







ORIGINAL PAPER

Eficiência fisiológica e desempenho do amendoim sob estresse salino e inoculado com *Bradyrhizobium*

Antonio Fabio Da Silva Lima^{1*} ; Lucas Nunes da Luz² ; Max Ferreira dos Santos¹ ;
Francisco Viana da Silva Filho¹ ; Francisco Aglauberto de Lima Gouveia²  & José Artur de
Oliveira Casimiro² 

¹Universidade Federal do Ceará

²Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Resumo: Neste trabalho buscou-se saber os efeitos da salinidade da água sob as plantas de amendoim e se a inoculação com um mix de *Bradyrhizobium* seria eficaz em reduzir os efeitos e melhorar o desempenho. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial 4×2 , quatro níveis de salinidade da água ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$ - controle, $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, 3 dS m^{-1} , $4,5 \text{ dS m}^{-1}$) e plantas inoculadas e não inoculadas com *Bradyrhizobium* sp., totalizando 8 tratamentos e 4 repetições. Para as avaliações de trocas gasosas feitas aos 55 dias após a semeadura realizou-se duas variáveis: eficiência instantânea da carboxilação e eficiência fotoquímica da fotossíntese, de crescimento: altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar, todas feitas aos 65 dias após a semeadura, com auxílio de uma régua milimétrica e um paquímetro. Em relação a biomassa: matéria seca da parte aérea, matéria seca da raiz e matéria seca total, aos 70 dias após a semeadura. As bactérias fixadoras auxiliaram na produção de moléculas que auxiliaram e fortaleceram o aparato fisiológico e deram um incremento nas variáveis de crescimento. O mix de bactérias (*Bradyrhizobium* sp.) foram eficientes em reduzir os efeitos deletérios causados pelos sais, com isso as plantas tiveram uma melhor resposta no crescimento e no acúmulo de biomassa.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., relação planta-micróbio, trocas gasosas.

Physiological efficiency and performance of peanuts under salt stress and inoculated with *Bradyrhizobium*

Abstract: In this work, we sought to know the effects of water salinity on peanut plants and whether inoculation with a mixture of *Bradyrhizobium* would be effective in reducing the

* E-mail: antfabiosl@gmail.com

Editores: Mairton Gomes da Silva & Petterson Costa Conceição Silva

Recebido em: 28 de janeiro de 2022

Aceito em: 13 de maio de 2022

effects and improving performance. The experimental design was completely randomized, with a 4×2 factorial arrangement, four levels of water salinity ($0,5 \text{ dS m}^{-1}$ - control), $1,5 \text{ dS m}^{-1}$, 3 dS m^{-1} , $4,5 \text{ dS m}^{-1}$) and plants inoculated and not inoculated with *Bradyrhizobium* sp., totaling 8 treatments and 4 repetitions. For the gas exchange evaluations made at 55 days after sowing, two variables were used: instantaneous efficiency of carboxylation and photochemical efficiency of photosynthesis, of growth: plant height, stem diameter, number of leaves and leaf area, all made at 65 days after sowing, with the aid of a millimeter ruler and a caliper. In relation to biomass: area dry matter, root dry matter and total dry matter, at 70 days after sowing. Fixing bacteria helped in the production of molecules that helped and fortified the physiological apparatus and gave an increase in growth variables. The mix of bacteria (bacterial) were efficient to reduce the deleterious effects accumulation by the biomass, with that the best plants had a creation and not accumulation of biomass.

Palavras-chave: *Arachis hypogaea* L., plant-microbial relationship, gas exchange.

Introdução

O amendoim é uma cultura de grande importância agrícola no mundo, com elevada produção e consumo em países como China, Índia e Estados Unidos. O amendoim aparece listado entre as principais culturas (15°) agrícolas, sendo elas responsáveis por 90% da alimentação do mundo, com elevada taxa de produção e comercialização a nível mundial (FAO, 2018).

O aumento da produção de amendoim passa obrigatoriamente pela abertura de novas áreas de produção, contudo, a salinidade dos solos nas regiões que se interessam pela produção tem prejudicado a expansão da cultura (Andrade et al., 2018). Segundo Pedrotti et al. (2015), a alta concentração de sais no solo se dá pela combinação de condições edafoclimáticas extremas, como elevadas taxas de evapotranspiração aliada a baixa precipitação, eventos estes comuns no semiárido brasileiro, em especial, o estado do Ceará. A interação desses fatores leva ao acúmulo de sais tanto na água como no solo.

O estresse salino é um dos principais fatores abióticos limitantes do desenvolvimento das plantas. Este resulta em um desequilíbrio generalizado na planta provocando uma redução dos processos fisiológicos e bioquímicos e, conseqüentemente uma redução drástica no desenvolvimento e produtividade das

culturas (Oliveira et al., 2019). Em regiões como o semiárido brasileiro, o acúmulo de sais, especialmente Na^+ e Cl^- , tem afetado de forma direta o funcionamento das raízes devido à redução do potencial osmótico do solo, o que reduz a absorção de íons, provocando o desbalanço nutricional nas plantas (Araújo et al., 2016).

Há indicativos na literatura que a melhoria das condições gerais de fertilidade do solo aliada a disponibilidade/oferta de matéria orgânica no solo pode atenuar os efeitos da salinidade (Silva Junior et al., 2009). Silva et al., (2019) demonstram que a inoculação de plantas com *Bradyrhizobium* induz o aumento na concentração de solutos orgânicos nos nódulos radiculares desses vegetais, o que pode melhorar o desempenho sob estresse salino. Com isso, evidencia-se a importância de estudos relacionados aos efeitos da salinidade em plantas de amendoim sob efeito da inoculação que possam mostrar os efeitos causados a planta de amendoim quando se tem fatores como a salinidade e a inoculação vinculados.

Em solos pobres e com problema de excesso de salinidade, a inoculação com estirpes bacterianas de *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* tem demonstrado resultados promissores (Silva et al., 2019). A inoculação é um processo que pode melhorar as condições metabólicas da planta, tornando-a mais resistente aos danos

causados pelo excesso de sais, devido aos seus efeitos microbiotas positivos (Numan, 2018).

Os *Bradyrhizobium* vêm sendo muito utilizado na inoculação com a cultura da soja. Porém, outros trabalhos mostram seus resultados promissores na cultura do amendoim (Lima, et al., 2021). Segundo Lopes et al. (2021) as bactérias melhoram de forma direta a produção de hormônios vegetais e assim reduzem os danos de estresses abióticos, por consequência, melhoram o desempenho fisiológico e aumentam o crescimento das plantas que estão se beneficiando desse processo.

Neste trabalho buscou-se avaliar os efeitos da salinidade da água sob as plantas

de amendoim e se a inoculação com um mix de *Bradyrhizobium* seria eficaz em reduzir os efeitos deletérios e melhorar o desempenho.

Materiais e métodos

O experimento foi conduzido nos meses de junho a agosto de 2019 em casa de vegetação na Unidade de Produção de Mudanças Auroras (UPMA), no Campus das Auroras da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), Redenção, Ceará. Segundo Köppen (1931), o clima é classificado como Aw', tropical chuvoso, muito quente, com predomínio de chuvas nas estações do verão e do outono (Figura 1).

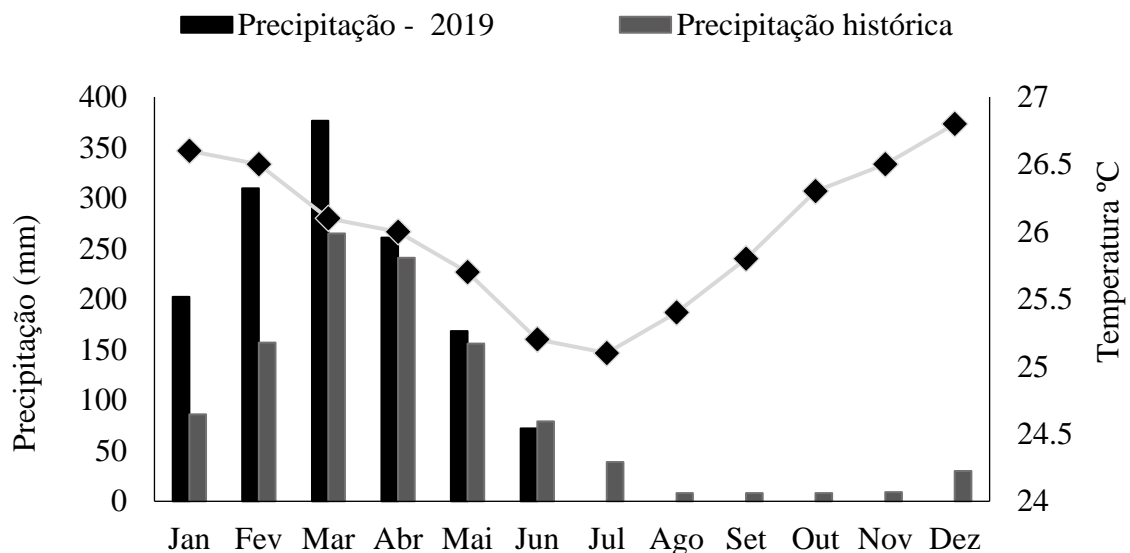


Figura 1. Condições climáticas durante o período do experimento, Redenção-CE.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com tratamentos arranjados em esquema fatorial (4 x 2) com quatro níveis de salinidade da água, de condutividade elétrica: 0,5 dSm⁻¹ (controle), 1,5 dSm⁻¹, 3 dSm⁻¹, 4,5 dSm⁻¹ e plantas inoculadas e não inoculadas. A inoculação foi realizada com um mix de rizóbios SEMIA 630® e SEMIA 6144® (*Bradyrhizobium* sp.), a metodologia adotada se justifica pela razão de os dois tipos de *Rhizobium* serem de outra região,

contudo são recomendados comercialmente para a cultura do amendoim. a utilização dessa metodologia é devido ao fato de que são dois tipos de *Rhizobium* de outra região, mas que são recomendados comercialmente para a cultura do amendoim, então para garantir, se utilizou do mix. Esses produtos foram cedidos pelo Laboratório de Microbiologia do MIRCEN, Rio Grande do Sul. O experimento foi realizado com 4 repetições.

As estirpes foram ativadas segundo o método da Embrapa (1994) onde o processo de multiplicação foi realizado em 50 mL de meio YM líquido incubados em agitador rotatório a 150 rpm e temperatura de 28 °C veiculadas em turfa, onde passou por um período de 15 dias de multiplicação no erlenmeyer em agitação mecânica (sob escuro), até atingir uma contagem de 1 bilhão de unidades formadas a cada 1 mL de solução. A contagem foi realizada em uma câmara de Neubauer e uma semana em crescimento em turfa estéril para fazer o inoculante sólido.

Foram realizadas duas inoculações, a primeira foi diretamente nas sementes em turfa e a segunda (inoculação de reforço)

aos dez dias após a semeadura (DAS), para garantir que as plantas fossem infectadas. Na segunda inoculação, foi adicionado 2 mL (1 bilhão de unidades a cada 1 mL) de caldo bacteriano diretamente no colo das plantas.

No experimento utilizou-se a espécie *Arachis hypogaea* L. cultivar BR-1®. A semeadura foi realizada com cinco sementes, e 10 dias após a semeadura foi efetuado o desbaste, deixando 2 plantas. O plantio ocorreu em vasos com capacidade de 8 L, preenchidos com solo retirado da camada de 0-20 cm de um Argissolo Vermelho Amarelo. A análise dos atributos químicos do solo foi realizada no mês de fevereiro de 2019 (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado na pesquisa.

pH H ₂ O	P	H+Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SB	CTC	V	MO	CEes
	mg kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹					%	g kg ⁻¹	dS m ⁻¹
7,6	2	0,33	2,50	0,30	0,57	0,06	3,43	3,76	91	4,03	0,37

SB= Soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; V= Saturação por bases; MO = Matéria orgânica; CEes= Condutividade elétrica do extrato de saturação

Os sais utilizados para a águas de irrigação foram NaCl, CaCl₂.2H₂O, MgCl₂.6H₂O, usando-se a proporção 7:2:1, obedecendo a relação entre condutividade elétrica da água e sua concentração (mmol_c L⁻¹ = CE x 10) (Rhoades et al., 2000). A irrigação foi iniciada aos 10 dias após a semeadura, com uma frequência de irrigação diária de acordo com o princípio do lisímetro de drenagem (Puértolas et al. 2017), proporcionando o volume de perdas de água por evapotranspiração a cada 24 h, para manter o solo com umidade correspondente a 90% da capacidade de campo.

A adubação nitrogenada não foi realizada, apenas a fosfatada e potássica. Seguindo as recomendações de Fernandes (1993) cada vaso recebeu um total de 7,5 g planta⁻¹ de P₂O₅ e 6 g planta⁻¹ de K₂O parcelada em quatro porções. A primeira dose foi realizada aos 10 DAS e 12 DAS para o fósforo e potássio, respectivamente. As

demais doses foram realizadas a cada dez dias.

Para as avaliações de trocas gasosas feitas aos 55 dias após a semeadura realizou-se duas variáveis, sendo: eficiência instantânea da carboxilação (EiC) feita pela relação Fotossíntese/Concentração interna de CO₂ e eficiência fotoquímica da fotossíntese (A/Qleaf), todas realizadas com auxílio do analisador infravermelho portátil de gás carbônico (IRGA modelo LC-Pro-SD, Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, EUA), sistema aberto, com fluxo de ar de 300 mL min⁻¹ entre 08 e 10 h, utilizando intensidade de luz ativa (PAR) constante (1300 μmol fótons m⁻² s⁻¹), concentração constante de CO₂ (350 ppm) com temperatura do ar ambiente com média 30 °C e umidade relativa de 85%.

Foram avaliadas as seguintes variáveis de crescimento: altura de planta (AP); diâmetro do caule (DC); número de folhas (NF) e área foliar (AF) estimada pelo

método não destrutivo (comprimento versus largura das folhas) e multiplicando pelo fator de correção (0,71) (Cardozo et al. 2014). Todas as mensurações foram feitas aos 65 dias após a semeadura (DAS). Já o comprimento da raiz foi quantificado aos 70 DAS, as medições dessas variáveis foram feitas com auxílio de uma régua milimétrica e um paquímetro. Em relação a biomassa, se mediu a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST), aos 70 DAS passando 48 horas na estufa 90 °C e após isso foram pesadas em uma balança de precisão de 0,01g. Os resultados foram submetidos à análise de variância, regressão e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$). Utilizou-se o programa ASSISTAT. 7.7 Beta. Nas análises feitas para regressão, as equações foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos para as avaliações de trocas gasosas aos 55 dias após a semeadura, foram significativos para interações entre salinidade x inoculação nas duas variáveis analisadas, sendo elas: eficiência instantânea da carboxilação e eficiência fotoquímica da fotossíntese (Tabela 2).

As avaliações de crescimento foram significativas para os fatores isolados (condutividade elétrica da água e inoculação) em todas as variáveis, sendo elas: Altura de planta, diâmetro do caule, número de folhas e área foliar. Para a variável comprimento da raiz, teve-se resultado significativo apenas para o fator inoculação (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo da análise de variância para análise fisiológica da eficiência instantânea da carboxilação e eficiência fotoquímica da fotossíntese feita aos 55 dias após a semeadura (DAS), de crescimento aos 65 DAS, para altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF), e aos 70 DAS para o comprimento da raiz (CR).

FV	GL	QM						
		A/Ci	A/Qleaf	AP	DC	AF	NF	CR
		55 DAS			65 DAS			70 DAS
S	3	0,00001 ^{ns}	10,33 [*]	118,76 ^{**}	1,57 ^{**}	154,37 ^{**}	13,93 ^{**}	10,39 ^{ns}
I	1	0,00037 ^{**}	153,02 ^{ns}	70,22 [*]	3,84 ^{**}	184,05 [*]	5,74 [*]	42,78 ^{**}
A x I	3	0,00005 ^{**}	50,24 [*]	4,21 ^{ns}	0,11 ^{ns}	32,89 ^{ns}	0,59 ^{ns}	10,14 ^{ns}
Resíduo	24	0,00001	130,87	14,34	0,21	25,02	0,81	3,86
CV (%)		21,20	19,52	17,62	14,95	12,38	12,52	17,96

FV: Fonte de variação, GL: Graus de liberdade, S: Salinidade, I: Inoculação, CV (%): Coeficiente de variação, **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$), *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), ns: Não significativo ($p > 0,05$).

Os resultados obtidos para EiC (Figura 2A) se enquadraram em uma linear crescente para as plantas inoculadas e uma polinomial quadrática nas não inoculadas, tendo seu ponto de máxima de 0,014 [$(\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}) (\mu\text{molmol}^{-1})^{-1}$] na água de 2,04 dS m⁻¹. As plantas não inoculadas, levando em consideração seu ponto de máxima, pela mínima (na água de 4,5 dS m⁻¹) quando

irrigadas com água salina tiveram uma redução de 61,4% da sua eficiência instantânea da carboxilação. A EiC tem ligação direta com a concentração intracelular de CO₂ e com assimilação do mesmo (Jacinto Júnior et al. 2019).

Segundo Lima et al. (2021) as plantas de amendoim quando estão sob estresse salino fecham os seus estômatos, provocando a

redução dos seus processos fisiológicos como transpiração e condutância estomática, influenciando diretamente na assimilação de CO₂ e prejudicando a eficiência instantânea da carboxilação. Dias et al. (2018), trabalhando com gergelim e estresse salino, encontraram resultados semelhantes ao deste estudo, pois com aumento da salinidade as plantas de gergelim tiveram redução da EiC.

É notório que as plantas inoculadas tiveram resultados superiores e foram mais tolerantes ao estresse. Com o aumento da salinidade a EiC aumentou 66,7%, mostrando assim que os benefícios nutricionais e bioquímicos impostos pelos microrganismos melhoraram as condições fisiológicas do amendoimzeiro. O estresse causado pelos sais presentes na água leva a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS) e as mesmas causam perturbações nos sistemas das plantas, já os microrganismos presentes reduzem esses efeitos, uma vez que protegem as células e aumentam a produção de antioxidantes (Lopes et al. 2021).

De acordo com a Figura 2B, as linhas de tendência se encaixam em uma linear, tendo as plantas inoculadas como crescente e as não inoculadas decrescente.

Quando irrigadas com água de 4,5 dS m⁻¹ as plantas não inoculadas tiveram uma redução de 21,81% da sua eficiência fotoquímica da fotossíntese. Segundo Lima et al. (2021), as plantas de amendoim quando irrigadas com águas de alta condutividade elétrica tendem a apresentar danos no seu aparato fotossintético, devido a presença de Na⁺ e Cl⁻ que ocasionam distúrbios fisiológicos, consequentemente, uma drástica redução na eficiência fotoquímica da fotossíntese.

Os resultados das plantas que foram inoculadas são semelhantes aos da variável A/Ci, e tiveram um aumento de 28,3%. Segundo Lima et al. (2021), o nitrogênio fornecido pela fixação biológica será utilizado na Ribulose 1,5-bisfosfato carboxilase / oxigenase (Rubisco), sendo esta enzima responsável pela fotossíntese, com isso, esse nutriente fornecido por essas bactérias fortaleceu o sistema das plantas e facilitou a eficiência fotoquímica da fotossíntese. Além disso, os microrganismos ajudam no equilíbrio osmótico das plantas quando estão sob estresse salino, produzindo osmoprotetores como proteínas, aminoácidos, prolina, glicina-betaína e trealose, promovendo assim maior tolerância (Khoshru et al., 2020).

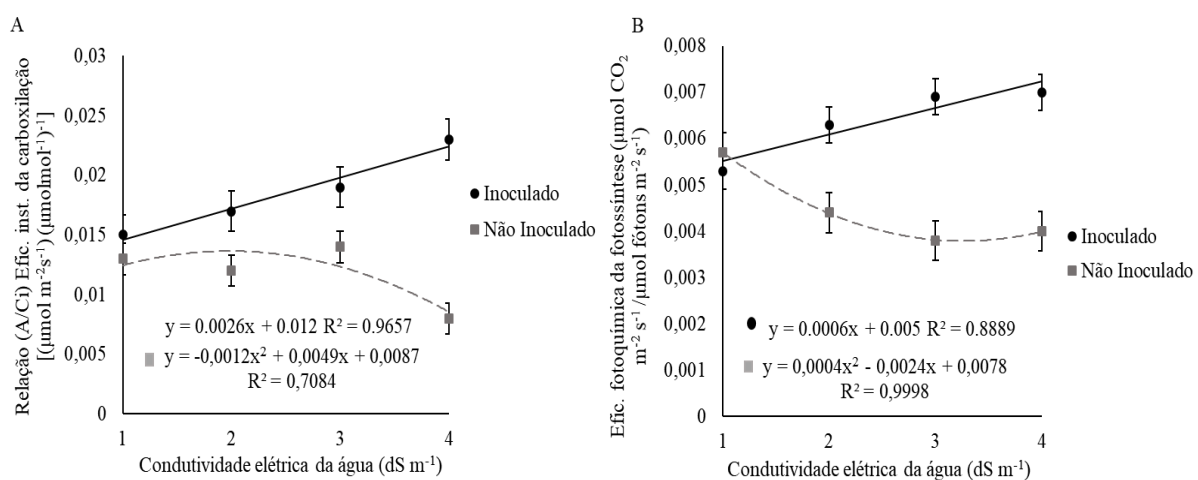


Figura 2. Interação salinidade x inoculação com *Bradyrhizobium* sp. da eficiência instantânea da carboxilação (A) e eficiência fotoquímica da fotossíntese (B) em mudas de *Arachis hypogaea*.

Com aumento dos níveis de condutividade elétrica da água nota-se uma linear decrescente para a altura de plantas (AP) (Figura 3A). Resultados semelhantes foram encontrados por Sá et al. (2019) pesquisando tolerância de genótipos de amendoim (*Arachis hypogea L.*) ao estresse salino na fase inicial do desenvolvimento. Estudos demonstram que o acúmulo de sais no solo contribui para a redução do potencial osmótico, prejudicando assim o sistema radicular das plantas e levando a uma redução do seu metabolismo, com isso, conseqüentemente o crescimento das plantas sob estas condições é reduzido (Taiz, et al., 2017).

As plantas que passaram pelo processo de inoculação obtiveram resultados melhores para AP quando comparadas com as não inoculadas (Figura 3B). Parveen et al. (2019) trabalhando com *Rhizobium* na soja, registraram também melhores resultados de altura de planta quando inoculadas com *Bradyrhizobium sp.* Segundo Khoshru et al. (2020), isso acontece porque as bactérias são capazes de promover diretamente o crescimento das

plantas, pois as mesmas aumentam a concentração de nutrientes, regulação de fitormônios e indiretamente induz resistência sistêmica.

Em relação a variável de diâmetro do caule para a condutividade elétrica (Figura 3C) os resultados se enquadraram em uma linear decrescente, ou seja, a salinidade limitou drasticamente essa variável, isso porque com aumento da salinidade a planta diminui a absorção de água e nutriente, isso leva a uma restrição no desenvolvimento do mesmo (Taiz, et al., 2017).

Semelhante ao ocorrido com AP, as plantas inoculadas manifestaram maiores diâmetros, em confronto com as plantas não inoculadas (Figura 3D). Segundo Lopes et al. (2021) os microrganismos elevam produção de auxina, giberelina, citocinina e ACC-desaminase e a concentrações de nutrientes, o que aumenta o diâmetro do caule. Silva (2019), trabalhando com coinoculação entre *Bradyrhizobium* e *Trichoderma* no feijão caupi, encontrou maiores valores de DC, isso porque essas plantas tem maiores quantidades de carboidratos em seu organismo, favorecendo esses resultados.

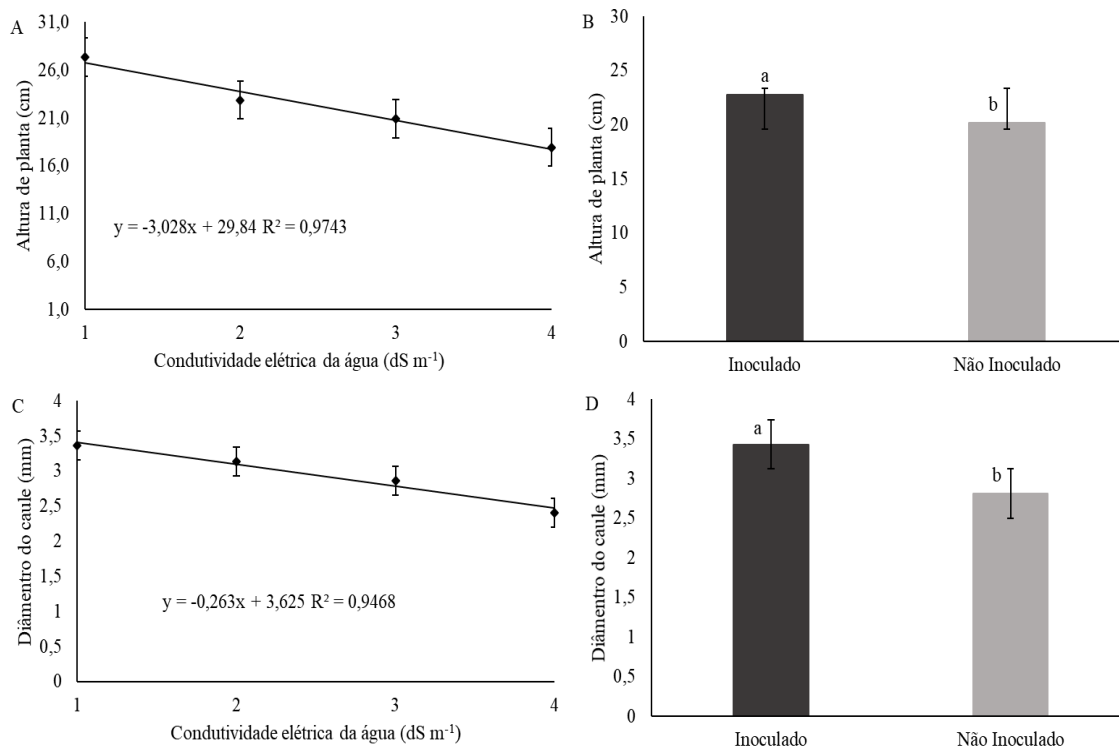


Figura 3. Efeito da salinidade (A e C) e da inoculação com *Bradyrhizobium* sp. (B e D) na altura e diâmetro do caule em mudas de *Arachis hypogaea*.

Para área foliar e o número de folhas verificou-se que a condutividade elétrica prejudicou de forma significativa a quantidade e o tamanho das mesmas, ambas se enquadrando em uma linear decrescente (Figura 4A e C). Resultados semelhantes foram encontrados por Graciano et al. (2011) ao trabalhar com estresse salino na cultura do amendoim. Isso é decorrente do estresse levado pelo excesso de sais no sistema radicular, o que ocasiona uma menor absorção da água pelas plantas (Sousa, 2012). Com essa redução na disponibilidade da água, um dos primeiros processos internos afetados é a expansão

celular, sendo este dependente da turgência da célula (Taiz et al., 2017).

A inoculação favoreceu o aumento na quantidade de folhas e da área foliar, ambas diferindo estatisticamente das plantas não inoculadas (Figura 4B e D). Freitas (2020) ao trabalhar com coinoculação de amendoim com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, registrou resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. A presença dos nódulos favoreceu a fixação do N₂ atmosférico, tornando-o disponível as plantas, com isso, a capacidade de produção de hormônios capazes de melhorar o desenvolvimento das folhas é elevado, um exemplo é a giberelina (Curá et al., 2017).

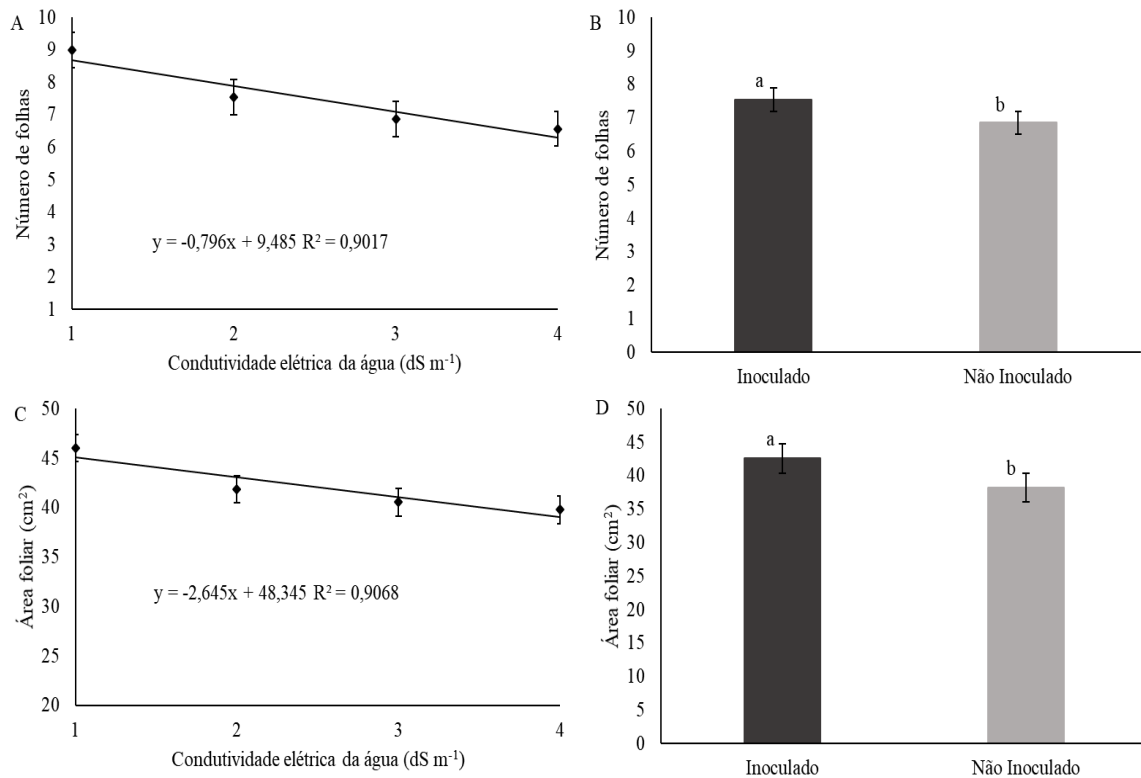


Figura 4. Efeito da salinidade (A e C) e da inoculação com *Bradyrhizobium* sp. (B e D) no número de folhas e área foliar em mudas de *Arachis hypogaea*.

Como mostrado na tabela 2, o resultado para comprimento da raiz foi significativo apenas para o fator inoculação, diante disto, é notório que as plantas inoculadas tiveram resultados superiores as não inoculadas diferindo assim estatisticamente (Figura 5). A inoculação favoreceu e melhorou o desenvolvimento do sistema radicular, esses resultados foram semelhantes aos encontrados por Brasil et al. (2005) quando trabalharam com inoculação por estipes de *Azospirillum*. Segundo Lopes et al. (2021) a auxina microbiana melhora a produção de

raízes adventícia e laterais, além do alongamento e área superficial, o que influenciou para que as plantas infectadas tivessem resultados superiores as que não foram inoculadas. Para as avaliações realizadas aos 70 DAS (biomassa) os resultados foram significativos para interação entre os fatores Salinidade x Inoculação nas variáveis: matéria seca da parte aérea e matéria seca total, a variável de matéria seca da raiz foi significativa para ambos os fatores de forma isolada (Tabela 3).

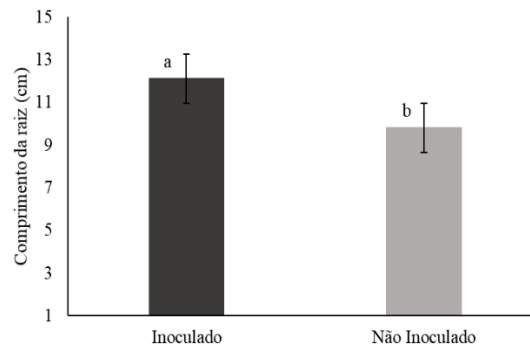


Figura 5. Efeito da inoculação com *Bradyrhizobium* sp. no comprimento da raiz em mudas de *Arachis hypogaea*

Tabela 3. Resumo da análise de variância para análise de crescimento aos 70 dias após a semeadura (DAS) para matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR) e matéria seca total (MST).

FV	GL	Quadrados Médios		
		MSPA	MSR	MST
70 DAS				
S	3	5,38**	0,14**	7,16**
I	1	3,21**	0,02**	3,78*
S x I	3	0,39**	0,005 ^{ns}	0,45**
Residuo	24	0,08	0,002	0,08
CV (%)		12,52	16,43	10,91

FV: Fonte de variação, GL: Graus de liberdade, S: Salinidade, I: Inoculação, CV (%): Coeficiente de variação, **: Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$), *: Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$), ^{ns}: Não significativo ($p > 0,05$).

De acordo com a figura 6A para matéria seca da raiz em relação a condutividade elétrica da água a linha de tendência se adequou melhor ao modelo polinomial quadrático com valores máximo de 0,43 g para a condutividade de 1,8 dS m⁻¹, após isso, os valores começaram a cair, estes resultados corroboram com os encontrados por Sousa et al. (2012) e Costa et al. (2014) quando trabalharam com irrigação salina no amendoim.

Isso ocorreu porque é necessário que a planta se desprenda de uma maior quantidade de energia para absorver a água do solo, sendo que esta energia poderia estar sendo usada na produção de hormônios como auxina que auxiliam no crescimento da raiz, a falta desse recurso reduz o crescimento do sistema radicular e

consequentemente a matéria seca (Lopes et al. 2021; Taiz et al. 2017).

Os valores médios apresentados na figura 6B, apontam uma superioridade da matéria seca da raiz nos tratamentos que receberam as estirpes de *Bradyrhizobium* sp., diferindo estatisticamente das que não receberam, resultados semelhantes aos de Silva et al., (2019) quando coinoculou com *Bradyrhizobium* o feijão-caupi e Freitas et al., (2020) ao coinocular a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*. Este ocorrido se deu pelo fato de o nitrogênio fornecido pelas bactérias ajudarem na síntese de moléculas bioquimicamente importantes para o crescimento da raiz, como carboidratos e hormônios (Curá et al., 2017).

O aumento dos níveis de salinidade evidenciou um modelo linear decrescente para a matéria seca da parte aérea, tanto para as plantas de amendoim inoculadas, como não inoculadas (Figura 6C). Resultados semelhantes de uma redução na produção de biomassa da parte aérea da cultura do amendoim foram encontrados por Sá et al., (2019). Isso dar-se pelo fato de que o excesso de sais presentes no solo impede a planta de atingir o seu máximo potencial agrônômico e o crescimento é reduzido de forma significativa, o acúmulo desses sais se tornam tóxicos ao vegetal impedindo que as plantas realizem os seus mecanismos fisiológicos e com isso se tem uma redução drástica no desenvolvimento (Lacerda et al., 2006; Sousa et al., 2012).

Mesmo diante dessa problemática, é evidenciado na figura 6C que as plantas

inoculadas se apresentaram mais tolerantes e seus resultados foram superiores no quesito produção de matéria seca da parte aérea, mostrando assim que a inoculação é capaz de amenizar os efeitos da salinidade. Resultados estes que corroboram com os encontrados por (Freitas et al., 2020) ao trabalhar com inoculação e déficit hídrico e Silva et al., 2019 ao inocular o feijão-caupi com *Bradyrhizobium* e *T. asperelloides*.

Segundo Hashem et al., (2019) os microrganismos são responsáveis pela produção de exopolissacarídeos o que vai formar um biofilme ao redor do sistema radicular, mantendo um equilíbrio osmótico e protegendo de estresses abióticos, isso consequentemente, leva a uma maior tolerância das plantas, proporcionando melhores resultados no desenvolvimento e matéria seca da parte aérea.

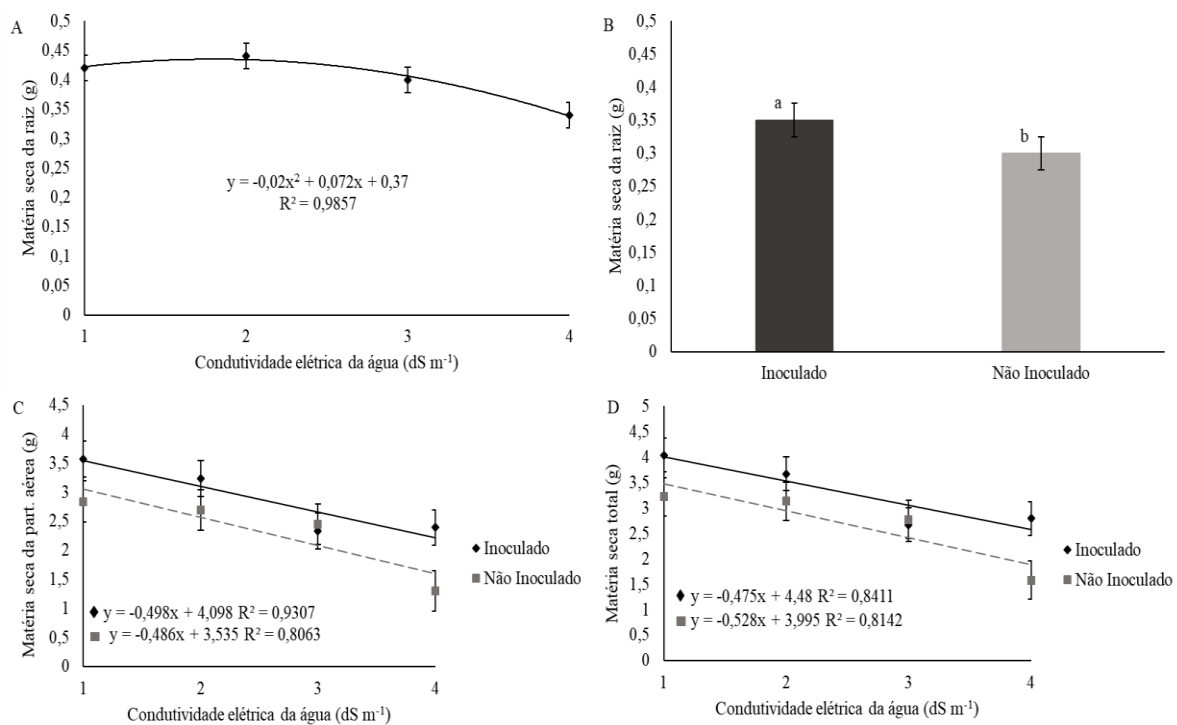


Figura 6. Efeito da salinidade (A), da inoculação com *Bradyrhizobium* sp. (B) na matéria seca da raiz e a interação salinidade x inoculação (C e D) da matéria seca da parte aérea e total em mudas de *Arachis hypogaea*.

Os resultados encontrados para matéria seca total seguem o padrão dos evidenciados na matéria seca da parte aérea, onde o aumento da condutividade elétrica da água, reduziu os valores encontrados,

tanto para as plantas inoculadas como as não inoculadas (Figura 6D). O excesso desses sais traz danos iônicos e osmóticos ao vegetal (Sá et al., 2019). Esses danos osmóticos estão relacionados a absorção de

água e nutrientes e os iônicos ao efeito tóxico causados pelos sais. Ambos as situações levam a uma redução na síntese e transporte de fotoassimilados, ocasionando redução da biomassa vegetal (Taiz et al., 2017).

Apesar do decréscimo nas duas condições de inoculação, chama-se atenção ao fato de que as plantas inoculadas ainda tiveram melhores resultados, mostrando a eficiência dessa metodologia para aumentar a tolerância das plantas de amendoim. Resultados dessa pesquisa corroboram com os encontrados por (Sá et al., 2019) e (Silva et al., 2019) quando trabalharam com amendoimzeiro.

Esse fato mostra que os microrganismos presentes nos nódulos do sistema radicular das plantas auxiliam na produção e transporte de fotoassimilados, além de promover melhoras nas trocas gasosas dessas plantas, isso conseqüentemente, leva a um maior crescimento desses vegetais beneficiando assim produção de matéria seca total (Khoshru et al., 2020; Lima et al., 2021; Lopes et al., 2021).

Conclusões

A salinidade prejudicou de forma direta as plantas de amendoim, reduzindo todas as variáveis avaliadas com aumento da condutividade elétrica da água, sendo a água de 4,5 dS m⁻¹ a mais prejudicial.

A inoculação com *Bradyrhizobium* sp. é eficiente para atenuar os efeitos da salinidade na eficiência instantânea da carboxilação (EiC) e eficiência fotoquímica da fotossíntese (A/Qleaf).

O mix de bactérias (*Bradyrhizobium* sp.) foram eficientes em reduzir os efeitos deletérios causados pelos sais, com isso as plantas tiveram uma melhor resposta no crescimento e no acúmulo de biomassa.

Referências

Andrade, J. R.; Maia Júnior, S. O.; Silva, R. F. B.; Barbosa, J. W. S.; Nascimento, R.; Alencar, A. E. V. Trocas gasosas em genótipos de feijão-caupi irrigados com água salina. Revista

Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 12, n. 3, p. 2653-2660, 2018.

<https://doi.org/10.7127/rbai.v12n300829>

Araújo, E. B. G.; Sá, F. V. S.; Oliveira, F. A.; Souto, L. S.; Paiva, E. P.; Silva, M. K. N.; Mesquita, E. F.; Brito, M. E. B. Crescimento inicial e tolerância de cultivares de meloeiro a salinidade. Revista Ambiente & Água, v. 11, n. 2, p. 463-471, 2016.

<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1726>

Brasil, M. S.; Baldani, V. D.; Baldani, J. I.; Souto, S.M. Efeitos da inoculação de bactérias diazotróficas em gramíneas forrageiras do Pantanal. Pasturas Tropicales, v. 27, n. 3, p. 22-33, 2005.

Cardozo, N. P.; Parreira, M. C.; Panosso, A. R.; Volpe, C. A. Modelagem da área foliar de duas cultivares de amendoim em função das dimensões lineares dos folíolos. Bioscience Journal, v. 30, p. 101- 107, 2014.

<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15192>

Costa, F. R. B.; Gomes, K. R.; Sousa, G. G.; Azevedo, B. M.; Monteiro, F. J. F.; Viana, T. V. A. Crescimento inicial do amendoimzeiro irrigado com águas salinas em diferentes substratos. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 8, n. 6, p. 466-475, 2014.

<https://doi.org/10.7127/rbai.v8n600260>

Curá, J. A.; Franz, D. R.; Filosofía, J. E.; Balestrasse, K. B.; Burgueño, L. E. Inoculation with *Azospirillum* sp. And *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. Microorganisms, v. 5, n. 3, 41, 2017.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms5030041>

Dias, A. S.; Lima, G. S.; Gheyi, H. R.; Nobre, R. G.; Fernandes, P. D.; Silva, F. A. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do gergelim sob estresse salino e adubação com nitrato-amônio. Revista Irriga, v. 23, n. 2, p. 220-234, 2018.

<https://doi.org/10.15809/irriga.2018v23n2p220-234>

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. Manual de métodos empregados

em estudos de microbiologia agrícola. Santo Antônio de Goiás, 1994. 542 p.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop prospects and food situation, 2018. (Quarterly Global Report).

Fernandes, V. L. B. Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará. Fortaleza: UFC, 1993. 248p.

Freitas, G. S.; Barbosa, G. F.; Zuffo, A. M.; Steiner, F. Coinoculação do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* promove maior tolerância à seca. Research, Society and Development, v. 9, n. 7, e69973690, 2020.
<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3690>

Graciano, E. S. A.; Nogueira, R. J.; Lima, D. R.; Pacheco, C. M.; Santos, R. C. Crescimento e capacidade fotossintética da cultivar de amendoim BR 1 sob condições de salinidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 8, p. 794-800, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800005>

Hashem, A.; Tabassum, B. E.; Allah, E. F. A. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. Saudi Journal of Biological Sciences, n. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>

Jacinto Júnior, S. G.; Moraes, J. G. L.; Silva, F. D. B. D.; Silva, B. D. N.; Sousa, G. G. D.; Oliveira, L. L. B. D.; Mesquita, R. O. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019. <https://doi.org/10.1590/0102-7786343047>

Khoshru, B.; Mitra, D.; Khoshmanzar, E.; Myo, E. M.; Uniyal, N.; Mahakur, B. Current scenario and future prospects of plant growth-promoting rhizobacteria: an economic valuable resource for the agriculture. Journal of Plant Nutrition, v. 43, n. 20, p. 3062-3092, 2020.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1799004>

Köppen, W. P. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

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. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000400005>

Lopes, M. J. D. S.; Dias-Filho, M. B.; Gurgel, E. S. C. Successful plant growth-promoting microbes: Inoculation methods and abiotic factors. Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 5, 606454, 2021.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>

Lima, A. F. S.; Santos, M. F.; Oliveira, M. L.; Sousa, G. G.; Mendes Filho, P. F.; Luz, L. N. Physiological responses of inoculated and uninoculated peanuts under saline stress. Revista Ambiente & Água, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2643>

Numan, M.; Bashir, S.; Khan, Y.; Mumtaz, R.; Shinwari, Z. K.; Khan, A. L.; Khan, A.; Al-Harrasi, A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: a review. Microbiological Research, v. 209, p. 21-32, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.02.003>

Oliveira, F. F. M.; Morais, M. B.; Silva, M. E. S.; Saraiva, Y. K. F.; Arruda, M. V. M.; Silva, J. N. C.; Albuquerque, C. C. Resposta ecofisiológica de *Lippia gracilis* (Verbanaceae) à duração do estresse salino. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 178, p. 202-210, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.016>

Parveen, G.; Noreen, R. L.; Shafique, H. A.; Sultana, V.; Ehteshamul-Haque, S.; Athar, M. Role of rhizobia in suppressing the root diseases of soybean under soil amendment. Planta Daninha, v. 37, e019172336, 2019.
<https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100038>

Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Prata, A. D. N.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. D. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. Revista Eletrônica de

Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

<https://doi.org/10.5902/2236117016544>

Puértolas, J.; Larsen, E. K.; Davies, W. J.; Dodd, I. C. Applying 'drought' to potted plants by maintaining suboptimal soil moisture improves plant water relations. *Journal of Experimental Botany*, v. 68, n. 9, p. 2413-2424, 2017. <https://doi.org/10.1093/jxb/erx116>

Rhoades, J. D.; Kandiah, A.; Mashali, A. M. Uso de águas salinas para produção agrícola. Campina Grande: UFPB, 2000. 117p. (Estudos da FAO – Irrigação e Drenagem, 48).

Sá, F. V. S.; Santos, M. G.; Junior, A. P. B.; Albuquerque, J. R. T.; Souza, A. R. E.; Ribeiro, R. M. P. Tolerance of peanut (*Arachis hypogea*) genotypes to salt stress in the initial phase. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 24, n. 1, p. 37-43, 2019.

<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n1p37-43>

Santos, A. L.; Cova, A. M. W.; Silva, M. G.; Santos, A. A. A.; Pereira, J. S.; Gheyi, H. R. Crescimento e conteúdo de solutos orgânicos em couve-flor cultivada com água salobra em sistema hidropônico. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 10, p. 38-50, 2021.

<https://doi.org/10.19149/wrim.v10i1-3.2640>

Silva Junior, J. M.; Tavares, R. D. C.; Mendes Filho, P. F.; Gomes, V. F. Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 4, n. 4, p. 378-382, 2009.

<https://doi.org/10.5039/agraria.v4i4a1>

Silva, L. V.; Oliveira, S. B. R.; Azevedo, L. A.; Rodrigues, A. C.; Bonifacio, A. Coinoculation with *Bradyrhizobium* and *Trichoderma* alleviates the effects of salt stress in cowpea. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 2, p. 336-344, 2019b.

<https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n206rc>

Silva, P. C. C.; Azevedo Neto, A. D.; Gheyi, H. R.; Ribas, R. F.; Cova, A. M. W.; Silva, C. R. R. Avaliação de métodos de aplicação de H₂O₂ para aclimação de plantas de girassol à salinidade. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 8, n. 1-3, p. 1-4, 2019a.

Sousa, G. G.; Azevedo, B. M.; Albuquerque, A. H. P.; Mesquita, J. B. R.; Viana, T. V. A. Agronomics characteristics of peanuts under irrigation with saline water on soil with biofertilizers. *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 6, n. 2, p. 124-132, 2012.

<https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v6i2.708>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6^a ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.