



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

RENAN LUIZ BARROS DE SOUZA

**PRODUTO BASEADO EM MANANOLIGOSSACARÍDEO NA INDUÇÃO DE
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO E DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA
SOJA**

Presidente Prudente - SP
2023



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM AGRONOMIA**

RENAN LUIZ BARROS DE SOUZA

**PRODUTO BASEADO EM MANANOLIGOSSACARÍDEO NA INDUÇÃO DE
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO E DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA
SOJA**

Dissertação apresentada à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador:
Prof. Dr. Fábio Fernando Araujo

Presidente Prudente - SP
2023

633.34
S729p

Souza, Renan Luiz Barros de.

Produto baseado em mananoligossacarídeo na indução de tolerância ao déficit hídrico e desenvolvimento vegetativo da soja / Renan Luiz Barros de Souza. –Presidente Prudente, 2023.

59f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) -
Universidade do Oeste Paulista – Unoeste, Presidente
Prudente, SP, 2023.

Bibliografia.

Orientador: Fabio Fernando de Araújo.

1. Indutores de planta. 2. Estresse hídrico. 3. Soja.
Título.

Bibliotecária responsável: Michele Mologni – CRB 8-6204

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PRODUTO BASEADO EM MANANOLIGOSSACARÍDEO NA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO E DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA SOJA"

AUTOR(A): RENAN LUIZ BARROS DE SOUZA

ORIENTADOR(A): Dr. FABIO FERNANDO DE ARAÚJO

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em AGRONOMIA
Área de Concentração PRODUÇÃO VEGETAL, pela Comissão Examinadora:



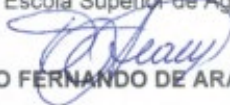
Dr. ALEXANDRIUS DE MORAES BARBOSA

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)



Dr. WELLINGTON EDUARDO XAVIER GUERRA

ESAPP – Escola Superior de Agronomia de Paraguaçu Paulista (SP)



Dr. FABIO FERNANDO DE ARAÚJO

UNOESTE - Universidade do Oeste Paulista / Presidente Prudente (SP)

Data da realização: Presidente Prudente, 26 de junho de 2023.

DEDICATÓRIA

*A minha esposa Erika Kushikawa Saeki pelo incentivo em todos os momentos e a
minha filha Melinda Kushikawa Barros na alegria motivacional diária.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro a Deus por me dar sabedoria, determinação e paciência para conquistar mais esse desafio.

Aos meus pais em especial a minha mãe professora Regina Célia de Barros pela dedicação e sempre estimulando os estudos.

À minha esposa Erika e minha filha Melinda pela energia diária.

À Alltech Crop Science e aos colegas pelo suporte para realização desse estudo.

À Universidade do Oeste Paulista e seus professores em especial ao meu orientador Dr. Fabio Fernando Araujo pela paciência e dedicação, aos colegas em especial ao estagiário Luiz Henrique Bovi de Quadros pelo empenho e dedicação, Marcela Martins, Milene Coelho, Ivan Cabral, Ronaldo Oikawa e Élide Lima pelo auxílio prestado durante a condução das análises.

Ao Núcleo de Estudos Avançados em Agricultura de Base Biológica (NEAB) e ao Centro de Estudos em Ecofisiologia Vegetal do Oeste Paulista (CEVOP), pela infraestrutura e equipamentos para suporte a elaboração desse estudo.

Ao mestre engenheiro agrônomo Fabio Denari pela amizade e incentivo.

*"Sozinhos podemos fazer tão pouco; juntos
podemos fazer muito." (Helen Keller)*

RESUMO

Produto baseado em mananoligossacarídeo na indução de tolerância ao déficit hídrico e desenvolvimento vegetativo da soja

A cultura da soja possui grande representatividade na agricultura brasileira, sendo o Brasil o maior produtor mundial de soja, e nesse contexto, os biofertilizantes produzidos a partir de fermentação microbiana tem se destacado como uma fonte contendo princípios ativos orgânicos que favorecem o desenvolvimento e indução de defesas naturais das plantas. O objetivo desse estudo foi avaliar um produto baseado em mananoligossacarídeo (PBM) sobre o desenvolvimento da cultura da soja e a tolerância ao déficit hídrico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na cultura da soja sendo os tratamentos T1- Controle, T2-Ácido Salicílico, T3-Solução Mineral, T4-PBM (0,5 L.ha⁻¹) e T5-PBM (4,0 L.ha⁻¹) em esquema fatorial 2x4 (50% e 100% da evapotranspiração) durante 77 dias de cultivo. Os tratamentos foram aplicados diretamente no solo no momento da semeadura da soja. Foram realizadas avaliações biométricas e fotossintéticas na soja durante o cultivo, também foi avaliado a atividade microbiana no solo. No cultivo da soja, sem aplicação do déficit hídrico, o PBM proporcionou ganhos como aumento do crescimento da parte aérea, nodulação, fotossíntese e acúmulo de nutrientes. No entanto, a aplicação do produto diretamente no solo provocou redução do crescimento das raízes. Na condição de déficit hídrico o uso do PBM não conseguiu atenuar os efeitos do estresse causado nas plantas. O PBM aplicado no solo apresenta potencial na indução de alterações bioquímicas na planta e a aplicação da menor dose do produto apresentou melhor desempenho nesse estudo.

Palavras-chave: biotecnologia; indutores biológicos; indutores químicos; estresse hídrico; *Glycine max*.

ABSTRACT

Mannanligosaccharide based product in the induction of tolerance to water deficit and vegetative development of soybean

The soybean culture holds great significance in Brazilian agriculture, with Brazil being the world's largest soybean producer. In this context, biofertilizers produced through microbial fermentation have emerged as a source containing organic active principles that promote plant development and induce natural defense mechanisms. The objective of this study was to evaluate a product based on mannanligosaccharide (PBM) concerning its effects on soybean growth and tolerance to water deficit. The experiment was conducted in a greenhouse using soybean plants, with the following treatments: T1 - Control, T2 - Salicylic Acid, T3 - Mineral Solution, T4 - PBM (0.5 L/ha), and T5 - PBM (4.0 L/ha), in a 2x4 factorial design (50% and 100% evapotranspiration) over a 77-day cultivation period. The treatments were applied directly to the soil at the time of soybean sowing. Biometric and photosynthetic evaluations were performed during soybean cultivation, and soil microbial activity was also assessed. In soybean cultivation without water deficit, PBM provided benefits such as increased aboveground growth, nodulation, photosynthesis, and nutrient accumulation. However, direct application of the product to the soil resulted in reduced root growth. Under water deficit conditions, the use of PBM did not mitigate the effects of stress on the plants. PBM applied to the soil has the potential to induce biochemical changes in the plant, with the lower dose of the product showing better performance in this study.

Keywords: biotechnology; biological inducers; chemical inducers; water stress; Glycine max.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Esquema da consequência do estresse hídrico na cultura da soja. Adaptado de Rasheed *et al.* (2022)..... 19
- Figura 2.** Área foliar (A), matéria seca das folhas – MSF (B), matéria seca da parte aérea – MSPA (C), matéria seca de raízes – MSR (D) e matéria seca total – MST (E) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).34
- Figura 3.** Número de nódulos (A), matéria seca de nódulos – MSN (B) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).35
- Figura 4.** Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência de carboxilação (D), em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).37
- Figura 5.** Atividade da guaiacol peroxidase-GPX aos 51 DAS em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).38
- Figura 6.** Atividade da prolina aos 77 DAS em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).39
- Figura 7.** Acúmulo de nitrogênio (A) e fósforo (B) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas

indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).40

Figura 8. Atividade da arilsulfatase (A), glicosidase (B), Fosfatase ácida (C) e desidrogenase (D), em solo cultivado com soja em diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$). ..42

Figura 9. Análise do comprimento (A), área da superfície (B) e densidade (C) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do deficit hídrico ($p \leq 0.05$).43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição dos fatores de manejo da indução utilizados no presente estudo.	27
--	----

LISTA DE SIGLAS

ABA	-Ácido Abscísico
ATP	-Adenosina trifosfato
C _{mic}	-Carbono Microbiano
CONAB	-Companhia Nacional de Abastecimento
DAS	-Dias Após a Semeadura
DIC	-Delineamento Inteiramente Casualizado
ERO	-Espécie Reativas de Oxigênio
ET	-Etileno
GPX	-Guaiacol Peroxidase
IBGE	-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
JA	-Ácido Jasmônico
MAPA	-Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MOS	-Mananoligossacarídeo
MSF	-Matéria Seca das Folhas
MSN	-Matéria Seca de Nódulos
MSPA	-Matéria Seca da Parte Aérea
MSR	-Matéria Seca de Raízes
MST	-Matéria Seca Total
N _{mic}	-Nitrogênio Microbiano
PBM	-Produto Baseado em Mananoligossacarídeo
PM	-Peso Molecular
PR	-Proteínas Relacionadas à patogênese
qCO ₂	-Quociente Metabólico
RBS	-Respiração Basal do Solo
RSA	-Resistencia Sistêmica Adquirida
RSI	-Resistencia Sistêmica Induzida
SA	-Ácido Salicílico
USDA	-United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Histórico da soja e cultivo no Brasil.....	18
2.2 Necessidade hídrica da cultura da soja	19
2.3 Indução de tolerância em plantas.....	20
2.4 Indutores biológicos e químicos	21
2.5 Uso de ácido salicílico como indutor químico	22
2.6 Uso de extratos de leveduras como indutor biológico	22
2.7 Atividade microbiana no solo	24
3 OBJETIVO	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Local do experimento e caracterização de solo e clima.....	27
4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	27
4.3 Implantação do experimento.....	28
4.4 Condução do experimento	29
4.5 Avaliações.....	29
4.5.1 Análises fotossintéticas	29
4.5.2 Análise da atividade da guaiacol peroxidase (GPX).....	30
4.5.3 Teor de prolina	30
4.5.4 Avaliação do teor acumulado de nitrogênio e fósforo.....	31
4.5.5 Avaliação da atividade microbiana no solo	31
4.5.6 Avaliação da arquitetura radicular.....	31
4.5.7 Biométricas.....	31
4.5.8 Análise estatística	32
5 RESULTADOS.....	33

5.1 Análises biométricas.....	33
5.2 Análises fotossintéticas	36
5.3 Atividade da guaiacol peroxidase (GPX).....	37
5.4 Atividade da prolina	38
5.5 Teor acumulado de nitrogênio e fósforo nas plantas	39
5.6 Atividade microbiana do solo	41
5.7 Avaliação da arquitetura radicular.....	42
6 DISCUSSÃO	44
7 CONCLUSÕES	48
REFERENCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma das principais culturas no Brasil e apresenta enorme importância econômica e social, respondendo por cerca de 30% do valor da produção agrícola brasileira e consagra como o principal produto primário de exportação brasileiro, gerando valores impulsionando a balança comercial (BRASIL, 2020). Segundo Hirakuri (2021) a soja é cultivada em todas as regiões do país, mas a maior parte da produção está concentrada na região Centro-Oeste, seguida pelas regiões Sul e Sudeste. A expansão da produção de soja no Brasil tem sido impulsionada principalmente pela demanda mundial por alimentos e biocombustíveis.

O aumento do potencial produtivo da soja está diretamente relacionado à adoção de práticas agrícolas sustentáveis. A importância da utilização de técnicas como a rotação de culturas, o manejo integrado de pragas e doenças, a adubação verde e a utilização de bioinsumos são fundamentais para manter padrões altos de produtividade de acordo com Oliveira *et al.* (2020). Para os próximos anos o grande desafio da agricultura será, não só suprir a necessidade de alimentos, mas também adoção de estratégias sustentáveis de produção, que minimize o uso de defensivos agrícola e que não comprometam os recursos naturais que dependeram as gerações futuras (CAICEDO-LOPEZ *et al.*, 2021).

Além da necessidade de reduzir o uso de defensivos agrícolas na cultura outro desafio é o cultivo da soja em regiões com riscos climáticos eminentes como a falta de chuvas. Bhattacharya (2021), destaca que o déficit hídrico é um dos principais fatores limitantes para a produção de soja em diversas regiões do mundo. A falta de água pode afetar o crescimento e desenvolvimento da planta, reduzindo a produtividade e a qualidade dos grãos. As causas para ocorrência do déficit hídrico na cultura da soja são diversas e incluem fatores climáticos, como estiagem e altas temperaturas, bem como a má gestão dos recursos hídricos, como a irrigação deficiente. As mudanças climáticas têm agravado o problema do déficit hídrico na soja, com a ocorrência de eventos climáticos extremos, como secas prolongadas que afetam a produção da cultura (ZILLI *et al.*, 2020).

Diversos estudos têm investigado estratégias de tolerância que permitem às plantas da soja a enfrentarem condições de estresse hídrico, mantendo seu crescimento e produtividade. De acordo com Abdelaal *et al.* (2020) o ácido salicílico

é uma importante molécula sinalizadora que atua na regulação de diversos processos fisiológicos em condições de estresse hídrico, apresentando atuação direta na fotossíntese, metabolismo da prolina e regulação de enzimas antioxidantes. A utilização de indutores de resistência tem sido uma estratégia adotada para mitigar parcialmente os efeitos do déficit hídrico. Essas substâncias podem desencadear incrementos na biomassa e no rendimento, estimulando diversas vias de promoção do crescimento e aliviando o estresse abiótico e bióticos (NASCIMENTO *et al.*, 2022)

A utilização de indutores de resistência em plantas, estimulam a síntese de proteínas relacionadas à patogênese (PR) que intensificam o processo enzimático de defesa com potencial de melhorar as respostas imunes, induzir resistência sistêmica, aumentar o crescimento e o estado metabólico das plantas tornando-as mais resistentes a estresses bióticos e abióticos. (TWAMLEY *et al.*, 2019; JAMIOŁKOWSKA, 2020; TKALEC *et al.*, 2010). Nesse sentido o uso desses indutores também pode ser avaliado para reduzir os impactos do déficit hídrico na produção da soja.

O ácido salicílico é um indutor químico que tem sido amplamente estudado por sua capacidade de mitigar os efeitos do déficit hídrico em plantas, por aumentar a tolerância dessas, reduzindo a perda de água e ativando vias de sinalização celular que promovem a adaptação das plantas ao estresse hídrico (LIU *et al.*, 2022; KHAN *et al.*, 2015). De forma semelhante ao efeito indutor do ácido salicílico, indutores biológicos, como leveduras, têm sido estudados como potenciais para reduzir efeitos abióticos como o déficit hídrico em plantas.

As leveduras promovem a síntese de compostos antioxidantes nas plantas, protegendo as células vegetais contra o estresse oxidativo causado pelo déficit hídrico (HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ *et al.*, 2021). O mananoligossacarídeos (MOS), extraído da parede das leveduras, é um tipo de oligossacarídeo com propriedades prebióticas, que tem sido utilizado como aditivo alimentar para animais, devido aos seus efeitos benéficos sobre a saúde intestinal e a resposta imunológica. No entanto, estudos recentes têm investigado o potencial do MOS como indutor de tolerância ao estresse em plantas (SPRING *et al.*, 2000; SOARES; DIAS-ARIEIRA, 2021).

As plantas possuem um sistema de defesa complexo que compreende respostas amplas e específicas, como acúmulo de espécies reativas de oxigênio

(ERO), aumento da expressão de genes relacionados à defesa, ativação de proteínas em resposta a patógenos. O presente estudo tem na sua hipótese principal que o uso de indutores biológicos no solo possa aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico e melhoria nos parâmetros fisiológicos e bioquímicos. Dessa forma estudo se justifica por gerar resultados inéditos sobre o uso desses indutores diretamente no solo antes da semeadura da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico da soja e cultivo no Brasil

A cultura da soja (*Glycine max (L.) Merrill*) é uma planta oleaginosa da família das Fabaceae comumente chamada de leguminosas que teve sua origem na China na era da Dinastia Zhou (1125 256 aC) e pode ter sido domesticada entre os séculos XI e XII. (HYMOWITZ; SHURTLEFF, 2005). A disseminação da cultura ocorreu inicialmente por todo oriente asiático pelas rotas comerciais marítimas e terrestres (BOULNOIS, 1966). Na safra 21/22 o Brasil foi o maior produtor mundial, com 130 milhões de toneladas de soja. Para a safra 22/23 espera-se uma projeção de crescimento próximo de 18%, atingindo produção de 153 milhões de toneladas (USDA, 2023).

A forte demanda externa e crescimento da economia brasileira têm favorecido os produtores brasileiros em investir na produção da cultura da soja (CONAB, 2023). Nesse sentido a área de cultivo de soja para o ano de 2023 foi estimada em 42,84 milhões de hectares, 4,8% maior do que 2022 (IBGE, 2023), as projeções para 2029/30 mostram um crescimento 30,1% sobre a produção de 2019/20 e um incremento de 9,7 milhões de hectares (BRASIL, 2020).

Para suprir a necessidade de alimentar a população mundial, será necessário duplicar a produção de alimentos até 2050, e até esse período a produtividade da cultura da soja deverá sofrer incremento. Nesse sentido aspectos como custos elevados da terra, conduzirá os produtores na busca por aumentar a produtividade, ou seja, produzir mais na mesma área e de forma sustentável (SILVA *et al.*, 2020).

Outro desafio será adequar o cultivo as condições climáticas extremas, altas temperaturas, déficit hídrico, chuvas irregulares que afetam a produção da soja na maioria das regiões do Brasil. A alteração nesses padrões pode acarretar estresses abióticos e bióticos para a cultura da soja (CHAUDHARY, 2019). Um elemento chave que afeta diretamente o rendimento das culturas é a disponibilidade de água e de nutrientes no momento certo (DANTAS NETO *et al.*, 2006).

2.2 Necessidade hídrica da cultura da soja

Para que a cultura da soja alcance altos rendimentos, é necessário que a quantidade de água seja o suficiente para o seu desenvolvimento. De acordo com Dantas (2018) o volume total exigido no ciclo da cultura da soja está entre 450 mm a 800 mm, dependendo do manejo, cultivar e evapotranspiração. O déficit hídrico pode causar danos significativos a fisiologia da planta (DONG *et al.* 2019). Neste sentido, estudos demonstram que o déficit hídrico pode reduzir significativamente os níveis de clorofila a, b e conteúdo total de clorofila (WU; ZHANG, 2019). Além disso, pesquisas demonstram que após o déficit hídrico, a planta pode apresentar menores taxas de crescimento, área foliar, redução na absorção de nutrientes, alterações enzimáticas (BU *et al.*, 2009).

Os períodos de déficit hídrico na soja prejudicam significativamente a produtividade e a qualidade da cultura, conforme apresentado na Figura 1.

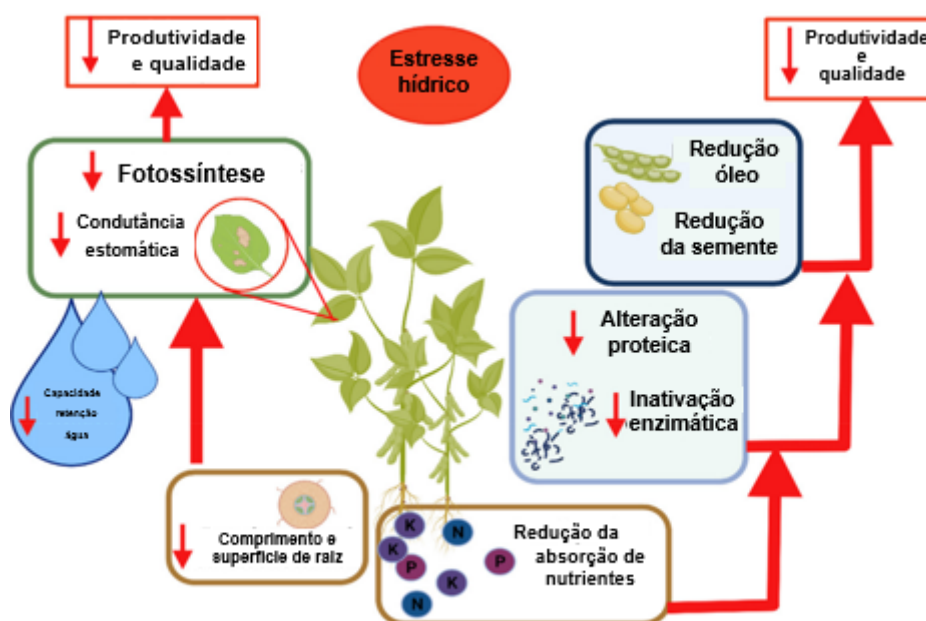


Figura 1. Esquema da consequência do estresse hídrico na cultura da soja. Adaptado de Rasheed *et al.* (2022).

No atual cenário da agricultura, os estresses abióticos estão se tornando uma das principais dificuldades para o desenvolvimento da planta e

consequentemente aumento da produção de alimentos. Os casos de estresse hídrico global poderão aumentar em até 40% até o final do século XXI (HUSSAIN *et al.*, 2019).

A prolina é um aminoácido que em condições de estresse abiótico, como déficit hídrico atua como sinalizadora de estresse, podendo induzir o sistema de defesa das plantas na remoção de espécies reativas de oxigênio (ERO), protegendo a integridade das membranas (TEIXEIRA, 2016; MEENA *et al.*, 2019). De acordo com Koentjoro *et al.* (2021), o acúmulo de prolina é o resultado de um aumento de aminoácidos livres quando as plantas são expostas a condições de estresse hídrico, salinidade e temperaturas.

Por isso, os mecanismos de tolerância ao estresse hídrico são vantajosos para os agricultores durante o processo produtivo, garantindo a perspectivas de boa produtividade (RASHEED *et al.*, 2022). Dentre eles, a utilização de indutores químicos e biológicos podem ser uma estratégia para mitigar os efeitos.

2.3 Indução de tolerância em plantas

As plantas ao realizarem fotossíntese direcionam para raízes os substratos orgânicos que atuam como fonte de nutrientes para a colonização de microrganismo na rizosfera. Os substratos orgânicos exsudados são açúcares, aminoácidos, ácidos orgânicos, hormônios, vitaminas, carboidratos poliméricos, enzimas, lisados celulares e CO₂ (LYNCH; WHIPPS, 1991).

Os microrganismos que se desenvolvem na rizosfera das plantas podem produzir enzimas, oxido nítrico, osmólitos, sideróforos, antibióticos, ácidos orgânicos e fitormônios. Os quais atuam como promotores de crescimento de plantas, supressores de patógenos, aumento de resistência a estresses bióticos, abióticos e na ciclagem de minerais no solo (DIMKPA; WEINAND; ASCH, 2009). Em respostas a estresses bióticos e abióticas, as plantas induzem a ativação das rotas de defesas, sendo elas Resistência Sistêmica Induzida (RSI) e Resistência Sistêmica Adquirida (RSA). A rota da Resistência Sistêmica Induzida (RSI) é ativada por microrganismo benéfico e envolvem vias do ácido jasmônico (JA) e do etileno (ET). A ativação da rota de Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) ocorre por ocasião de ataques de patógenos a qualquer parte da planta, sua expressão está relacionada com a elevação de forma sistêmica dos níveis do hormônio ácido salicílico (SA) que ativa a

expressão de um conjunto de Patogêneses Relacionadas (PR) que estão envolvidos com resposta a induzir à defesa. A ativação das rotas não ocorre separadas, tanto a RSI como a RSA são controladas pela proteína (NPR1), que favorece a planta regular as respostas a defesa. (PIETERSE; VAN LOON, 2004; ALABOUVETTE *et al.*, 2009).

A ativação das rotas de indução de resistência, pode ser desenvolvida por fatores bióticos como microrganismos vivos e também por fatores abióticos como compostos químicos (PIETERSE *et al.*, 2014). Nas plantas a ativação da resistência sistêmica pode auxiliar na redução da incidência de pragas e doenças e isto permite que o manejo das culturas seja feito de forma mais sustentável.

2.4 Indutores biológicos e químicos

Conforme Decreto nº4954/2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2004), biofertilizantes são produtos com princípio ativo ou agente orgânico livre de substâncias agrotóxica que atue, direta ou indiretamente sobre a planta cultivada. De acordo com Patra and Singh (2019), biofertilizantes ou também chamados de indutores biológicos têm contribuído para fertilidade do solo, incremento em produtividade, segurança ambiental para água e solo, além de poderem possuir microrganismos vivos ou latentes, que ao serem utilizados estimulam o crescimento de plantas e aumentam a disponibilidade de nutrientes, sendo uma alternativa viável.

Os biofertilizantes são alternativas viáveis e sustentáveis para suporte na saúde de plantas, disponibilização de nutrientes e fitormônios, além de ter um papel sobre a fotossíntese, síntese de aminoácidos, biorremediação, biofortificação e melhoria sobre o estresse abiótico (KOUR *et al.*, 2019). A utilização de biofertilizantes no solo eleva a biodiversidade natural de forma sustentável, podendo conter células ativas e latentes de diferente microrganismo que elevam a colonização da rizosfera e apresentam benefícios para o crescimento de plantas, aceleração de processos microbianos e ativação de rotas de defesas em plantas (MOHAMMADI; SOHRABI, 2012; KULKARNI *et al.*, 2008; BHOGALE; NALAWADE, 2018).

Os indutores químicos ou fitormônio são substâncias químicas produzidas por plantas que atuam na regulação de processos fisiológicos. Os principais

fitormônios são, ácido abscísico (ABA), auxina, citocinina, etileno, giberelina, ácido jasmônico, ácido salicílico e melatonina que desempenham um papel importante na melhoria dos efeitos negativos do estresse abiótico e biótico nas plantas (MELO, 2002; SINGH; ROYCHOUDHURY, 2023).

2.5 Uso de ácido salicílico como indutor químico

Para manter sua capacidade de tolerar estresses, a planta utiliza seu complexo sistema de defesa, composto por diferentes mecanismos e compostos específicos que auxiliam nesse processo (YAN; DONG, 2014). Dentre eles, o ácido salicílico (SA) é um composto fenólico, sendo caracterizado como um fitormônio, produzido naturalmente pelas plantas, presente em inúmeras espécies vegetais, e atua em importantes processos bioquímicos e fisiológicos (DALCIN *et al.*, 2019).

A planta quando acometida com o estresse hídrico, haverá a formação de espécies reativas de oxigênio (ERO), e dessa forma, o uso de SA é uma alternativa por promover à sinalização e remoção das espécies reativas, propiciando um aumento da atividade de enzimas antioxidantes (DUTRA *et al.*, 2017). Dessa forma a produção dessas enzimas podem atenuar o efeito danoso que ocorre relacionado ao estresse oxidativo.

O uso do ácido salicílico também é um aliado para defesa das plantas contra ataques de patógenos, como fungos, bactérias e vírus. Pois o SA pode induzir a produção de pelo menos cinco grupos de proteínas ligados a patogenicidade (KERBAUY, 2008; OLIVEIRA *et al.*, 2021). Desta forma, podem ser aplicadas na agricultura como um reforço no controle de patógenos, insetos, pragas, no crescimento e desenvolvimento vegetal. Sendo que, a utilização de SA é uma técnica viável, pois ele apresenta baixo custo e alto rendimento (CAMARGO *et al.*, 2022).

2.6 Uso de extratos de leveduras como indutor biológico

Como principal microrganismo utilizado na fermentação alcoólica e pães o gênero *Saccharomyces* foi nomeado por Meyen antes de 1838 e só então a espécie foi descrita por Rees em 1870 (RAINIERI *et al.*, 2003). As leveduras da espécie *S. cerevisiae* são utilizadas em ampla escala industrial para produção de proteínas,

bebidas fermentadas, panificação, bioetanol entre outras (MUKHERJEE *et al.*, 2020). Essas necessitam de nutrientes essenciais como carboidratos e ácidos orgânicos para seu desenvolvimento.

As leveduras desempenham um importante papel no solo, sendo fonte de carbono e essencial para microrganismos do solo, pois produzem capsulas de polissacarídeos extracelulares que favorecem a formação de agregados entre as partículas do solo, o que também é usado por microrganismos na produção de compostos solubilizadores de nutrientes para sobreviverem em ambientes secos e com baixa disponibilidade destes (YURKOV, 2018; BOTHA, 2011).

A adição de leveduras como o caso da *Saccharomyces cerevisiae* em resíduos do bagaço de beterraba sacarina, quando adicionado ao solo promoveu a oxidação de enxofre, oxidação de amônio em nitrato e a solubilização de fósforo. (FALIH; WAINWRIGHT, 1995). Gao *et al.* (2014), verificaram que a aplicação de *S. cerevisiae* em plantas de arroz sob condições de déficit hídrico reduziu significativamente os efeitos desse problema e promoveu uma melhor eficiência no uso da água. Em plantas de feijão fava o uso de *S. cerevisiae* pulverizado na folha, foi eficiente para diminuição da abertura estomática, sendo considerada uma alternativa para melhorar a tolerância a seca nas plantas (GAO *et al.*, 2020).

As leveduras podem ter um papel chave como potencializador no desenvolvimento das raízes em plantas (BOTHA, 2011), ação sobre fungos fitopatogênicos de solo, indução de resistência a estresses bióticos e abióticos, degradação de agroquímicos (MUKHERJEE *et al.*, 2020). A levedura *S. cerevisiae* apresentou um papel fundamental no incremento do conteúdo orgânico no solo por promover a síntese de enzimas que degradam a celulose (BAE *et al.*, 2015), dessa forma, favorece o aumento da flora e fauna microbiana do solo. Kang *et al.* (2014), efetuaram a inoculação de *S. cerevisiae* em planta de pepino e observaram o aumento no conteúdo de 17 aminoácidos e promoção de crescimento.

Com advento da fermentação industrial para fins de multiplicação de microrganismos e produção de metabólitos, tem sido necessário o uso da levedura viva ou inativada como fonte de proteínas (AMATA, 2013; FERREIRA *et al.*, 2010). Dessa forma, o processo de multiplicação de leveduras tem se tornado cada vez mais frequente na economia. Isso tem permitido a produção de diversos produtos derivados da fermentação da levedura.

2.7 Atividade microbiana no solo

O solo representa um habitat rico em microrganismos como fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários e algas. Esses realizam diversas atividades enzimáticas catalisadoras no solo resultando na atividade microbiana (PAUL, 2014; BART *et al.*, 2019). A atividade microbiana do solo pode ser expressa pela biomassa microbiana, taxa de respiração, ATP, produção de calor e atividade enzimática (SOUZA MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). A determinação da atividade microbiana torna-se uma ferramenta chave para identificar e quantificar a situação metabólica das comunidades de microrganismos do solo.

A avaliação da atividade microbiana é demonstrada como indicador sensível para demonstrar a dinâmica do teor e da qualidade da matéria orgânica do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2014). A intensidade dos processos químicos ocorre em relação ao tamanho da comunidade microbiana. Oliveira *et al.* (2014) demonstraram que em ambientes de mata nativa a atividade microbiana foi maior, podendo ser atribuída ao maior acúmulo de matéria orgânica do solo e maior biodiversidade vegetal em relação as áreas de soja, milho e girassol.

Ferreira *et al.* (1999), relataram que os atributos da biomassa C_{mic} e N_{mic} servem como indicadores da qualidade do solo, no entanto, a utilização isoladamente desses parâmetros não são convenientes para determinar a condição metabólica das comunidades microbianas do solo, sendo necessário levar em consideração outros atributos microbiológicos da qualidade do solo. Assim, a quantificação da respiração basal do solo (RBS) e do quociente metabólico (qCO_2) fornecem informações notáveis sobre a atividade da microbiota do solo

As enzimas do solo desempenham um papel crucial na degradação de compostos orgânicos no solo e servem como indicadores sensíveis de mudanças na atividade microbiana do solo em resposta a fatores abióticos (HU *et al.*, 2021). Dentre as enzimas, a β -glucosidase, a arilsulfatase e a fosfatase ácida, são as mais utilizadas como indicadores de qualidade do solo (MENDES *et al.*, 2018). Por isso, a avaliação da atividade enzimática é um importante indicador para o monitoramento de alterações ocorridas no solo devido ao seu uso e manejo, e como ferramenta para o melhor planejamento e avaliação de práticas de manejo (CAPRISTO, 2022).

Sendo assim, a atividade enzimática pode ser usada como um indicador biológico, ou como um índice de adequação de sustentabilidade ambiental em

sistemas de produção. Em geral, refletem alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica, bem como reagem mais rapidamente que a matéria orgânica às alterações que ocorrem em solos agrícolas. No entanto, as enzimas são afetadas pelas variações de umidade, temperatura, cultivos e pela qualidade dos resíduos vegetais (ALKORTA *et al.*, 2003; SAMUEL *et al.*, 2017; MAURYA, 2020).

3 OBJETIVO

Avaliar o produto baseado em mananoligossacarídeo sobre o desenvolvimento da cultura da soja e a tolerância ao déficit hídrico.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento e caracterização de solo e clima

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade do Oeste Paulista Presidente Prudente/SP, entre os meses de setembro a dezembro de 2021.

Os tratamentos foram conduzidos com solo originário de área de cultivo de soja coletado na UNOESTE campus II, apresentando os seguintes teores: pH (CaCl₂) 7,0; matéria orgânica, 18,1 g dm⁻³; P (resina), 84,9 mg dm⁻³; S, 0,6 mg dm⁻³; H+Al, 8,5 mmol_c dm⁻³; K, 2,3 mmol_c dm⁻³; Ca, 58,9 mmol_c dm⁻³; Mg, 25,2 mmol_c dm⁻³; soma de base (SB), 86,4 mmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions (CTC), 94,9 mmol_c dm⁻³ e saturação de bases (V%), 91,1%.

Durante a condução do experimento a temperatura média, máxima e mínima foram 25,2, 31,5 e 20,0 °C respectivamente.

4.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O experimento foi disposto em esquema fatorial 2x5, dois manejos de água sendo 100% e 50% da evapotranspiração e cinco manejos de indução a tolerância (Tabela 1) em delineamento inteiramente casualizado (DIC) totalizando 40 unidades experimentais. Os vasos foram rearranjados semanalmente para consolidar a casualização e evitar possíveis interferências na luminosidade e temperatura.

Tabela 1- Descrição dos fatores de manejo da indução utilizados no presente estudo.

Descrição dos Tratamentos
1. Controle (água destilada)
2. Ácido Salicílico (0,5mM)
3. Solução mineral (1,0 L ha ⁻¹ Cu, Zn e S)
4. PBM (0,5 L ha ⁻¹)
5. PBM (4,0 L ha ⁻¹)

1. Controle (água destilada)
2. Ácido Salicílico (0,5mM)
3. Solução mineral (1,0 L ha⁻¹ Cu, Zn e S)
4. PBM (0,5 L ha⁻¹)
5. PBM (4,0 L ha⁻¹)

O produto baseado em mananoligossacarídeo (PBM) é fórmula patenteada da empresa multinacional Alltech Crop Science, apresentando em sua composição mananoligossacarídeo fosforilado da parede celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, 3,0% Cu (36,90 g L⁻¹), 2,0% Zn (24,60 g L⁻¹) e 2,7% S (28,04 g L⁻¹).

A solução de ácido salicílico (PM=138,1 g mol⁻¹) foi preparada para a concentração de 0,5 mM (HADI *et al.*, 2014), a solução mineral foi construída com sulfato de cobre (CuSO₄) e sulfato de zinco (ZnSO₄.7H₂O) para as quantidades de 18,45 g L⁻¹ de Cu, 12,30 g L⁻¹ de Zn e 15,32 g L⁻¹ de S. O tratamento controle recebeu apenas água destilada.

4.3 Implantação do experimento

O cultivo foi realizado em vasos de 12 litros contendo 15 kg de solo, sendo semeados com quatro sementes de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) variedade NS6700 (Intacta RR2 PRO). As sementes de soja foram previamente tratadas com inoculante sólido turfoso Nitro 1000 composto por *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079 e SEMIA 5080) na dose de 2 g kg⁻¹ de sementes, sendo adicionado 10 mL de solução aquosa com 1% de açúcar.

Para o manejo da irrigação, inicialmente foi avaliado a capacidade de campo do solo acondicionado em vasos, com prévia saturação de água e posterior drenagem por 24 horas. Após isso os vasos foram pesados visando acompanhamento do regime de irrigação com estabelecimento de déficit hídrico pelo método gravimétrico (CATUCHI *et al.*, 2011), como também foram avaliados por tensiômetro portátil para estabelecer padrões iniciais.

Antes da semeadura da soja os tratamentos foram aplicados diretamente no sulco de semeadura. Para cálculo da dose de aplicação por vaso, considerou-se o volume de calda de 60 litros por hectare e comprimento do sulco efetivado no vaso (0,3 m), sendo que cada vaso recebeu a aplicação da solução dos tratamentos diretamente no sulco, já diluídos no volume de calda padronizando-se a dose de 0,81 mL vaso⁻¹.

4.4 Condução do experimento

Os vasos após a efetivação dos tratamentos e da semeadura da soja foram dispostos em bancada com duas linhas de irrigação, pelo método de gotejamento, utilizando equipamento automatizado que permite ajustar a lâmina e regime de irrigação, sendo estabelecido que a lâmina de água seria aplicada em quatro períodos distintos ao longo do dia. Aos 10 dias após semeadura (DAS) foi realizado o desbaste deixando apenas duas plantas por vaso. Nos primeiros 25 DAS foi estabelecido o fornecimento de água nas duas linhas com base em valores de evapotranspiração estabelecido para a textura do solo (DOORENBOS; KASSAM, 1994; ALLEN *et al.*, 1998) e acompanhados pela pesagem dos vasos e leitura do tensiômetro semanalmente. Foi aplicada lâmina de água de $240 \text{ ml vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ até os 25 DAS, posteriormente foi efetivado o déficit hídrico em uma das linhas do experimento (20 vasos) com programação de fornecimento de lâmina de água para repor 50% da evapotranspiração ($120 \text{ ml vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$). Após os 60 DAS foi efetuado o aumento das lâminas de irrigação, sendo $400 \text{ ml vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para 100% da ET e $200 \text{ ml vaso}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para 50% da ET. Semanalmente os vasos foram pesados e avaliados a umidade do solo pela leitura do tensiômetro, visando ajustes para manutenção do regime de 100% e 50% da evapotranspiração durante os estádios fenológicos da soja. Aos 77 DAS o experimento foi finalizado e efetuado a coleta dos materiais para as análises biométricas.

4.5 Avaliações

4.5.1 Análises fotossintéticas

Aos 51 dias após semeadura foram avaliados os parâmetros fisiológicos relacionados com a fotossíntese. O potencial fotossintético foi avaliado por meio de curvas de resposta ao CO_2 . Essas curvas foram determinadas no período entre 10 e 15 horas, em folhas totalmente expandidas do trifólio do terço médio da planta. A concentração de CO_2 variou de 0 a $1800 \mu\text{mol mol}^{-1}$ de CO_2 dentro da câmara de amostragem do analisador de gases por infravermelho (IRGA, modelo Li- 6400XTR, Li-Cor). As medidas de fotossínteses foram realizadas sob irradiância saturante de $1.200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de fótons, utilizando-se 4 plantas por tratamento. No ponto da

curva em que a concentração de CO₂ na câmara de amostragem foi similar à concentração atmosférica ($370 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$), foram avaliados os seguintes parâmetros: assimilação líquida de CO₂ (A , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de H₂O), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de H₂O) e eficiência de carboxilação (A/C_i , $\text{mol air m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

4.5.2 Análise da atividade da guaiacol peroxidase (GPX)

Para avaliação da peroxidase foram utilizadas amostras de tecidos foliares de trifólio do terço médio da soja aos 51 dias após semeadura. As folhas foram armazenadas em papel alumínio e acondicionado em nitrogênio líquido em caixa de isopor e posteriormente armazenadas em freezer -80 °C. Foi realizado a maceração de 100 mg de tecido vegetal em nitrogênio líquido e 10 mL do tampão fosfato 0,01M pH 6,0 a 4 °C e transferido para tubo ependorf de 2 mL. Em seguida, as amostras foram armazenadas em gelo e centrifugadas a 4000 g por 20 minutos em centrifuga refrigerada. Foi utilizado 100 μL da amostra e adicionado 2,9 mL de tampão fosfato contendo guaiacol e peróxido de hidrogênio. As leituras foram realizadas em repetições duplicata em espectrofotômetro a 510 nm. A atividade da peroxidase foi calculado com base na absorbância e expresso em $\text{UE min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ (LIMA *et al.*, 1999).

4.5.3 Teor de prolina

Para determinação do teor de prolina foi realizado extração aos 77 dias após semeadura, segundo metodologia proposta por Bates *et al.* (1973) em duplicata, e posteriormente foi pesado 100 mg das amostras de folhas e maceradas com 6 mL de ácido sulfosalicílico a 3%. Após a filtragem foi colocado 2 mL em tubo de ensaio com 2 mL de ninidrina ácida e 2 mL de ácido acético glacial. As amostras foram levadas ao banho maria a 100 °C por 1 hora e posteriormente acondicionadas em gelo por 20 minutos e adicionado 4 mL de tolueno. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 520 nm. A concentração de prolina foi expressa em μmol de prolina g^{-1} .

4.5.4 Avaliação do teor acumulado de nitrogênio e fósforo

Após a secagem da parte aérea as amostras foram trituradas e submetidas a análise nutricional foliar, para determinação dos valores de nitrogênio e fósforo acumulados de acordo com a metodologia de Malavolta *et al.* (1997).

4.5.5 Avaliação da atividade microbiana no solo

Ao finalizar o experimento foi efetuado em cada tratamento a retirada de amostras de solo com sonda na profundidade de 10 cm para realização das análises da atividade das enzimas: desidrogenase (POLYAK *et al.*, 2018), fosfatase ácida, glucosidase e arilsulfatase (EIVAZI; MULLINGS; BANKS, 2018).

4.5.6 Avaliação da arquitetura radicular

Nas raízes coletadas em cada tratamento foram realizadas análises dos padrões radiculares pelo software WinRHIZO Pro (Régent Instrum. Quebec, Canadá) conforme metodologia utilizado por Jochum *et al.* (2019), foram coletadas as seguintes variáveis do sistema radicular: comprimento, área superficial e densidade.

4.5.7 Biométricas

Ao término do experimento foi efetuado o corte do caule das plantas a 2 cm acima do solo. As plantas foram acondicionadas em sacos de papel kraft e posteriormente efetuou o destacamento das folhas, para contagem e determinação da área foliar utilizando do equipamento LI3000A, da LICOR. A seguir, as amostras de arquitetura e folhas foram levadas a estufa de aeração forçada (60°C) para secagem e posteriormente realizada a determinação da matéria seca (LACERDA *et al.*, 2009).

As raízes foram retiradas dos vasos e posteriormente lavadas em água corrente com auxílio de peneira 3mm. Os nódulos das raízes foram separados, contados, secos, pesados e acondicionadas em sacos plásticos com solução de água e álcool 70%, para efetuar a determinação dos padrões radiculares. Após

determinação, as raízes foram secas e colocadas em papel kraft e levada em estufa a 60°C para secagem.

4.5.8 Análise estatística

Os resultados foram aplicados análise de variância dos dados através do teste F a 5% de significância. Foi utilizado o método Scott-Knott ($p \geq 0,05$) para comparação das médias dos valores utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2008) e para geração dos gráficos foi utilizado o software GraphPad Prism versão 9.51.

5 RESULTADOS

5.1 Análises biométricas

A imposição do déficit hídrico no cultivo da soja causou redução média de 50% no crescimento das plantas (Figura 2). Na avaliação de área foliar verificou-se que não houve efeito na condição de irrigação plena, mas na condição de déficit hídrico os tratamentos com solução minerais e a menor dose do PBM provocaram redução da área foliar (Figura 2A). Por outro lado, verificou-se que os tratamentos com minerais e todos com PBM proporcionaram, aumento da matéria seca foliar em situação sem déficit (Figura 2B).

Na condição sem déficit observou-se efeito de alguns tratamentos no aumento do crescimento da parte aérea da cultura (Figura 2C). No desenvolvimento das raízes verificou-se que o tratamento com solução mineral e a maior dose do PBM reduziram a matéria seca de raiz na condição de ausência de déficit (Figura 2D), mas sem efeito na condição de déficit hídrico.

O número e a matéria seca de nódulos nos tratamentos com solução mineral e a dose mais baixa do PBM demonstraram maior formação de nódulos, tanto no número, quanto na matéria seca (Figura 2).

Contudo, a matéria seca total da planta aumentou em função dos tratamentos com ácido salicílico, solução mineral e a menor dose do PBM (Figura 2E). Nos parâmetros biométricos avaliados apenas o controle em número de nódulos não apresentou diferença significância para os fatores ausência e presença de déficit hídrico (Figura 3A).

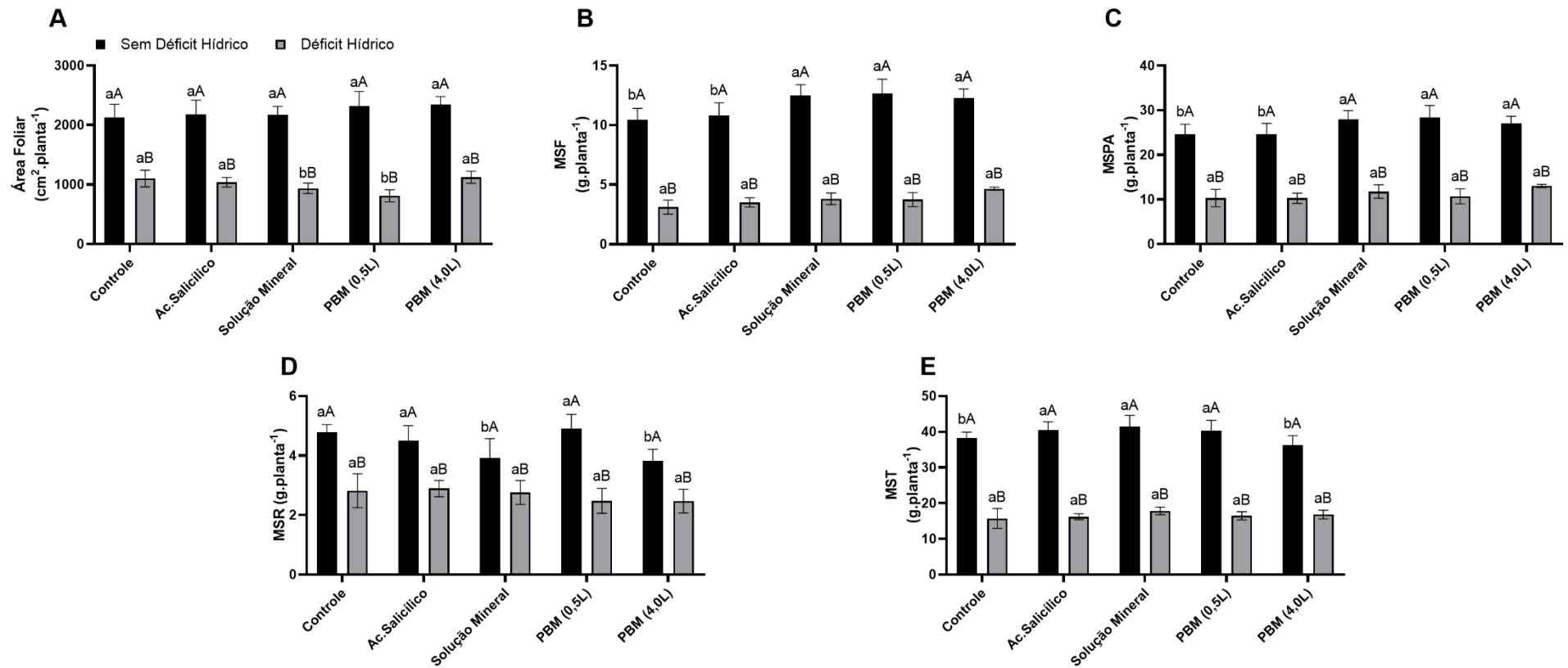


Figura 2. Área foliar (A), matéria seca das folhas – MSF (B), matéria seca da parte aérea – MSPA (C), matéria seca de raízes – MSR (D) e matéria seca total – MST (E) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

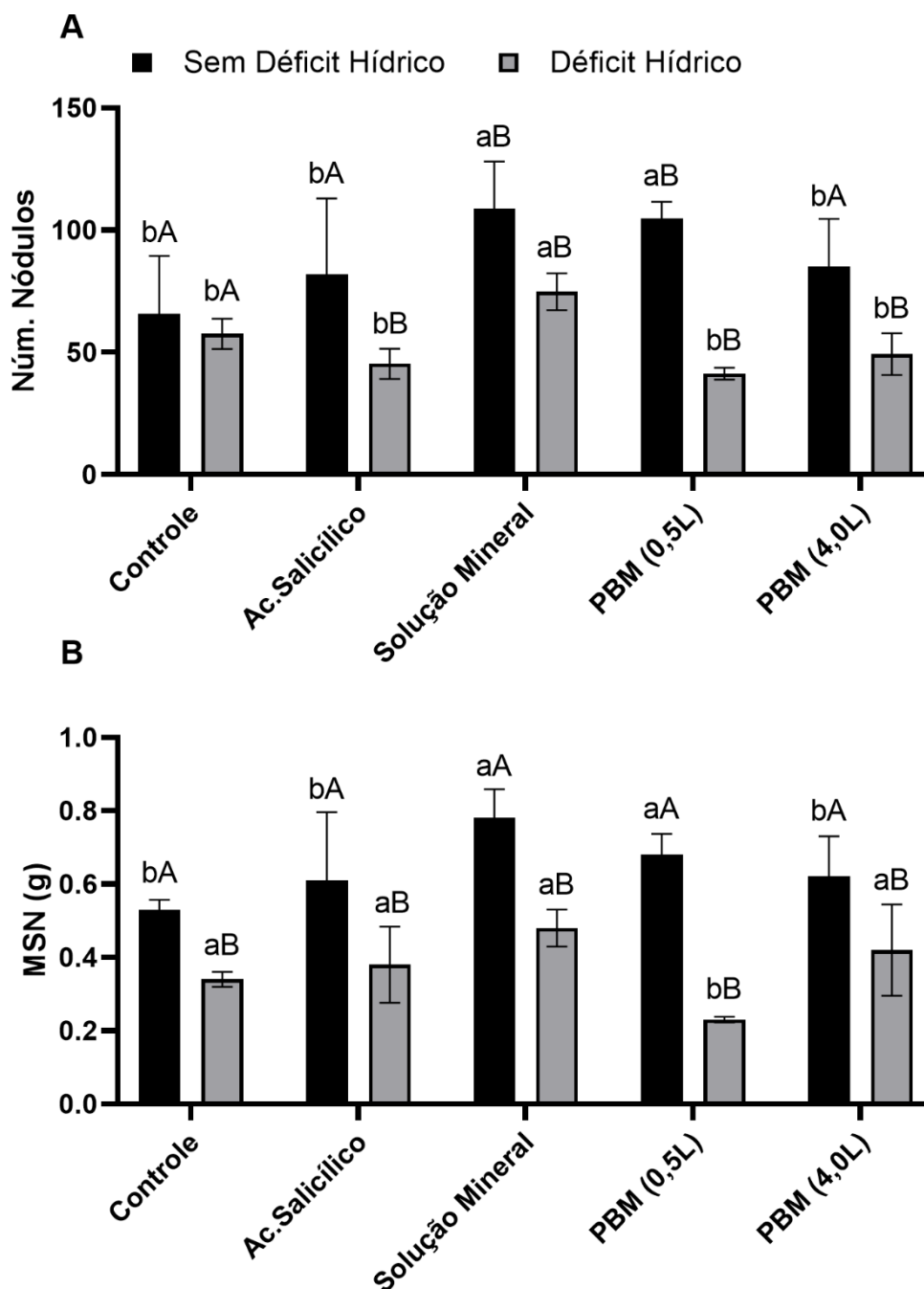


Figura 3. Número de nódulos (A), matéria seca de nódulos – MSN (B) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.2 Análises fotossintéticas

Houve efeito do déficit hídrico sobre as análises fotossintéticas (Figura 4), evidenciando-se que na condição sem déficit a taxa fotossintética foi maior no tratamento com a maior dose do PBM e quando se utilizou o ácido salicílico (Figura 4). Ocorreu maior abertura estomática e transpiração foliar nos tratamentos com ácido salicílico, solução mineral e na maior dose do PBM, mas sem efeito na condição de déficit hídrico (Figura 4B e C).

Em relação a eficiência carboxílica, os tratamentos, ácido salicílico e todas as doses do PBM aumentaram essa atividade quando comparado com o controle na condição sem déficit hídrico (Figura 4D). Mas na condição de déficit hídrico apenas o ácido salicílico aumentou este parâmetro.

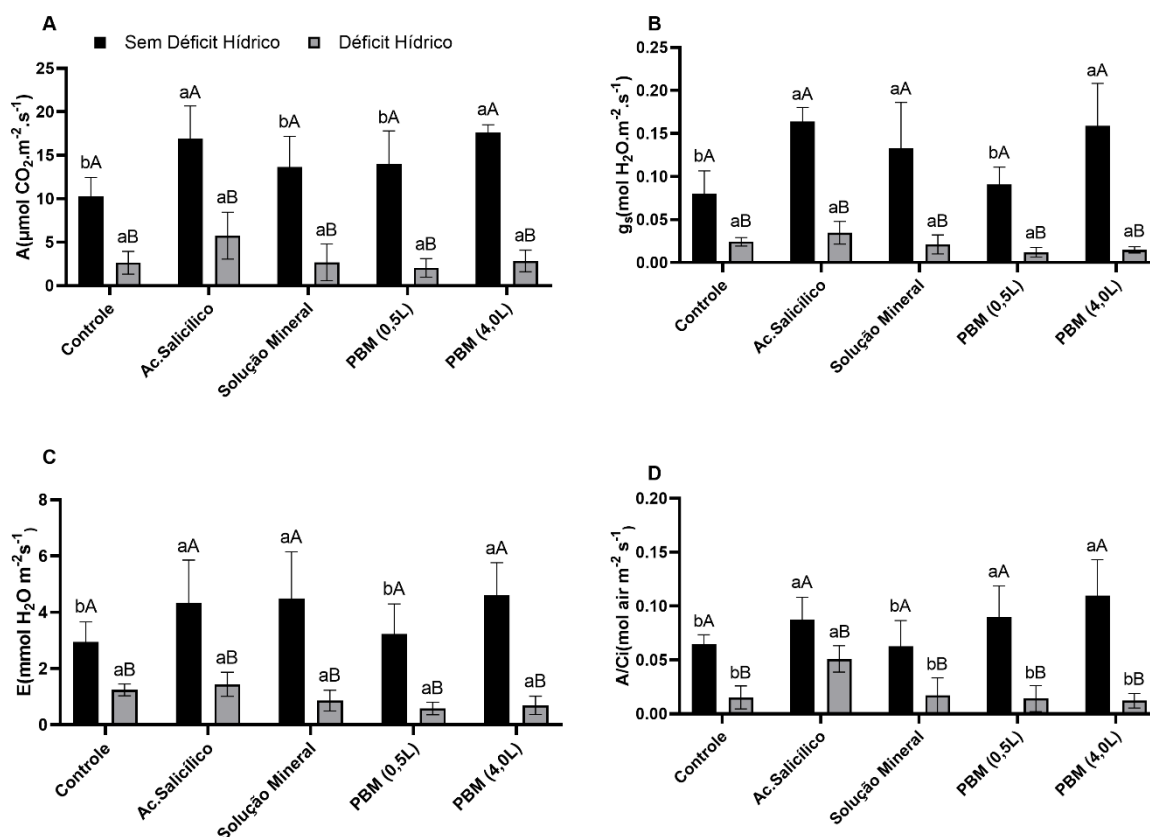


Figura 4. Taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (B), transpiração (C) e eficiência de carboxilação (D), em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.3 Atividade da guaiacol peroxidase (GPX)

Os tratamentos com solução mineral e a menor dose do PBM aumentaram a atividade da GPX nas condições sem déficit hídrico.

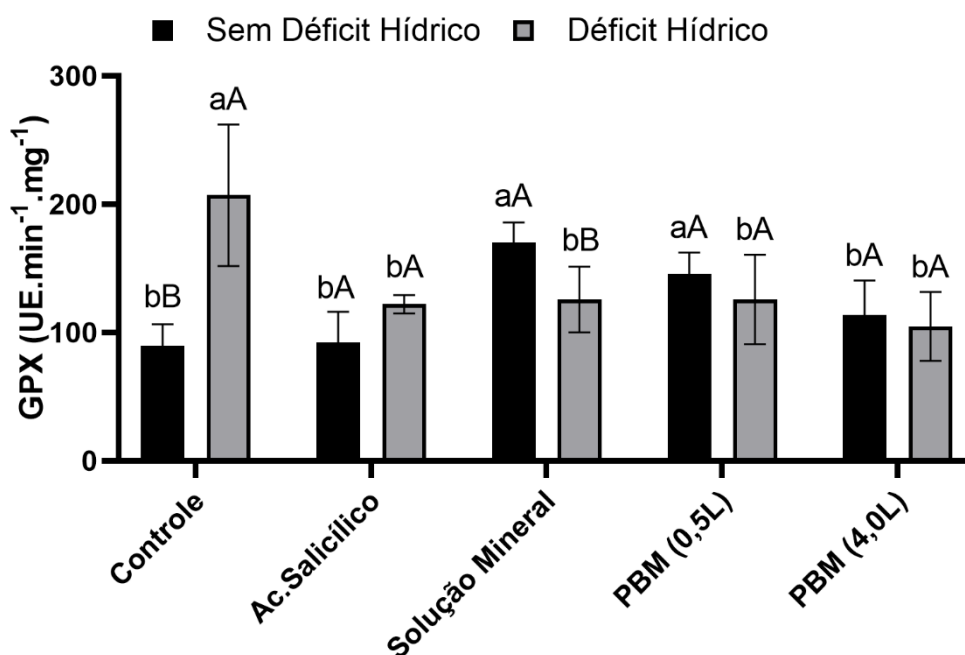


Figura 5. Atividade da guaiacol peroxidase-GPX aos 51 DAS em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.4 Atividade da prolina

A concentração da prolina aumentou em todos os tratamentos quando na condição de déficit hídrico (Figura 6), contudo os tratamentos com ácido salicílico e a menor dose do PBM aumentaram a concentração de prolina em situação de déficit hídrico 153% e 142%, respectivamente, quando comparados aos mesmos tratamentos sem déficit hídrico.

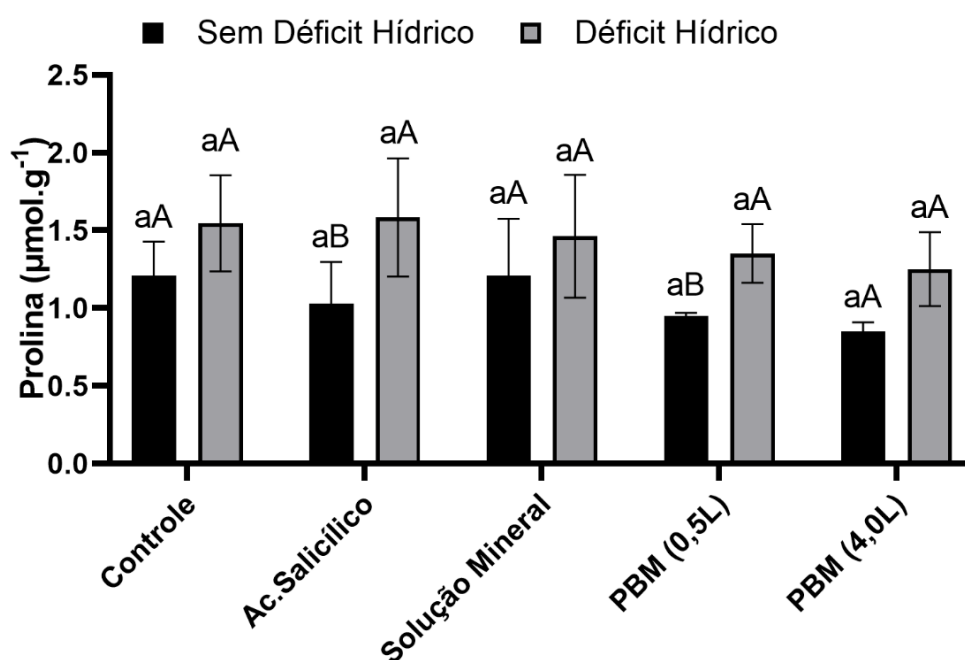


Figura 6. Atividade da prolina aos 77 DAS em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.5 Teor acumulado de nitrogênio e fósforo nas plantas

Os tratamentos com PBM (0,5 e 4,0 L) aumentaram o acúmulo de nitrogênio nas plantas em situação sem déficit hídrico, em comparação ao controle (Figura 7A). No acúmulo de fósforo verificou-se que apenas a maior dose do tratamento PBM foi eficaz para aumentar o acúmulo desse nutriente nas plantas, em relação ao controle em situação sem déficit hídrico (Figura 7B). O déficit hídrico reduziu o acúmulo de N e P em todos os tratamentos avaliados.

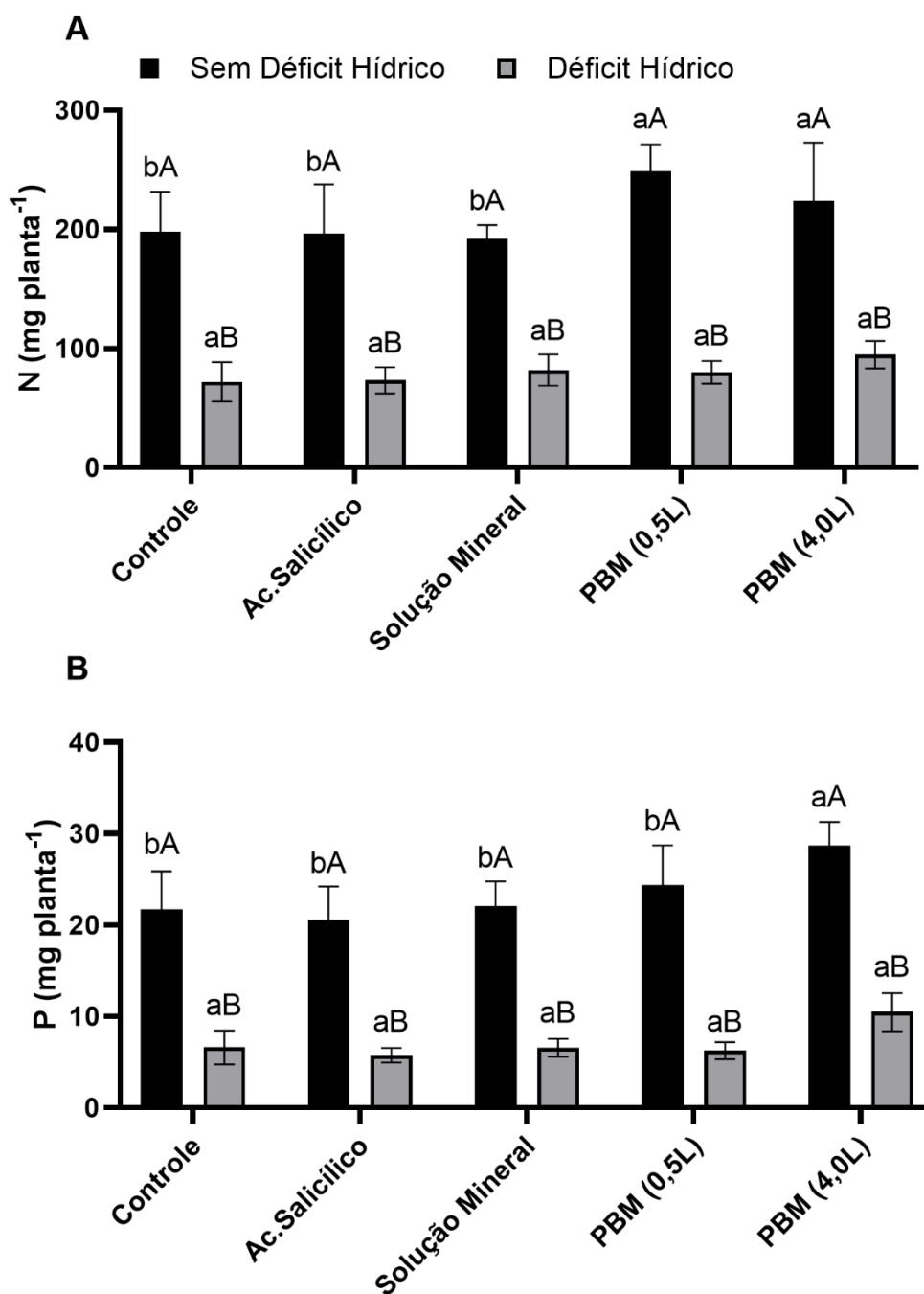


Figura 7. Acúmulo de nitrogênio (A) e fósforo (B) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.6 Atividade microbiana do solo

A atividade da arilsulfatase, na condição sem déficit, no tratamento PBM em menor dose obteve a menor atividade entre os tratamentos. Em situação de déficit os tratamentos solução mineral e PBM na maior dose, aumentaram a atividade dessa enzima no solo (Figura 8A). A atividade da glicosidase nos tratamentos solução mineral e PBM, na maior dose, apresentaram os maiores valores em situação sem déficit, mas na condição de déficit não houve diferença (Figura 8B).

Houve aumento na atividade da fosfatase ácida do tratamento com ácido salicílico na situação de déficit hídrico. (Figura 8C). No que se refere a atividade da desidrogenase, verifica-se que na condição sem déficit hídrico houve aumento da atividade da enzima nos tratamentos com solução mineral e PBM na maior dose. (Figura 8D).

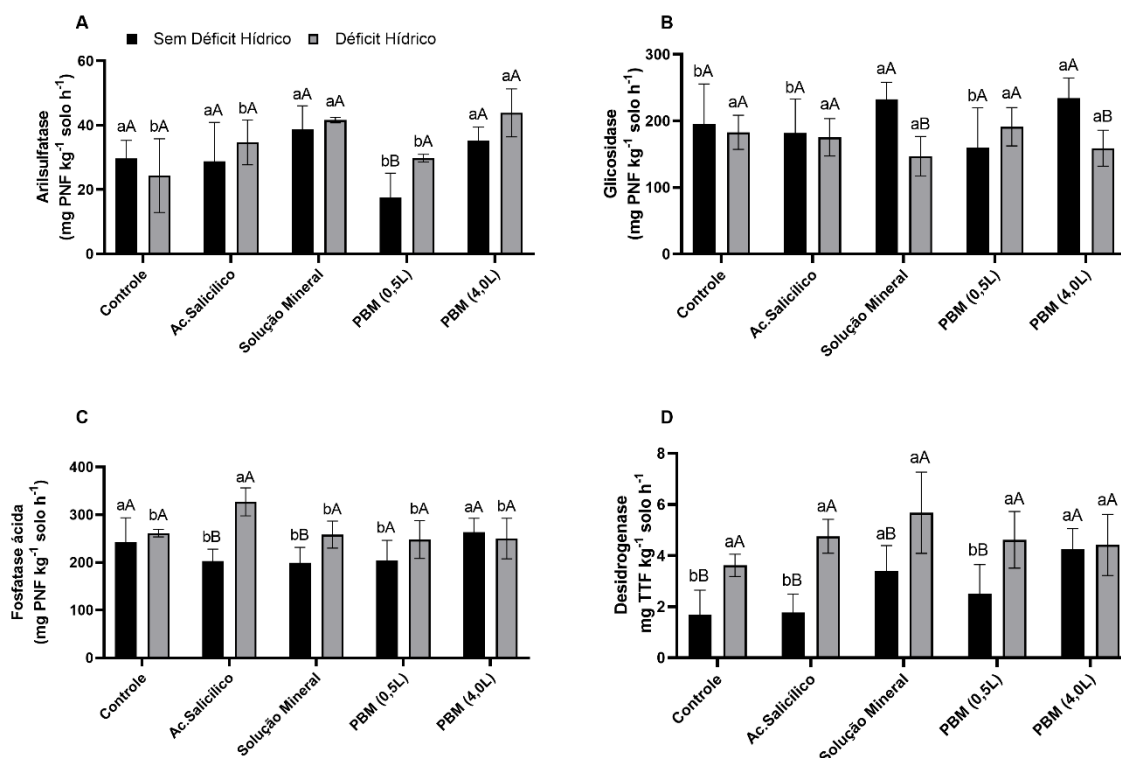


Figura 8. Atividade da arilsulfatase (A), glicosidase (B), Fosfatase ácida (C) e desidrogenase (D), em solo cultivado com soja em diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

5.7 Avaliação da arquitetura radicular

Observou-se que em situação sem déficit hídrico houve redução do comprimento, área de superfície e na densidade das raízes nos tratamentos da solução mineral e PBM na maior dose (Figura 9A, B e C) Destaca-se que nenhum tratamento conseguiu promover aumento nos atributos radiculares avaliados.

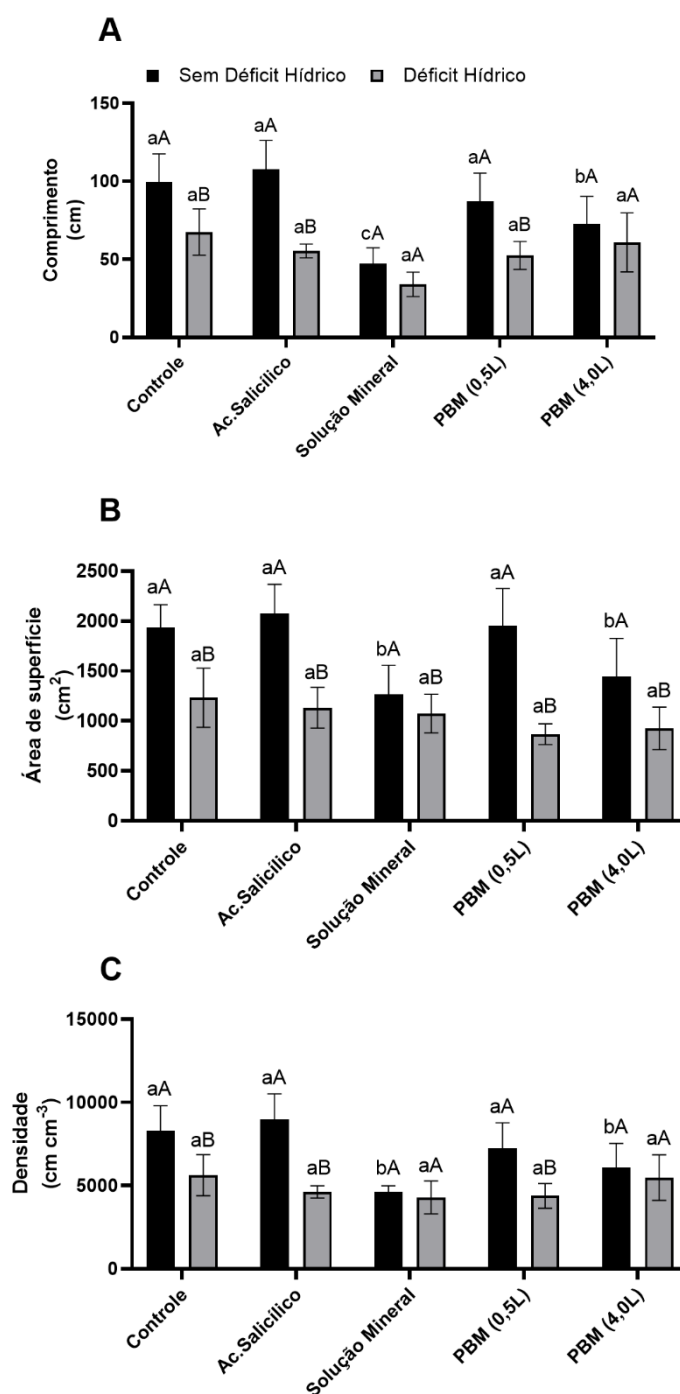


Figura 9. Análise do comprimento (A), área da superfície (B) e densidade (C) em soja cultivada com diferentes tratamentos indutores com e sem déficit hídrico. Colunas com letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e colunas com letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre a presença e ausência do déficit hídrico ($p \leq 0.05$).

6 DISCUSSÃO

Esse estudo buscou avaliar o efeito do mananoligossacarídeos (MOS), derivado da parede celular da *Saccharomyces cerevisiae*, como indutor de respostas biométricas e bioquímicas nas plantas, em condição de estresse, de forma semelhante ao que já foi relatado com o uso do ácido salicílico (ARIF *et al.*, 2020; DING; DING, 2020). Já foi relatado que o MOS apresenta função de indução de forma semelhante ao ácido salicílico como observado por Zang *et al.* (2019).

Entretanto, nesse estudo foi adotado a aplicação dos indutores diretamente no solo pela aplicação no sulco de semeadura, diferentemente da maioria dos estudos com indutores que são aplicados diretamente sobre as folhas ou misturados as sementes (HADI *et al.*, 2014). Destacando-se o que já foi relatado por Sharma *et al.* (2018), que verificou que o ácido salicílico, quando misturado as sementes de soja, modulou os processos fisiológicos e metabólicos para melhor aclimação de plantas de soja ao estresse hídrico. Ocorrendo maior ativação da fotossíntese para acúmulo de carbono, nitrogênio e proteínas para manter o crescimento e vigor da planta em situação de seca, semelhante ao observado por Heuer (2010).

Verificou-se que o déficit hídrico provocou redução no desenvolvimento da soja, com reduções acima de 50 % nos valores em diferentes variáveis biométricas avaliadas, mostrando com isto que esta espécie é muito sensível a esse estresse abiótico confirmando a mesma situação observado por Bhattacharya (2021). Sabe-se que as plantas cultivadas em condições de déficit hídrico podem ter graves danos ao crescimento, desenvolvimento e produção (NOBRE *et al.*, 2013).

As plantas cultivadas em solo com a solução mineral e PBM, na condição sem déficit apresentaram incrementos da área foliar, MSF e MSPA, mas reduziram a MSR. Soares *et al.* (2021) verificaram que uso de produto contendo MOS em sua formulação mostrou incremento significativo sobre a matéria seca da parte aérea e raiz na cultura do arroz quando comparado com indutor químico.

Ocorreram aumentos na nodulação das plantas nos tratamentos da solução mineral e na menor dose do PBM, apenas na condição sem déficit hídrico. Mas, já foi relatado que o desenvolvimento e atividade de nódulos de raízes tratadas com indutores químicos possam ser afetados (LION *et al.*, 2000; HEIL, 2001).

Nesse estudo, na condição de déficit hídrico verificou-se que a taxa fotossintética líquida, condutância estomática, transpiração e eficiência de

carboxilação não apresentaram alterações, apenas no tratamento com ácido salicílico verificou-se aumento na eficiência da carboxilação durante a fotossíntese (Figura 4D). Isto pode indicar que o aumento de CO₂ no mesofilo foliar indica que a redução na eficiência da carboxilação foi amenizada durante o estresse (MEDINA *et al.*, 2023). Este efeito de aumento da eficiência da carboxilação, pela aplicação do ácido salicílico também foi verificada por Poór *et al.* (2011).

A maior condutância estomática e transpiração na condição sem déficit hídrico, nos tratamentos com ácido salicílico, solução mineral e a maior dose do PBM possibilitou a adição contínua de CO₂ para o metabolismo da planta da soja contribuindo para melhoria da taxa fotossintética, semelhante ao observado por Repke *et al.* (2022). Nessa condição a eficiência de carboxilação apresentou incremento significativo para os tratamentos ácido salicílico e todas as doses do PBM, evidenciando que uso de indutores pode corroborar em uma maior assimilação e menor concentração de CO₂ na câmara subestomática.

É relatado que os indutores de resistência podem ser utilizados como um atenuador dos efeitos causados pela deficiência hídrica, como a síntese de espécies reativas de oxigênio (ERO), que com seu acúmulo pode prejudicar o metabolismo vegetal. O chamado estresse oxidativo, causa danos em vários processos metabólicos na planta, como na fotossíntese, destacando-se nesse caso a degradação das moléculas de clorofila (CARLIN *et al.*, 2012; LIMA *et al.*, 2020).

O desenvolvimento da tolerância das plantas à seca está associado ao aumento da atividade de enzimas antioxidantes de acordo com Vasconcelos *et al.* (2009). Na condição do estresse oxidativo a enzima guaiacol peroxidase (GPX) é uma das mais importantes para eliminação de radicais livres como peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Neste estudo, a atividade da GPX foi alta nas plantas controle em situação de déficit hídrico, mas reduziu com os tratamentos aplicados. Nos tratamentos com doses de PBM e ácido salicílico, verificaram-se que os valores da GPX permaneceram semelhantes nas duas condições. Bartoli *et al.* (1999), também não encontraram aumento na atividade de enzimas antioxidantes relacionada ao peróxido de hidrogênio, relatando que o estresse hídrico, médio a severo, pode alterar a rota bioquímica desse processo oxidativo. Na atividade da GPX verificou-se que os tratamentos com indutores provocaram a tendência de redução da atividade em plantas estressadas, provavelmente a intensidade do déficit hídrico extremo possa ter interferido na rota bioquímica estudada.

De forma geral, houve aumento na concentração de prolina em todos os tratamentos conduzidos na condição de déficit hídrico (Figura 6). Sabe-se que a prolina é considerado um indicador de condição de déficit hídrico nas plantas e seu acúmulo está positivamente correlacionado com a tolerância à seca (SLAMA *et al.*, 2008; MWENYE *et al.*, 2016). Os tratamentos com ácido salicílico e a menor dose do PBM proporcionaram aumentos significativos da concentração foliar de prolina quando se comparou a condição de com e sem déficit hídrico. Tripathi *et al.* (2015) relataram que o estresse hídrico afeta o teor de prolina em folhas de cultivares de soja suscetíveis, mas não de genótipos tolerantes. Em estudo realizado por Jaiswal *et al.* (2014) e Liu *et al.* (2013) a aplicação de ácido salicílico e indutor da família dos oligossacarídeos aumentaram a resistência a tolerância à seca por acumular diferentes compostos osmóticos, incluindo açúcares solúveis e prolina, que são essenciais para os mecanismos osmorregulatórios.

Na condição de déficit hídrico, as plantas de soja manifestaram redução no acúmulo de nitrogênio e fósforo, todavia, na condição sem déficit hídrico os tratamentos com PBM o acúmulo de nitrogênio e fósforo foram aumentados, semelhante ao observado por Ávila *et al.* (2023) em plantas de sorgo tratadas com derivado da parede celular de leveduras. Wang *et al.* (2015) observaram maior acúmulo de nitrogênio e fósforo em plantas irrigadas e tratadas com nanotecnologia da família do oligossacarídeo em *Coffea canephora* *Piere var Robusta*.

A atividade da desidrogenase na condição sem déficit hídrico foi alta na solução mineral e na maior dose do PBM. O aumento da atividade pode estar relacionado a degradação de compostos orgânicos presente nestes tratamentos pelos microrganismos do solo e desencadeando uma maior indução do metabolismo microbiano (MACIAS-BENITEZ *et al.*, 2020; CABALLERO *et al.*, 2022). Ocorreu aumento da atividade da desidrogenase em todos os tratamentos em condição de déficit hídrico (Figura 8D). De acordo com Hueso *et al.* (2012) isto pode ser devido a liberação de material resultante da morte de células radiculares, como também de microrganismos do solo que ocasiona concentração de carbono solúvel e consequente aumento atividade da desidrogenase no solo.

Por outro lado, não ocorreu este mesmo efeito para outras enzimas de ciclo de nutrientes específicos do solo, mas o aumento da atividade dessas enzimas pode ser promovido pela adição de compostos orgânicos no solo (BOGATI; WALCZAK, 2022). Pelos resultados encontrados verificou-se efeito dos indutores orgânicos e

químicos usados nesse estudo, incrementaram as atividades das enzimas arilsulfatase e fosfatase, revelando com isto efeito mais restrito na atividade enzimáticas no solo. Schaap *et al.* (2021) afirmam em seus estudos, que atividade da fosfatase é afetada negativamente por condições ambientais, como seca e alta temperatura. Sayer *et al.* (2021) observaram que a comunidade e a atividade microbiana no solo sob déficit hídrico podem ser modificadas por fitormônios associados à seca.

A aplicação do PBM em sua maior dose na situação sem déficit hídrico ocasionou redução no crescimento radicular e seus atributos avaliados. A redução do comprimento da raiz, a área de superfície e a densidade afetam diretamente a capacidade da planta de absorver e transportar água e nutrientes (WANG *et al.*, 2019). Já foi relatado que esse grupo químico pode ocasionar redução no crescimento de raízes na soja, dependendo da dose e local de aplicação das moléculas (COSTALES *et al.*, 2016). Este efeito pode confirmar que existe reação de sensibilidade da planta ocasionando redução do crescimento do tecido vegetal afetado, o que pode ser atenuado com o uso da menor dose. Os efeitos de redução de crescimento de raízes, com o uso de doses elevadas de indutores químicos tem sido constatado em estudos com diferentes espécies de plantas, relatados em revisão sobre esse tema (BAGAUDINOVA *et al.*, 2022).

Por outro lado, aplicação de PBM proporcionou ganhos no crescimento da parte aérea da planta e nodulação das raízes, isto mostra que a relação fonte-dreno pode ter sido alterada com a aplicação dos produtos no solo. Dessa forma, o uso desses produtos em menores doses no solo, pode ser indicada em áreas de cultivo de soja, sendo necessário para isso novos estudos em condições de campo.

O uso dos produtos indutores de origem química e biológica não conseguiu atenuar significativamente o efeito deletério da restrição hídrica severa avaliada nesse estudo, mas verificou-se algumas alterações em parâmetros fisiológicos e bioquímicos nas plantas afetadas pelo estresse abiótico. As rotas de metabolismo envolvido no processo de redução de danos pelo déficit hídrico precisam ser mais bem estudadas e podem ser próximas das envolvidas no processo desencadeado pela ação dos agentes indutores.

7 CONCLUSÕES

Na condição de cultivo da soja, sem aplicação do déficit hídrico, houve benefícios do tratamento com PBM sobre o crescimento da parte aérea, nodulação, fotossíntese e acúmulo de N e P.

Na condição de déficit hídrico o uso do PBM não atenuou os efeitos do estresse causado nas plantas.

O PBM apresentou ação semelhante ao ácido salicílico. O PBM aplicado no solo apresenta potencial na indução de alterações bioquímicas na planta e a aplicação da menor dose do produto apresentou melhor desempenho nesse estudo.

REFERÊNCIAS

- ABDELAAL, K. A.; ATTIA, K. A.; ALAMERY, S. F.; EL-AFRY, M. M.; GHAZY, A. I.; TANTAWY, D. S.; HAFEZ, Y. M. Exogenous application of proline and salicylic acid can mitigate the injurious impacts of drought stress on barley plants associated with physiological and histological characters. **Sustainability**, v.12, n.5, p.1736, 2020.
- ALABOUVETTE, C.; OLIVAIN, C.; MIGHELI, Q.; STEINBERG, C. Microbiological control of soil-borne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*. **New Phytologist**, n.184, p.529-544, 2009.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. **FAO Irrigation Paper 56**. FAO, Roma, 301p 1998.
- ALKORTA, I.; AIZPURUA, A.; RIGA, P.; ALBIZU, I.; AMÉZAGA, I.; GARBISU, C. Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. **Reviews on environmental health**, v. 18, n. 1, p. 65-73, 2003.
- AMATA, I. Yeast a single cell protein: Characteristics and metabolism. **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, v.4, n.2013, p.158-170, 2013.
- ARIF, Y.; SAMI, F.; SIDDIQUI, H.; BAJGUZ, A.; HAYAT, S. Salicylic acid in relation to other phytohormones in plant: A study towards physiology and signal transduction under challenging environment. **Environmental and Experimental Botany**, v.175, p.104040, 2020.
- ÁVILA, R. G.; MAGALHÃES, P. C.; VITORINO, L. C.; BESSA, L. A.; SOUZA, K. R. D.; QUEIROZ, R. B.; TEIXEIRA, M. B. Chitosan induces sorghum tolerance to water deficits by positively regulating photosynthesis and the production of primary metabolites, osmoregulators, and antioxidants. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.23, n.1, p.1156-1172, 2023.
- BAE, J.; KURODA, K.; UEDA, M. Proximity effect among cellulose-degrading enzymes displayed on the *Saccharomyces cerevisiae* cell surface. **Applied Environmental Microbiology**, v. 81, n.1, p.59–66, 2015.
- BAGAUTDINOVA, Z. Z.; OMELYANCHUK, N.; TYAPKIN, A. V.; KOVRIZHNYKH, V. V.; LAVREKHA, V. V.; ZEMLYANSKAYA, E. V. Salicylic acid in root growth and Development. **International Journal of Molecular Sciences**, v.23, n.4, p.2228, 2022.
- BARTOLI, C.G.; SIMONTACCHI, M.; TAMBUSI, E.; BELTRANO, J.; MONTALDI, E.; PUNTARULO, S. Drought and watering-dependent oxidative stress: effect on antioxidant content in *Triticum aestivum* L. Leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.50, n.322, p.375-383, 1999.

BART, S.; PELOSI, C.; BARRAUD, A.; PÉRY, A. R.; CHEVIRON, N.; GRONDIN, V.; MOUGIN, C.; CROUZET, O. Earthworms mitigate pesticide effects on soil microbial activities. **Frontiers in Microbiology**, v.10, p.1535, 2019.

BATES, L.S.; WALDREN, R.P.; TEARE, J.D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v.39, p.205-207, 1973.

BHATTACHARYA, A. Effect of soil water deficit on growth and development of plants: a review. **Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants**, p.393-488, 2021.

BOGATI, K.; WALCZAK, M. The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. **Agronomy**, v.12, n.1, p.189, 2022.

BOTHA, A. The importance and ecology of yeasts in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.43, n.1, p.1–8, 2011.

BOULNOIS, L. **The silk road**. New York: Dutton, 1966.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio – Brasil 2019/20 a 2029/30 Projeções de Longo Prazo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2020. p.35-40.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 4954 de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de Fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, DF, 2004.

BU, L.; ZHANG, R.; HAN, M.; XUE, J.; CHANG, Y. The physiological mechanism of compensation effect in maize leaf by re-watering after draught stress. **Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica**, v.18, n.2, p.88-92, 2009.

CABALLERO, P.; MACÍAS-BENÍTEZ, S.; MOYA, A.; MORGADO, B.; MARTÍN, L.; TEJADA, M.; CASTAÑO, A.; RUBIO, J. Biochemical and Microbiological Soil Effects of a Biostimulant Based on Bacillus licheniformis-Fermented Sludge. **Agronomy**, v.12, n.8, p.1743, 2022.

CAICEDO-LOPEZ, L. H.; ARANDA, A. L. V.; MÁRQUEZ, E. E.; GÓMEZ, C. E. Z.; ROMERO-ZEPEDA, H. Elicidores: implicaciones bioéticas para la agricultura y la salud humana. **Revista Bioética**, v.29, n.1, 2021.

CAMARGO, A.; FREITAS, C.P.; MADERS, L.R.; SOSTER, M.T.B. A Influência do ácido salicílico no desenvolvimento inicial do trigo. **Perspectiva**, v.46, n.175, p.7-13, 2022.

CAPRISTO, D.P. **Atributos químicos, físicos e biológicos do solo e produtividade da soja após sistemas de renovação de pastagem**. 2022. 55f.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

CARLIN, S. D.; RHEIN, A. F. L.; SANTOS, D. M. M. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.2, p.553-564, 2012.

CATUCHI, T. A.; VÍTOLO, H. F.; BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciência Rural**, v.41, n.3, p.373–378, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2023**. Segundo levantamento. Brasília, v.10, n.6, p.70-82, mar. 2023.

COSTALES, D.; FALCÓN, A.B.; NÁPOLES, M.C.; WINTER, J.; GERBAUX, P.; ONDERWATER, R.C.A.; WATTIEZ, R.; CABRERA, J.C. Effect of Chitosaccharides in Nodulation and Growth in Vitro of Inoculated Soybean. **American Journal of Plant Sciences**, v.7, p.1380-1391, 2016.

CHAUDHARY, J.; SHIVARAJ, S. M.; KHATRI, P.; YE, H.; ZHOU, L.; KLEPADLO, M.; DHAKATE, P.; KUMAWAT, G.; PATIL, G.; SONAH, H.; RATNAPARKHE, M.; DESHMUKH, R.; NGUYEN, H. T. Approaches, applicability, and challenges for development of climate-smart soybean. **Genomic designing of climate-smart oilseed crops**, p.1-74, 2019.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.283–288, 2006.

DANTAS, J. P. S. Perfil de extração de água do solo pela cultura de soja de alta e baixa produtividade de grãos. 2018. 59f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

DALCIN, J. S. *et al.* Salicylic acid concentrations and its effects on the physiological quality of soybean seeds. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.17, p.271-279, 2019.

DIAS, J.P.T. **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. Belo Horizonte: EdUEMG, 2018, 169p.

DING P.; DING Y. Stories of salicylic acid: a plant defense hormone. **Trends in Plant Science**, v.25, n.6, p.549-565, 2020.

DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. **Plant, Cell & Environment**, v.32, p.1682-1694, 2009.

DONG, S.; JIANG, Y.; DONG, Y.; WANG, L.; WANG, W.; MA, Z.; YAN, C.; MA, C.; LIU, L. A study on soybean responses to drought stress and rehydration. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.26, n.8, p.2006-2017, 2019.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento dos cultivos**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p.

DUTRA, W. F.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; DUTRA, A. F.; SILVA, D. C.; MAIA, J. M. Antioxidative responses of cowpea cultivars to water deficit and salicylic acid treatment. **Agronomy Journal**, v.109, n.3, p.895-905, 2017.

EIVAZI, F.; MULLINGS, N.; BANKS, M.-L. Effect of select surfactants on activities of soil enzymes involved in nutrient cycling. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.49, n.3, p.371–37, 2018.

FALIH, A. M.; WAINWRIGHT, M. Nitrification, S-oxidation and P-solubilization by the soil yeast *Williopsis californica* and by *Saccharomyces cerevisiae*. **Mycological Research**, v.99, n.2, p. 200–204, 1995.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.23, n.4, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p.36-41, 2008.

FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; PINHO, O.; VIEIRA, E.; TAVARELA, J. G. BREWER'S *Saccharomyces* yeast biomass: characteristics and potential applications. **Trends in food science & technology**, v.21, n.2, p.77-84, 2010.

GAO, J.; WANG, N.; LI, Y.; WANG, Y.; WANG, J. Influence of *Saccharomyces cerevisiae* on gas exchange and yield attributes in rice under drought conditions, **Biological Agriculture & Horticulture**, v.30, n.1, p.52-61, 2014.

GAO, J.; WANG, N.; ZHANG, G.; YAN, Y.; WANG, G.; ZHANG, S. Influences of *Saccharomyces cerevisiae* on gas exchange and water-use efficiency in *Vicia faba* L. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.31, n.12, p.902–909, 2020.

HADI, H.; NAJAFABADI, A.; AMIRNIA, R. Comparison of different treatment methods of salicylic acid on some physiological traits of white bean under salinity stress. **Cercetări Agronomice în Moldova**, v.47, n.3, p.97-105, 2014.

HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M.; CORDERO-BUESO, G.; RUIZ-MUÑOZ, M.; CANTORAL, J.M. Culturable Yeasts as Biofertilizers and Biopesticides for a Sustainable Agriculture: A Comprehensive Review. **Plants**, v.10, n.5, p.822, 2021.

HEIL, M. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens- a promising field for ecological research. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.4, p.65-79, 2001.

HEUER, B. Role of proline in plant response to drought and salinity. **Handbook of plant and crop stress**. Boca Raton: CRC Press, 2010. p.213-238.

HIRAKURI, M. H. Perdas econômicas geradas por estresses bióticos e abióticos na produção brasileira de soja no período 2016-2020. **Embrapa Soja-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 2021.

HU, W.; RAN, J.; DONG, L.; DU, Q.; JI, M.; YAO, S.; DENG, J. Aridity-driven shift in biodiversity–soil multifunctionality relationships. **Nature Communications**, v.12, n.1, p.5350, 2021.

HUESO, S.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. Severe drought conditions modify the microbial community structure, size and activity in amended and unamended soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.50, p.167-173, 2012.

HUSSAIN, S.; HUSSAIN, S.; QADIR, T.; KHALIQ, A.; ASHRAF, U.; PARVEEN, A.; RAFIQ, M. Drought stress in plants: An overview on implications, tolerance mechanisms and agronomic mitigation strategies. **Plant Science Today**, v.6, n.4, p.389-402, 2019.

HYMOWITZ, T.; SHURTLEFF, W. R. Debunking Soybean Myths and Legends in the Historical and Popular Literature. **Crop Science. Madison**, v.45, p.473-476, 2005.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola - estatística da produção agrícola. **Indicadores IBGE**, Brasília, p.106, 2023.

JAISWAL, A.; PANDURANGAM, V.; SHARMA, S. K. Effect of salicylic acid in soybean (*Glycine max* L. Meril) under salinity stress. **The Bioscan**, v.9, n.2, p.671-676, 2014.

JAMIOŁKOWSKA, A. Natural compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies **Agronomy**, v.10, n.2, p.173, 2020.

JOCHUM, M.; MCWILLIAMS, K. M.; BORREGO, E.; KOLOMIETS, M.; NIU, G.; PIERSON, E.; JO, Y. K. Bioprospecting plant growth-promoting rhizobacteria that mitigate drought stress in grasses. **Frontiers in microbiology**, v.10, p.2106, 2019.

KANG, S.M.; RADHAKRISHNAN, R.; YOU, Y.; KHAN A. L.; PARK, J.; LEE, S.; LEE, I. Cucumber performance is improved by inoculation with plant growth-promoting microorganisms. **Soil & Plant Science**, v.65, n.1, p.36-44, 2015.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2008. p.299-300.

KHAN, M. I. R.; FATMA, M.; PER, T. S.; ANJUM, N. A.; KHAN, N. A. Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.462, 2015.

KOENTJORO, K.; PURWANTO, E.; PURNOMO, D. The role of silicon on content of proline, protein and abscisic acid on soybean under drought stress. **The 7th International Conference on Sustainable Agriculture and Environment**, v.637, p. 012086, 2021.

KOUR, D.; RANA, K. L.; YADAV, A. N.; YADAV, N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; SAXENA, A. K. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 101487, 2019.

KULKARNI, K.; BHOGALE, G.M.; NALAWADE, R. Adsorptive removal of fluoride from water samples using Azospirillum biofertilizer and lignite. **Korean Journal of Chemical Engineering**. n.35, p.153–163, 2018.

LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**, v.25, n.3, p.185-190, 2009.

LIMA, G.P.P.; BRASIL, O.G.; OLIVEIRA, A. M. Polyamines and peroxidase activity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under saline stress. **Scientia Agricola**, v.56, n.1, p.21-26, 1999.

LIMA, L. D.; BARBOSA, J. M. P.; MEDEIROS, M. B. C. L.; OLIVEIRA, M.; CARVALHO, J. S. B.; MOREIRA, K. A. Avaliação bioquímica e fisiológica em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) submetida ao indutor de resistência acibenzolar-s-metil. **Diversitas Journal**, v.5, n.4, p. 2374–2393, 2020.

LION, B.; ZHOU, X.; MIRANSARI, M.; SMITH, D.L. Effects of salicylic acid on the development and root nodulation of soybean seedlings. **Journal and Agronomy & Crop Science**, v.185, p.187-192, 2000.

LIU, H.; ZHANG, Y. H.; YIN, H.; WANG, W. X.; ZHAO, X. M.; DU, Y. G. Alginate oligosaccharides enhanced *Triticum aestivum* L. tolerance to drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.62, p.33-40, 2013.

LIU, J.; QIU, G.; LIU, C.; LI, H.; CHEN, X.; FU, Q.; GUO, B. Salicylic acid, a multifaceted hormone, combats abiotic stresses in plants. **Life**, v.1, n.6, p.886, 2022.

LYNCH, J. M.; WHIPPS, J. M. Substrate flow in the rhizosphere. **The Rhizosphere and Plant Growth**, v.129, p.1–10, 1991.

MACIAS-BENITEZ, S.; GARCIA-MARTINEZ, A. M.; CABALLERO JIMENEZ, P.; GONZALEZ, J. M.; TEJADA MORAL, M.; PARRADO RUBIO, J. Rhizospheric organic acids as biostimulants: monitoring feedbacks on soil microorganisms and biochemical properties. **Frontiers in Plant Science**, v.11, p.633, 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MAURYA, S.; ABRAHAM, J. S.; SOMASUNDARAM, S.; TOTEJA, R.; GUPTA, R.; MAKHIJA, S. Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.192, p.1-22, 2020.

MEDINA, I. R.; ROCHA, G. H.; PEREIRA, E. Ajustes fotossintéticos e concentração de prolina provavelmente estão ligados à memória de estresse em soja exposta à seca recorrente. **Ciência e Agrotecnologia**, v.47, p.e015322, 2023.

MEENA, M.; DIVYANSHU, K.; KUMAR, S.; SWAPNIL, P.; ZEHRA, A.; SHUKLA, V.; UPADHYAY, R.S. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. **Heliyon**, v.5, p.e02952, 2019.

MELO, N. F. Introdução aos hormônios e reguladores de crescimento vegetal. *In*: SEMINÁRIO CODA DE NUTRIÇÃO VEGETAL. **Anais [...]**. Petrolina, PE, Brasil, 2002.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; ALVES, C. L. A. Indicadores de qualidade biológica para manejo sustentável de solos arenosos. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Desafios para o Manejo de Solos Arenosos**, v.44, n.1, p.20-25, 2018.

MOHAMMADI, K.; SOHRABI, Y. Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review. **ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science**, v.7, n.5, p.307-316, 2012.

MUKHERJEE, A.; VERMA, J. P.; GAURAV, A. K.; CHOUHAN, G. K.; PATEL, J. S.; HESHAM, A. E. L. Yeast a potential bio-agent: future for plant growth and postharvest disease management for sustainable agriculture. **Applied microbiology and biotechnology**, v.104, p.1497-1510, 2020.

MWENYE, O. J., VAN RENSBURG, L., VAN BILJON, A., VAN DER MERWE, R. The role of proline and root traits on selection for drought-stress tolerance in soybeans: a review. **South African Journal of Plant and Soil**, v.33, n.4, p.245-256, 2016.

NASCIMENTO, V. L., SOUZA, B. C., LOPES, G., GUILHERME, L. R. On the role of iodine in plants: A commentary on benefits of this element. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 836835, 2022.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino. **Revista Ciência Agrônômica**, v.44, n.1, p.76–85, 2013.

OLIVEIRA, K.; NASCIMENTO, G.; BRIZOLA, D.; OLIVEIRA, T.; ALMEIDA, A.; OLIVEIRA, M. Análise de atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de manejo e profundidades pelo método de hidrólise de diacetato de fluoresceína. *In*: Embrapa Soja-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In*: **Jornada Acadêmica Da Embrapa Soja**, 9. Londrina. Resumos expandidos. Londrina: Embrapa Soja, p.50-56, 2014.

OLIVEIRA, S. A.; ANDRADE, S. R. M.; MACHADO, A. V. C.; RODRIGUES, L. N. Efeito do estresse hídrico em cultivo de soja. *In*: EMBRAPA CERRADOS - RESUMO EM ANAIS DE CONGRESSO (ALICE). CONGRESSO ONLINE PARA AUMENTO DA PRODUTIVIDADE DE MILHO E SOJA. **Anais [...]**. Santa Maria, 2020.

OLIVEIRA, F. G.; HOJO, E.T.D.; GHELLER, J. A.; SANTOS, B. M.; SANTOS, T. G.; CORREIA JUNIOR, E. O.; MEIRA, R.J.R. Avaliação do indutor de resistência e sua influência nos parâmetros de sanidade da cultura da soja. **Mercado e Pesquisa**, 2021.

PATRA, B.; SINGH, J. A review: usage of biofertilizer in cereal crops. **Current Journal of Applied Science and Technology**, p.1-8, 2019.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. New York: Academic Press, 2015.

PIETERSE, C. M.; VAN LOON, L. NPR1: the spider in the web of induced resistance signaling pathways. **Current Opinion in Plant Biology**, v.7, n.4, p. 456–464, 2004.

PIETERSE, C. M.; ZAMIOUDIS, C.; BERENDSEN, R. L.; WELLER, D. M.; VAN WEES, S. C.; BAKKER, P. A. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v.52, 2014.

POLYAK, Y. M.; BAKINA, L. G.; CHUGUNOVA, M. V.; MAYACHKINA, N. V.; GERASIMOV, A. O.; BURE, V. M. Effect of remediation strategies on biological activity of oil-contaminated soil-A field study. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.126, p.57-68, 2018.

POÓR, P.; GÉMES, K.; HORVÁTH, F.; SZEPESI, Á.; SIMON, M.L.; TARI, I. Salicylic acid treatment via the rooting medium interferes with stomatal response, CO₂ fixation rate and carbohydrate metabolism in tomato, and decreases harmful effects of subsequent salt stress. **Plant Biology**, v.13, n.1, p.105–114, 2011.

RAINIERI, S.; ZAMBONELLI, C.; KANEKO, Y. *Saccharomyces sensu stricto*: Systematics, genetic diversity and evolution. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v.96, n.1, p.1–9, 2003.

RASHEED, A.; MAHMOOD, A.; MAQBOOL, R.; ALBAQAMI, M.; SHER, A.; SATTAR, A.; BAKHSH, G.; NAWAZ, M.; HASSAN, M.U.; AL-YAHYAI, R.; AAMER, M.; LI, H.; WU, Z. Key insights to develop drought-resilient soybean: a review. **Journal of King Saud University – Science**, v.34, n.5, 102089, 2022.

REPKE, R. A.; SILVA, D. M. R.; SANTOS, J. C. C.; SILVA, M. A. Alleviation of Drought Stress in Soybean by Applying a Biostimulant Based on Amino Acids and Macro- and Micronutrients. **Agronomy**, v.12, n.10, p.2244, 2022.

SAYER, E. J.; CRAWFORD, J. A.; EDGERLEY, J.; ASKEW, A. P.; HAHN, C. Z.; WHITLOCK, R.; DODD, I. C. Adaptation to chronic drought modifies soil microbial community responses to phytohormones. **Communications Biology**, v.4, n.1, p.516, 2021.

SAMUEL, A. D.; BREJEA, R.; DOMUTA, C.; BUNGAU, S.; CENUSA, N.; TIT, D. M. Enzymatic indicators of soil quality. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, v.18, n.3, p.871-878, 2017.

SCHAAP, K. J.; FUCHSLUEGER, L.; HOOSBEEK, M. R.; HOFHANSL, F.; MARTINS, N. P.; VALVERDE-BARRANTES, O. J.; QUESADA, C. A. Litter inputs and phosphatase activity affect the temporal variability of organic phosphorus in a tropical forest soil in the Central Amazon. **Plant and Soil**, v.469, p.423-441, 2021.

SHARMA, M.; GUPTA, S. K.; MAJUMDER, B.; MAURYA, V. K.; DEEBA, F.; ALAM, A.; PANDEY, V. Proteomics unravel the regulating role of salicylic acid in soybean under yield limiting drought stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.130, p.529-541, 2018.

SILVA, R. F.; BATISTELLA, M.; MORAN, E.; CELIDONIO, O. L. D. M.; MILLINGTON, J. D. The soybean trap: challenges and risks for Brazilian producers. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, p.12, 2020.

SINGH, A.; ROYCHOUDHURY, A. Salicylic acid-mediated alleviation of fluoride toxicity in rice by restricting fluoride bioaccumulation and strengthening the osmolyte, antioxidant and glyoxalase systems. **Environmental Science and Pollution Research**, v.30, n.10, p.25024-25036, 2023.

SLAMA, I.; GHNAYA, T.; SAVOURÉ, A.; ABDELLY, C. Combined effects of long-term salinity and soil drying on growth, water relations, nutrient status and proline accumulation of *Sesuvium portulacastrum*. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, n.6, p.442-451, 2008.

SPRING, P.; WENK, C.; DAWSON, K. A.; NEWMAN, K. E. The effects of dietary mannaoligosaccharides on cecal parameters and the concentrations of enteric bacteria in the ceca of salmonella-challenged broiler chicks. **Poultry science**, v.79, n.2, p.205-211, 2000.

SOARES, M. R. C.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Induction of resistance to *Meloidogyne graminicola* in rice. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.43, n.1, p.108-117, 2021.

SOUZA MOREIRA, F. M.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Ed. UFLA, 2002.

TEIXEIRA, W. F. **Avaliação do uso de aminoácidos na cultura de soja**. 2016. 158f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2016.

TRIPATHI, P.; RABARA, R. C.; SHULAEV, V.; SHEN, Q. J.; RUSHTON, P. J. Understanding water-stress responses in soybean using hydroponics system – a systems biology perspective. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.1145, 2015.

TKALEC, M.; VINKOVIĆ, T.; BALIČEVIĆ, R.; PARADIKOVIĆ, N. Influence of biostimulants on growth and development of bell pepper (*Capsicum annuum L.*). **Acta Agriculturae Serbica**, v.15, n.29, p.83-88, 2010.

TWAMLEY, T.; GAFFNEY, M.; FEECHAN, A. A microbial fermentation mixture primes for resistance against powdery mildew in wheat. **Frontiers in Plant Science**, v.10, n.1241, 2019.

USDA. World Agricultural Production. **Circular Series WAP**, p.3-23 march, 2023.

VASCONCELOS, A. C. F. D.; ZHANG, X.; ERVIN, E. H.; KIEHL, J. D. C. Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. **Scientia Agricola**, v.66, p.395-402, 2009.

WANG, M.; CHEN, Y.; ZHANG, R.; WANG, W.; ZHAO, X.; DU, Y.; YIN, H. Effects of chitosan oligosaccharides on the yield components and production quality of different wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) in Northwest China. **Field Crops Research**, v.172, n.15, p.11-20, 2015.

WU, Z.; ZHANG, Y. Effects of exogenous auxin on physiological and biochemical characteristics of soybean under PEG simulated drought stress. **Hubei Agricultural Sciences**, v.58, n.6, p.16, 2019.

YAN, S.; DONG, X. Perception of the plant immune signal salicylic acid. **Current opinion in plant biology**, v.20, p. 64-68, 2014.

YURKOV, A. M. Yeasts of the soil – obscure but precious. **Yeast**, n.35, p.369–378, 2018.

ZANG, H.; XIE, S.; ZHU, B.; YANG, X.; GU, C.; HU, B.; GAO, T.; CHEN, Y.; GAO, X. Mannan oligosaccharides trigger multiple defence responses in rice and tobacco as a novel danger-associated molecular pattern. **Molecular Plant Pathology**, v.20, n.8, p.1067-1079, 2019.

ZILLI, M.; SCARABELLO, M.; SOTERRONI, A. C.; VALIN, H.; MOSNIER, A.; LECLERE, D.; RAMOS, F. M. The impact of climate change on Brazil's agriculture. **Science of the Total Environment**, v.740, p.139384, 2020.