantain cv. Hartón (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v.104, n.1, p. 79-89, 2005.

- JESUS, E. C., LEITE, R. A., BASTOS, R. A., ARAGÃO, O. O. S., & Araújo, A. P. (2018). Coinoculation of Bradyrhizobium stimulates the symbiosis efficiency of Rhizobium with common bean. **Plant And Soil**, 425, (1-2), 201-215.
- LACERDA, C. F.; SOUSA, G. G.; SILVA, F. L. B.; GUIMARÃES, F. V. A.; SILVA, G. L.; CAVALCANTE, L. F. Soil salinization and maize and cowpea yield in the crop rotation system using saline waters. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.4, p.663-675, 2011.
- LATIF, H. H.; MOHAMED, H. I. Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. **South African Journal of Botany**, v. 106, p. 221-231, 2016.
- L'TAIEF, B.; SIFI, B.; ZAMAN-ALLAH, M.; HORRES, R.; MOLINA, C.; BEEBE, S.; WINTER, P.; KAHL, G.; DREVON, J.; LACHAAL, M. Genotypic variability for tolerance to salinity and phosphorus deficiency among N₂-dependent recombinant inbred lines of common bean (*Phaseolus vulgaris*). **African Journal of Microbiology Research**, Lagos, v. 6, n. 22, p. 4205-4213, 2012.
- LEAL, R. M.; PRADO, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife – PE/UFRPE, v.3, n.4, p. 301 – 306, 2008.
- LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: Packer, L.; Douce, R. Eds. *Methods in Enzymology*. Academic Press, London, UK, v. 148, p. 350-38, 1987. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, M. K. T.; ALMEIDA JÚNIOR, A.B. Resposta do feijão caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró – RN, v. 2, n. 2, p. 79 – 86, 2007.
- LIMA, B. S. Tolerância de genótipos de *Vigna unguiculata* ao estresse salino: integração dos mecanismos moleculares, fisiológicos e bioquímicos. Fortaleza: UFC, 2017. 84f. Tese (Doutorado em bioquímica).
- LOPES, M. N.; CÂNDIDO, M. J. D.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A.; CARNEIRO, M. S. Gas exchange in Massai grass fertilized with nitrogen and grazed by sheep. **Bioscience Journal**, 36(1), 152-160, 2020.

LOPES, E. C. P.; MORAES, A.; LANG, C. R. Estudo do fracionamento isotópico de nitrogênio aplicado a gramíneas e leguminosas forrageiras. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava**, v. 9, 2016.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa de crescimento. In. FERRI, M. G. (Coord.) **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1979, p. 331-350.

MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biology and Fertility of Soils*, v.38, p.333-339, 2003. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0668-4>

MARTINS, RNL; NÓBREGA, RSA; SILVA, AFT; NÓBREGA, JCA; AMARAL, FHC; COSTA, EM; LUSTOSA FILHO, JF; MARTINS, LV Nitrogênio e micronutrientes na produção de grãos de feijão-caupi inoculado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.4, p. 1577-1586, 2013.

MEDEIROS, J. F. DE. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados de RN, PB e CE**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1992. 173p. Dissertação Mestrado, 1992.

MEDEIROS, R.; SANTOS, V.; ARAÚJO, A.; OLIVEIRA FILHO, C. Estresse salino sobre a nodulação em feijão-caupi. **Revisa Caatinga**, v. 21, n. 5, 2008. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=237117585030>

MONTEIRO, D. R. Status hídrico, trocas gasosas e fluorescência da clorofila em sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) irrigado com água salina. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

MUNNS, R.; TESTER M. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, v. 59, p. 651- 681, 2008.

NEVES, A.L.R.; LACERDA, C.F.; GUIMARÃES, F.V.A.; HERNANDEZ, F.F.F.; SILVA, F.B.; PRISCO, J.T.; GHEJI, H.R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estágios de desenvolvimentos. **Ciência Rural**, v.39, p.758-765, 2009.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J. (ed.) Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: Embrapa-SEA. p.189-253. 1991.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. L. Produção de feijão caupi em salinidade e regulador de crescimento, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.11, p.1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, W. J., DE SOUZA, E. R., SANTOS, H. R. B., DE FRANÇA, Ê. F., DUARTE, H. H. F., & DE MELO, D. V. M. Fluorescência da clorofila como indicador de estresse salino em feijão caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, 12(3), 2592, 2018.

OLIVEIRA, N.M.; AMANCIO, D.; DANTAS, R.T.; FURTADO, D.A. Casa de vegetação para o cultivo de alface. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.28, p.126-131, 2013.

OLIVEIRA, P.R.H. **Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi inoculadas com rizóbio no Semiárido Brasileiro**. Mossoró. :Universidade Federal Rural do Semi-Árido, p. 47, 2020. Dissertação de mestrado

OLIVEIRA, H. ***Azospirillum brasilense* como atenuante do efeito da salinidade em milho irrigado**. Universidade Federal de Campina Grande, 2020, 88p. Tese Doutorado.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. DO N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, p.1308-1324, 2015. <http://dx.doi.org/105902/2236117016544>

PEREIRA, G.; MENESES, M. Potencialidades da cultura de feijão-frade em Portugal. **Vida Rural**, vol. 1846, p. 42-43, 2019. <https://doi.org/10.19084/rca.18510>

PEREIRA, L.S.; SOUSA,G.D.; OLIVEIRA,G.S.; SILVA, J.N.;COSTA, E.M.;VENTURA,M.V.A.; JAKELAITIS, A. Eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência na cultura do feijão-caupi. **Colloquium Agrariae**, v.16, n.1, p.29-42, 2020.

PERES, A. R. **Co-inoculação de *Rhizobium tropici* e *Azospirillum brasilense* em feijoeiro cultivado sob duas lâminas de irrigação: produção e qualidade fisiológica de sementes**. Universidade Estadual Paulista. P. 71, 2014. Dissertação Mestrado.

- RICHARDS, L.A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60.
- RICHARDSON, N. S. G.; MCCREE, K. J. Carbon balance and water relations of sorghum exposed to salt and water stress. **Plant Physiology**, Rockville, v.79, n.4, p.1015-20, 1985.
- RIBEIRO, P. R. A.; SANTOS, J.V. DOS.; COSTA, E.M.DA.; LEBBE, L.; ASSIS, E.S.; LOUZADA, M.O.; GUIMARÃES, A.Z.; WILLEMS, A.; MOREIRA, F.M.S. **Symbiotic efficiency and genetic diversity of soybean bradyrhizobia in Brazilian soils**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 212, p. 85–93, 2015.
- ROCHA, H.G.S.; CASTRO, H.S.; FREITAS, J.R.B. Resposta de feijão-caupi à inoculação com estirpe de rizóbio. **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v.4, p.123-134, 2019. <http://dx.doi.org/10.21575/25254790rmmma2019vol4n21103>
- RODRIGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; GOIRE, I.; BASHAN, Y. Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. *Naturwissenschaften*, v. 91, p. 552–555, 20 nov. 2004.
- SÁ, F. V. S.; FERREIRA NETO, M.; LIMA, Y. B.; PAIVA, E. P.; PRATA, R. C. LACERDA, C. F. BRITO, M. B. Growth, gas exchange and photochemical efficiency of the cowpea bean under salt stress and phosphorus fertilization. **Comunicata Scientiae**, v.9, n.4, p.668-679, 2018.
- SABOYA, R. D. C. C.; BORGES, P. R. S.; SABOYA, L. M. F.; REIS, F. P. M.; SOUZA, S. E. A.; SANTOS, A. F.; SANTOS, E. R. Resposta do feijão-caupi a estirpes fixadoras de nitrogênio em Gurupi-TO. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 4, n.1, 2013. <https://doi.org/10.20873/jbb.uft.cemaf.v4n1.saboya>
- SALGADO, F. H. M.; FIDELIS, R.R.; CARVALHO, G. L. DE.; SANTOS, G. R. DOS.; CANCELLIERI, E.L.; SILVA, G.F. Comportamento de genótipos de feijão, no período da entressafra, no Sul do estado de Tocantins. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 52-58, Jan./Feb. 2011.
- SANTANA, I.O.; SANTOS, M.S.; SANOS, C.A.P.; CAMPOS, N.M. Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v.16, p.75-80, 2020. <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v16i2.1228>

SANTOS, A. A. **Otimização da FBN e resposta antioxidativa do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) com e sem estresse salino.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017, 138p. Tese Doutorado.

SCHERER, A. L.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; HERMÓGENES, T. L. Efeito de diferentes épocas e doses de aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro cultivado em Campo Grande – MS. **Revista cultivando o saber**, v.8, p. 162 – 171, 2015.

SILVA JÚNIOR, E. B.; FERNANDES JÚNIOR, P. I.; OLIVEIRA, P. J.; RUMJANEK, N. G.; BODDEY, R. M.; XAVIER, G. R. Eficiência agronômica de nova formulação de inoculante rizobiano para feijão-caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.1, p.138-141, 2012.

SILVA, A.F.; FREITAS, A.D.S; STAMFORD, N.P. Efeito da inoculação da soja (cv. Tropical) com rizóbios de crescimento rápido e lento em solo ácido submetido à calagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1327-1333, 2002.

SILVA, P. H. S.; CARNEIRO, J. S.; QUINDERÉ, M. A. W. PRAGAS IN: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. DE A.; RIBEIRO, V. Q. Ed. Feijão-Caupi – Avanços Tecnológicos. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, p. 366 – 402, 2005.

SILVA, A. C.; VASCONCELOS, P. L. R.; MELO, L. D. F. A.; SILVA, V. S. G.; MELO, J. L. A.; SANTANA, M. B. Diagnóstico da produção de feijão-caupi no nordeste brasileiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, p.1-5, 2018.

SILVA, A. O. DA; KLAR, A. E.; SILVA, E. F. DE F. E; TANAKA, A. A.; JÚNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1143-1151, 2013.

SILVA, E. M. **Inoculante para soja de alta produtividade: como, quando e por que.** 2018. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/inoculante-para-soja/>. Acesso em: 10 maio 2019.

SILVA, F. L. B. DA.; LACERDA, C. F. DE.; NEVES; A. L. R.; SOUSA, G. G. DE.; SOUSA, C. H. C. DE.; FERREIRA, F. J. Irrigação com águas salinas e uso de biofertilizante bovino nas trocas gasosas e produtividade de feijão-de-corda. **Irriga**, Botucatu v. 18, p. 304-317, 2013. <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n2p304>

SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M.; MENEZES JÚNIOR, J. A. N. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. (org.). A cultura do feijão-caupi no Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p. 6-12, 2016.

SINGH, B.; KAUR, R.; SINGH, K. Characterization of Rhizobium strain isolated from the roots of *Trigonella foenumgraecum* (fenugreek). **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.7, p.3671-3676, 2008.

SOUSA, G. G.; VIANA, T. V. A.; SILVA, G. L.; DIAS, C. N.; AZEVEDO, B. M. Interação entre salinidade e biofertilizante de caranguejo na cultura do milho. **Magistra**, v.28, n.1, p.44-53, 2016.

SOUSA, B. E. L., DE SOUSA, G. G., DE MELO MENDONÇA, A., DOS SANTOS, M. F. A., SILVA JUNIOR, F. B., & MORAES, J. G. L. Irrigação com água salina e uso de substratos na cultura do feijão-caupi. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 86-91, 2021.

SOUZA, G. G.; VIANA, T. V. A.; LACERDA, C. F.; AZEVEDO, B. M.; SILVA, G. L.; COSTA, F. R. B. Estresse salino em plantas de feijão-caupi em solo com fertilizantes orgânicos. **Revista agroambiente**, v.8, p.359-367, 2014. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i3.1824>

SOUZA, J. E. B. **Co-inoculação de *rhizobium tropici* e *azospirillum brasilense* no feijoeiro-comum visando aumento de produtividade e redução de custos de produção.**, Universidade Federal de Goiás, 2015. Dissertação Mestrado.

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and molecular biology**, Ribeirão Preto, v.38, p.401-419, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1415-475738420150053>

TAIBI, K.; TAIBI, F.; ABDERRAHIM, L. A.; ENNAJAH, A.; BELKHODJA, M.; MULET, J. M. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. **South African Journal of Botany**, v. 105, p. 306-312, 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

THORBURN, P. J.; BIGGS, J. S.; WEBSTER, A. J.; BIGGS, I. M. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. **Plant and Soil**, The Hague, v. 339, n. 1-2, p. 51-67, 2011.

TIEN, T. M.; GASKINS, M. H.; HUBBELL, D. H. Plant Growth Substances Produced by *Azospirillum brasilense* and Their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). *Applied and Environmental Microbiology*, v. 37, n. 5, p. 1016–1024, 1979.

TOLEDO, J. V.; ZOLNIER, S.; SILVA, T. G. F.; BOEHRINGER, D.; STEIDLE N. A. J. Alterações na evapotranspiração de cultivares de cana-de-açúcar sob distintos níveis de salinidade aplicados na fertirrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, v.37, 2017.

VIEIRA, L.N. **Crescimento da planta e rendimento de sementes de feijão-caupi em Bom Jesus da Lapa – BA**. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel: Universidade Federal de Pelotas, 2015, 29p. Dissertação Mestrado.

WANG, S.; LI, X.; LU, J.; HONG, J.; CHEN, G.; XUE, X.; WEI, Y.; ZOU, J.; LIU, G. Effects of controlled-release urea application on the growth, yield and nitrogen recovery efficiency of cotton Suping, *Agricultural Sciences*, v. 4, p.33-38, 2013.

YADEGARI, M. Inoculation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds with *Rizobium phaseoli* and plant growth promoting rhizobacteria. **Advances in Environmental Biology**, v. 8, n. 2, p. 419-424, 2014.

ZHOU, X. J. et al. Effects of rhizobia inoculation and nitrogen fertilization on photosynthetic physiology of soybean. *Photosynthetica*, v. 44, n. 4, p. 530–535, 2006.

ZUFFO, A. M.; REZENDE, P. M.; BRUZI, A.T.; OLIVEIRA N. T.; SOARES, I.O.; NETO, G. F. G.; CARDILLO, B. E.S.; SILVA, L.O. Co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasiliense* in the soybean crop. **Revista de Ciências Agrárias**, Recife, v.38, p.87-93, 2015.