

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**RAFAEL TADEU DOS SANTOS**

**EFEITO DA INOCULAÇÃO DE *Rhodopseudomonas palustris* SOBRE OS  
PROCESSOS MORFOFISIOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA**

**ALFENAS/MG**

**2023**

**RAFAEL TADEU DOS SANTOS**

**EFEITO DA INOCULAÇÃO DE *Rhodopseudomonas palustris*  
SOBRE OS PROCESSOS MORFOFISIOLÓGICOS NA CULTURA DA SOJA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza

Coorientadora: Dra. Daniele Maria Marques

**ALFENAS/MG**

**2023**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Santos, Rafael Tadeu dos.

Efeito da inoculação de *Rhodopseudomonas palustris* sobre os processos morfológicos na cultura da soja / Rafael Tadeu dos Santos. - Alfenas, MG, 2023.

55 f. : il. -

Orientador(a): Thiago Corrêa de Souza.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Glycine max L.; . 2. Promotores de crescimento. 3. Rizobactérias. 4. Bactérias roxas. I. de Souza, Thiago Corrêa, orient. II. Título.

## RAFAEL TADEU DOS SANTOS

“*Rhodopseudomonas palustris* nos aspectos morfofisiológicos e produtivos de plantas de soja ”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 31 de março de 2023.

Prof. Dr. Thiago Corrêa de Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)

Prof. Dr. Adriano Bortolotti da Silva

Instituição: Universidade Professor Edson Antônio Velano (UNIFENAS)

Prof. Dr. Plínio Rodrigues dos Santos Filho Instituição:

Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL)



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Corrêa de Souza**, Professor do Magistério Superior, em 31/03/2023, às 16:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **adriano Bortolotti da Silva**, Usuário Externo, em 03/04/2023, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Plínio Rodrigues dos Santos Filho**, Professor do Magistério Superior, em 04/04/2023, às 14:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 0944849 e o código CRC 981A31BE.

*A minha minha mãe Maria Antonia, pelo  
exemplo de vida, de força e de caráter!*

*Dedico!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora Aparecida, por me permitir ter tranquilidade, força e sabedoria nos momentos mais difíceis.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Thiago Correa de Souza pela disponibilidade, oportunidade, confiança e colaboração no enriquecimento deste trabalho.

À Dra. Daniele Maria Marques, co-orientadora, por todo o apoio, incentivo e cobranças positivas durante a condução da pesquisa, ao Prof. Dr. Adriano Bertolotti da Silva, e Prof. Dr. Plinio, membros da banca de qualificação e defesa pelas considerações e ajustes realizados os quais serviram para enriquecimento do trabalho.

Às colaboradoras Janaina Piza, Rodrigo Almeida Bastos, Willian de Jesus pela ajuda durante a realização da pesquisa, e a todos os voluntários que participaram com muita disposição e dedicação, enriquecendo com seus conhecimentos a minha formação profissional.

A minha esposa, amiga e confidente Thais, que é meu apoio nos momentos mais difíceis e minha parceira nos momentos de alegria, sem ela nada disso seria possível e a maior incentivadora em participar do programa de mestrado e ao meu filho Vicente, que a razão de todas as minhas ações e da minha vida. Agradeço à toda minha família que mais uma vez estava disposta a me apoiar e me acolher, minha mãe que sempre acredita nas minhas escolhas e nunca deixa que eu desista delas.

Agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho Erich, Geraldo, Rodrigo e Fernando, que me incentivaram, me permitiram em algumas situações dividir o tempo de trabalho com as obrigações do mestrado e fizeram parte de todas as etapas da pesquisa.

E um agradecimento especial a Universidade Federal de Alfenas, seus professores e funcionários, que me permitiram viver a vida acadêmica e científica.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

## RESUMO

A busca pelo aumento de produtividade na cultura da soja tem sido tema importante, pois levantamentos indicam um crescimento significativo da população mundial nos próximos anos, elevando consideravelmente o consumo per capita de alimentos. A soja se destaca por ser uma fonte vegetal de proteína de baixo custo, por isso é utilizada como matéria prima na indústria alimentícia humana e animal. A agricultura brasileira apoiada pela ciência, veem apresentado bons resultados no aumento de produtividade, porém ainda existem desafios para atingir esse propósito. Podemos citar como umas das principais, as constantes oscilações climáticas. Nesse contexto, a busca por microrganismos com capacidade de propiciar melhores condições para as plantas cultivadas em condições adversas, tem se mostrado como uma estratégia interessante, pois além de proporcionar melhor desenvolvimento das plantas, são produtos que apresentam baixo impacto ambiental e com menor custo de produção, quando comparados com reguladores sintéticos. Logo a *Rhodopseudomas palustris*, possui características de alta versatilidade e adaptabilidade, com potencial de melhorar o desenvolvimento das plantas de soja, de forma que melhores respostas sejam obtidas durante os períodos de oscilações climáticas. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar os efeitos morfofisiológicos, bioquímicos e produtividade da soja com a aplicação da bactéria fotossintetizante *Rhodopseudomas palustris*. O experimento foi conduzido em condição de campo em delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram 1S - bactérias aplicadas direto no sulco de plantio (1,0 L/ha), 1S1L - bactérias aplicadas direto no sulco de plantio (1,0 L/ha) mais duas aplicações foliares em V6 – vegetativo e R1 – início do florescimento (1,0 L/ha), 1L - Aplicação foliar na fase V6 – vegetativo (1,0 L/ha), 2L - Duas aplicações foliares uma em V6 – vegetativo e outra em R1 – início do florescimento (1,0 L/ha), 3L - Três aplicações foliares uma em V6 – vegetativo, em R1 – início do florescimento e em R3 – formação das primeiras vagens (1,0 L/ha). Foram avaliados os parâmetros morfométricos, trocas gasosas, teores de biomoléculas, massa de mil grãos e produtividade. A taxa fotossintética nas fases iniciais da soja foi maior quando utilizado a *R. palustris*. A inoculação com o 1L proporcionou maior altura das plantas.

Teores de amido, proteína e aminoácidos nas folhas e grãos também foram positivos com a aplicação da bactéria. A aplicação da bactéria *R. palustris* no tratamento 1L promoveu alterações benéficas nos parâmetros morfofisiológicos e qualitativos nos grãos, como aminoácidos amido e proteína, porém não foi observado incremento de produtividade na cultura da soja.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; promotores de crescimento; rizobactérias; bactérias roxas.

## ABSTRACT

The search for increased productivity in the soybean crop has been an important topic, as surveys indicate a significant growth in the world's population in the coming years, considerably increasing per capita consumption of food. Soy stands out as a low-cost vegetable source of protein, which is why it is used as a raw material in the human and animal food industry. Brazilian agriculture supported by science has shown good results in increasing productivity, but there are still challenges to achieve this purpose. We can mention as one of the main ones, the constant climatic oscillations. In this context, the search for microorganisms capable of providing better conditions for plants grown in adverse conditions has proven to be an interesting strategy, as in addition to providing better plant development, they are products that have a low environmental impact and lower production cost, when compared to synthetic regulators. Therefore, *Rhodopseudomas palustris* has characteristics of high versatility and adaptability, with the potential to improve the development of soybean plants, so that better responses are obtained during periods of climatic oscillations. In this sense, the objective of this work was to analyze the morphophysiological, biochemical and productivity effects of soybean with the application of the photosynthetic bacteria *Rhodopseudomas palustris*. The experiment was conducted under field conditions in a randomized block design with six treatments and five replications. The treatments were 1S - bacteria applied directly in the planting furrow (1.0 L/ha), 1S1L - bacteria applied directly in the planting furrow (1.0 L/ha) plus two foliar applications in V6 – vegetative and R1 – beginning of flowering (1.0 L/ha), 1L - Foliar application in phase V6 – vegetative (1.0 L/ha), 2L - Two foliar applications, one in V6 – vegetative and the other in R1 – beginning of flowering (1, 0 L/ha), 3L - Three foliar applications, one in V6 – vegetative, in R1 – beginning of flowering and in R3 – formation of the first pods (1.0 L/ha). Morphometric parameters, gas exchange, biomolecule content, thousand-grain mass and productivity were evaluated. The photosynthetic rate in the initial stages of soybean was higher when *R. palustris* was used. Inoculation with 1L provided greater plant height. Starch, protein and amino acid contents in the leaves and grains were also positive with the application of the bacteria. The application of the bacteria *R.*

*palustris* in the 1L treatment promoted changes in the morphophysiological and qualitative parameters in the grains, such as starch and protein amino acids, but no increase in productivity was observed in the soybean crop.

Keywords: *Glycine max* L; growth promoters; *Rhizobacteria*; purple bacteria.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>13</b>
2.1	CULTURA DA SOJA .....	13
2.2	MORFOLOGIA DA SOJA .....	14
2.3	BIORREGULADORES E BIOESTIMULANTES .....	16
2.4	UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO .....	17
2.5	<i>Rhodopseudomonas palustris</i> .....	18
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>
	<b>Rhodopseudomonas palustris MELHORA OS ASPECTOS FISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DE GRÃOS DE PLANTAS DE SOJA .....</b>	<b>29</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
2.1	ANÁLISES FITOTÉCNICAS E TROCAS GASOSAS .....	36
2.2	ANÁLISE DE BIOMOLÉCULAS NAS FOLHAS E GRÃOS .....	36
2.3	ANÁLISES DOS DADOS .....	37
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Consolidada como uma das principais commodities do mundo, a soja (*Glycine max* L. Merrill), é um dos principais produtos da agricultura brasileira (BEZERRA *et al.*, 2015). Pela sua grande importância econômica e política no mundo, apresentando alta competitividade entre os países produtores desta cultura. Neste sentido, as flutuações econômicas nas últimas safras e aumento na demanda de alimentos, vem estimulando o produtor de soja a ser mais eficiente, buscando o aumento de produtividade e rentabilidade de suas lavouras (BIANCHI *et al.*, 2022).

Os fatores de produção responsáveis por afetar a produtividade e qualidade da soja, podem ser divididos em: genéticos (genótipo, fenótipo e transgenia); ambientais (bióticos e abióticos) (SANTOS *et al.*, 2017). O melhoramento genético, manejo de construção de um melhor perfil químico, físico e biológico do solo são estratégias utilizadas para minimizar as quebras de produtividade causadas pelos fatores ambientais (LONDERO *et al.*, 2020; NOVAKOWISKI *et al.*, 2011). Tem sido intensificado uso de tecnologias, como os bioestimulantes, de origem vegetal, animal ou biológica, como medidas momentâneas. Estes insumos possibilitam a planta expressar seu potencial genético (RAMOS; BINOTTI, 2012).

Um método promissor para reduzir os efeitos ambientais negativos é a aplicação de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP). Alguns desses microrganismos atuam colonizando as raízes das plantas, outros são organismos de vida livre que podem direta ou indiretamente ser um suporte para o desenvolvimento e o crescimento das plantas (KAUSHAL; WANI, 2016). A eficácia das BPCP foi validada em várias avaliações de estufa e campo com numerosas espécies de plantas, e muitos inoculantes comerciais têm sido usados na produção agrícola. Além de ir de encontro com a busca por novas tecnologias, de origem biológicas, não tóxicos e seguros, que se tornou tendência na produção agrícola mundial (BHATTACHARYYA, 2012).

Acredita-se que a promoção do crescimento vegetal causada com a aplicação das BPCPs, resulte da combinação de vários mecanismos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos. Podendo ser desencadeada por eventos como a produção de fitormônios e fixação biológica de nitrogênio (FBN) (MARTINS *et al.*, 2016; ZEFFA *et al.*, 2019). Devido a grandeza e diversidade da comunidade microbiana, existe grande potencial a ser explorado, sendo altamente desejável descobrir novo gênero

bacteriano promissor para aumentar o crescimento das plantas. (BASHAN; BASHAN, 2010).

Um novo gênero que tem atraído atenção da comunidade de pesquisa é a *Rhodopseudomonas palustris* (*R. palustris*), estas bactérias já são utilizadas na agricultura, porém ainda é escasso o conhecimento sobre os mecanismos utilizados e a resposta de sua interação com as plantas de soja. Larimer *et al.* (2004), descreveram que a *R. palustris* é uma espécie de bactéria de vida livre do gênero *Rhodopseudomonas*, filo *Proteobacteria*. É uma bactéria roxa não sulfurosa (PNSB), e se destaca por uma versatilidade e flexibilidade única na alternância entre quatro modos de metabolismo. Esses metabolismos são quimioautotróficos, fotoautotróficos, quimioheterotróficos e fotoheterotróficos, que permitem que o microrganismo cresça em vários modos de cultivo e habitats (SAKARIKA *et al.*, 2020).

Algumas funções benéficas de *R. palustris* incluem fixação de nitrogênio, remediação de metais pesados, mitigação de emissão de metano em arrozais salinos, produção de substâncias que promovem o crescimento de plantas, como ácido indol-3-acético (AIA) (WONG *et al.*, 2014) e ácido 5-aminolevulínico (ALA) e produção de substâncias exopoliméricas (EPS), que ajudam a adsorver íons de sódio (BATOOL *et al.*, 2017; KANTHA *et al.*, 2010; KANTHA *et al.*, 2015; NUNKAEW *et al.*, 2015b; WONG *et al.*, 2014). Essas substâncias contribuem para estimular o crescimento das plantas e melhorar a resistência aos estresses ambientais.

Por estes atributos, a hipótese foi verificar se a *R. palustris* é capaz de interferir positivamente no desenvolvimento das plantas de soja, gerar incremento de produtividade e qualidade dos grãos através de seus compostos metabólicos e interação com as plantas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a resposta de diferentes aplicações de *Rhodopseudomonas palustris* na cultura da soja e seus efeitos sobre as características morfofisiológicas, bioquímicas e na produtividade da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CULTURA DA SOJA

De acordo com o Observatory of Economic Complexity (OEC, 2021), a soja está entre os 60 produtos mais comercializados, ocupando a 52ª posição. Dessa maneira, fica claro a importância deste cereal no cenário mundial, sendo grande gerador de renda e desenvolvimento para os estados produtores. Por ter se consolidado como uma das principais fontes de proteína vegetal de baixo custo, a cultura da soja se tornou a principal matéria prima de inúmeros produtos da indústria alimentícia e base para alimentação animal. Assim, a soja se destaca como uma das mais importantes culturas para as economias mundiais e uma das principais commodities comercializadas (KOESTER *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2011).

Registros históricos apontam cultivos experimentais de soja na Bahia em 1882, porém a expansão da cultura da soja no Brasil aconteceu na década de 70, quando a indústria de óleo começou a ser ampliada e aconteceu o aumento da demanda internacional pelo grão. Assim, iniciaram os trabalhos comerciais em grande escala da sojicultura. Esta cultura foi oficialmente introduzida na região Sul do Brasil, pois o estado apresenta condições climáticas similares às das regiões produtoras nos Estados Unidos. Deste modo, foram utilizadas plantas americanas oriundas do Sul dos EUA, que eram adaptadas a latitudes entre 22 e 30° S (SPECHT *et al.*, 2014). Porém, os primeiros genótipos cultivados não eram adaptados às regiões de baixas latitudes, pois o fotoperíodo curto causava florescimento precoce, reduzindo o desenvolvimento das plantas e comprometendo a produtividade de grãos (ALMEIDA *et al.*, 1999).

O principal desafio para os melhoristas foi desenvolver cultivares adaptadas às condições de dias curtos. Isso só foi possível com a identificação e entendimento do período juvenil da cultura, de modo que fosse possível retardar o florescimento nestas condições (ALMEIDA *et al.*, 1999). Os programas de melhoramento desempenharam papel fundamental no desenvolvimento de cultivares adaptadas para estas regiões. Após o processo de melhoramento das cultivares adaptadas, foi possível realizar o cultivo da soja em outras regiões do Brasil (SPECHT *et al.*, 2014).

As melhorias nas práticas agrônômicas da cultura e da disponibilização de cultivares mais produtivas, tem resultado no aumento da produção nacional a cada

safra, e a cultura tem se tornado uma das mais importantes do agronegócio brasileiro (MIRANDA *et al.*, 2021). O Brasil se mantém como o maior produtor mundial de soja na safra 2021/22 com 125,55 milhões de toneladas (CONAB, 2022), superando a produção de 121,52 milhões de toneladas dos EUA (USDA, 2022). O Brasil também é o maior exportador mundial, com 74,1 milhões de toneladas de grãos exportadas em 2022, o que corresponde a 59% da produção nacional (AGROSTAT, 2021). Em terceiro lugar encontra-se a Argentina, com 44,80 milhões de toneladas produzidas na última safra. Brasil, EUA e Argentina são responsáveis por aproximadamente 80% da produção mundial de soja, que na última safra foi de 355,58 milhões de toneladas (USDA, 2022). Sendo assim, a América do Sul se tornou a maior região produtora em escala global nas últimas décadas, sendo responsável por mais de 50% da soja produzida em todo o mundo.

O aumento de produtividade tem sido observado nas regiões produtoras brasileiras, produtividades acima de 100 sacos tem sido recorrente. Médias altíssimas foram alcançadas pelos campeões do desafio da soja, promovida pelo comitê estratégico soja Brasil – CESB, onde o primeiro lugar, produtor da cidade de Pilar do Sul, no estado de São Paulo com a marca de 7.611 Kg ha<sup>-1</sup>. Porém, a média nacional ainda se encontra em 3026 Kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2022).

## 2.2 MORFOFISIOLOGIA DA SOJA

A soja (*Glycine max*) é uma planta herbácea, incluída na classe Magnoliopsida (Eudicotiledônea), ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, gênero *Glycine* L. Esta planta apresenta como características morfológicas foliares, a formação de quatro tipos de folhas ao longo do seu desenvolvimento, as cotiledonares, folhas primárias ou simples, perfis simples, folhas trifolioladas ou compostas. O caule é ramoso, hispido, com tamanho que varia entre 80 e 150 cm, dependendo da variedade e do tempo de exposição diário à luz (TEJO *et al.*, 2019). O sistema radicular da soja é constituído de um eixo principal e grande número de raízes secundárias, sendo classificado como sistema axial. O comprimento das raízes pode ultrapassar 1,80 m. A soja é essencialmente uma espécie autógama, ou seja, planta de autopolinização (GAZZONI, 2018). O início da floração dá-se quando a planta apresenta de 10 até 12 folhas trifolioladas, onde os botões axilares mostram racemos com inflorescência de 2 até 35 flores.

Esta cultura apresenta grande variabilidade genética, podendo ser de crescimento determinado ou indeterminado. Nos genótipos de crescimento determinado, o florescimento ocorre ao mesmo tempo do terço inferior ao superior das plantas, com pouco crescimento após o florescimento. O tamanho das folhas são semelhantes em toda a planta e apresentam muita vagem no último nó produtivo (FARIAS *et al.*, 2007). Já o florescimento dos genótipos indeterminados, acontece do terço inferior para o terço superior, com o crescimento continuando após o florescimento. As folhas do ápice da planta são menores que as folhas das demais partes, e o último nó produtivo apresenta poucas vagens (NEUMAIER *et al.*, 2007).

O estágio fenológico da soja pode ser dividido em duas fases, vegetativa (V) e reprodutiva (R). Subdivisões da fase vegetativa são designadas numericamente como V1, V2, V3, até Vn, menos os dois primeiros estádios que são designados como VE (emergência) e VC (estádio de cotilédone) (FEHR; CAVINESS, 2017). O último estágio vegetativo é designado como Vn, onde “n” representa o número do último nó vegetativo formado pela cultivar específica. O valor de “n” varia em função das diferenças varietais e ambientais. A fase reprodutiva apresenta oito subdivisões ou estádios R1, R2, R3, R4, (R5, R5.1, R5.2, R5.3, R5.4, R5.5), R6, R7 e R8 (FEHR; CAVINESS, 2017).

Na soja, há grande diversidade de ciclo das cultivares que são semeadas no Brasil. De modo geral, as cultivares disponíveis no mercado brasileiro tem ciclos entre 100 e 160 dias, e podem ser classificados em grupos de maturação precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio, dependendo da região.

Outra característica importante para a escolha da cultivar correta para determinada região e época de plantio, é o fotoperíodo. Essa característica determina a faixa de horas luz necessária para o florescimento das plantas (MUNDSTOCK; THOMAS, 2005). A soja é considerada uma cultura de dias curtos, e isso significa que quando a quantidade de horas luz ultrapassa a faixa de fotoperíodo crítico o florescimento cultura é atrasado e ela permanece em estágio vegetativo. Quando a duração do dia é menor do que o seu fotoperíodo crítico as plantas são induzidas ao florescimento. A sensibilidade ao fotoperíodo varia com o genótipo (RODRIGUES *et al.*, 2001).

Tal como o fotoperíodo, a temperatura também é determinante para o desenvolvimento da cultura. Temperaturas abaixo de 13° C e acima de 40 °C são

inibidores de florescimento e no desenvolvimento das plantas. Temperaturas médias elevadas podem levar a antecipação do florescimento e interferir no processo de enchimento de grãos e esse problema pode ser mais grave se associada a falta de água durante esse período (RODRIGUES *et al.*, 2001; EMBRAPA, 2008).

A demanda hídrica da cultura pode ser alterada por alguns fatores, dentre eles a duração do ciclo da cultivar, de modo geral a cultura da soja demanda entre 450 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup>, com o período de maior demanda hídrica nas fases de florescimento e enchimento de grãos, chegando a necessitar de 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 2007). Déficits hídricos expressivos quando ocorridos durante o florescimento ou enchimento de grãos provocam grandes prejuízos à produtividade devido ao fechamento estomático, enrolamento de folhas que reduzem a taxa fotossintética e a produção de biomassa (GAVA *et al.*, 2015).

### 2.3 BIORREGULADORES E BIOESTIMULANTES

Podemos descrever os biorreguladores, como compostos orgânicos, que tem capacidade de modificar processos morfofisiológicos e que podem promover acréscimos em produtividade na cultura (CASTRO *et al.*, 2016). Segundo El Sabagh *et al.* (2022), pode-se citar como exemplos de biorreguladores os hormônios vegetais, como auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, bloqueadores, inibidores, e outros compostos com efeitos semelhantes aos hormônios, como os brassinolídeos, as poliaminas, o ácido jasmônico e o ácido salicílico.

Compostos como 2,4- diclorofenoxiacético ou 2,4-D e ácido naftalenoacético-NAA, também podem ser citados como reguladores vegetais sintéticos que compõe o grupo das auxinas, ou o ácido indol-3-acético – IAA que é a auxina endógena. Quando aplicados nas plantas agem como hormônios vegetais (SUN *et al.*, 2018).

O uso de reguladores vegetais tem se apresentado como uma ferramenta disponível, o seu uso na agricultura visa minimizar os efeitos dos estresses climáticos como exemplo o déficit hídrico, altas e baixa temperaturas (RADEMACHER, 2015).

Bioestimulantes vegetais são caracterizados como substâncias ou microrganismos, que estimulam o crescimento das plantas e não pertence ao grupo dos nutrientes, corretivos do solo ou pesticidas (DU JARDIM, 2015). Os bioestimulantes possuem a capacidade de atuar na atividade hormonal das plantas,

regulando o seu desenvolvimento e respostas ao ambiente onde estão estabelecidas (LONG, 2019). Portanto, atributos que podem proporcionar aumento em produtividade e qualidade dos grãos, por esses fatores o uso de bioestimulantes vem sendo introduzidos na agricultura (GAZZONI, 2008).

Como exemplos de bioestimulantes podem ser citados quatro grupos principais de substâncias: os aminoácidos e hidrolisados de proteínas, as substâncias húmicas, inóculos, extratos de algas e bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) (DU JARDIM, 2015). Esse último os BPCPs, nos últimos anos tem ganhado uma grande importância nos manejos a campo, pois é uma estratégia de manejo com baixo impacto ambiental e custos baixos comparados aos manejos convencionais. Desta forma, essas características geram estímulos para a disseminação do manejo microbiano na agricultura e busca de mais informações sobre interação microrganismos x planta, principalmente sobre resultados positivos em mitigação de estresses ambientais (FUKAMI *et al.*, 2018).

## 2.4 UTILIZAÇÃO DE BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), apresentam uma série de mecanismos que auxiliam no desenvolvimento de plantas, sejam aplicadas via semente ou via foliar (KUMAR *et al.*, 2016; BULEGON *et al.*, 2016).

Vários estudos estão sendo realizados com o objetivo de entender a interação de plantas com microrganismos na mitigação dos estresses abióticos como oscilações dos regimes pluviais. Segundo Kaushal (2019) e Coelho *et al.* (2017), a mitigação dos efeitos dos estresses hídricos sobre as plantas, são resultados de estímulos e de proteção que os microrganismos exercem sobre as plantas. Efeitos como aumento do número e comprimento das raízes laterais e dos tricomas radiculares, associados a facilitação de aquisição de nutrientes proporcionam ao mesmo tempo maior exploração do perfil dos solos. Além de maiores níveis de nutrientes disponíveis para as plantas que afetam diretamente o desenvolvimento vegetal (NOVO *et al.*, 2018; VACHERON *et al.*, 2013). A atuação dos microrganismos na proteção das plantas é descrita por Saraf *et al.* (2014), como uma série de eventos biológicos que atuam de forma direta e indireta no biocontrole de fitopatógenos por meio da produção de compostos antagonistas ou da indução de resistência sistêmica.

Contudo, destaca-se que os estímulos são variados de acordo com a espécie de bactéria utilizada e a cultura que está sendo estudada. Os principais mecanismos estimulados pelas BPCPs envolvidos na mitigação dos estresses climáticos: produção de hormônios vegetais, atividade antioxidante, aumento da atividade da enzima acc deaminase (modulação de níveis de etileno), pigmentos fotossintéticos e fotoprotetores, fechamento estomático e compostos osmoticamente ativos (NGUMBI; KLOEPPER, 2016; VURUKONDA *et al.*, 2016).

As BPCPs são categorizadas como bactérias de vida livre no solo, podendo ser associativas com seus hospedeiros. Quando essas associações ocorrem, seus hospedeiros podem se beneficiar, como a biossíntese e fornecimento de hormônios vegetais, como auxinas (ácido indol-acético - AIA), que atuam como estimuladores do crescimento em plantas (GALDIANO, 2009). Outro ponto positivo das BPCPs, é sua versatilidade de uso, podendo ser aplicada em diversas fases da cultura, como antes da semeadura e/ou emergência da cultura, ou após a cultura estar formada antes do fechamento das entrelinhas (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

A grande diversidade de espécies e de interações possíveis que a comunidade microbiana apresenta, despertou o interesse da comunidade científica, para busca de novos gêneros bacterianos. Segundo Bashan e Bashan (2010), o crescimento vegetal nas plantas proporcionado pela aplicação das BPCPs, não se trata de uma ação isolada, mas sim de uma combinação de vários mecanismos, entre eles mecanismos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos. Dentro desse grupo de bactérias, destaca-se a *Rhodopseudomonas palustris*.

### 2.5 *Rhodopseudomonas palustris*

Os microrganismos fotoautotróficos têm como características a produção de substâncias que promovem o crescimento das plantas, como fitormônios e vitaminas (KOBAYASHI; KOBAYASHI, 1995; RANA *et al.*, 2016). Assim, cinco grupos de bactérias são capazes de realizar a fotossíntese: bactérias verdes sulfurosas (GSB), bactérias verdes não sulfurosas (GNSB), e cianobactérias, bactérias roxas sulfurosas (PSB) e bactérias roxas não sulfurosas (PNSB) (KOBAYASHI; KOBAYASHI, 1995; RANA *et al.*, 2016).

Bactérias roxas não sulfurosas (PNSB) são microrganismos, que estão sendo cada vez mais estudados na agricultura devido à sua capacidade de produção de

compostos benéficos para o crescimento das plantas. As PNSB apresentam como características e benefícios, o acúmulo de polifosfato, a produção de pigmentos e vitaminas e a produção de substâncias promotoras do crescimento vegetal (BPCPs) (LAI *et al.*, 2017; RANA *et al.*, 2016; WU *et al.*, 2012). Características que influenciam na melhora da fertilização, resistência ao estresse (biótico e abiótico) e benefícios ambientais como aumentar a resistência a estresses ambientais, recuperar áreas contaminadas com metais pesados e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (BATOOL *et al.*, 2017).

As cepas de PNSB mais estudadas são *Rhodopseudomonas* sp. e *Rhodobacter* sp., possuindo alto potencial de produção de ácido indol-3-acético (IAA) e ácido 5-aminolevulínico (ALA) (MANCHESTER *et al.*, 1995). A melatonina, também é sintetizada por alguns PNSB como a *R. rubrum* (MANCHESTER *et al.*, 1995). Outras funções que as PNSB são capazes de realizar, é a fixação de nitrogênio e a solubilização de fosfato (WONG *et al.*, 2014; KANTHA *et al.*, 2015). Além de produzir e/ou acumular produtos metabólicos como biohidrogênio, polihidroxicanoatos, polifosfato, pigmentos protetores como as espiriloxantina, rodopina, okenona e rodopinal, sideróforos, altas quantidades de proteína, quantidades consideráveis de vitaminas essenciais como vitaminas B2, B6, B12, C, E, D e ácido fólico, e substâncias promotoras do crescimento vegetal (BASAK; DAS, 2007; WU *et al.*, 2012; LAI *et al.*, 2017; IMHOFF, 2006; KOBAYASHI; KOBAYASHI, 1995; RANA *et al.*, 2016).

*Rhodopseudomonas palustris* é caracterizada como bactéria fototrófica roxa não sulfurosa que pertence à classe alfa proteobactéria, sendo amplamente distribuída na natureza e diversos ecossistemas (SAKPIROM *et al.*, 2017). Possui versatilidade metabólica e cresce nos quatro modos de metabolismo que sustentam a vida: fotoautotrófico ou fotossintético (energia da luz e carbono do dióxido de carbono), foto-heterotrófico (energia da luz e carbono dos compostos orgânicos), quimio-heterotrófico (carbono e energia de compostos orgânicos) e quimioautotrófica (energia de compostos inorgânicos e carbono de dióxido de carbono) (SAKARIKA *et al.*, 2020). Por apresentar flexibilidade nos modos de metabolismo, ela cresce com ou sem oxigênio e usa muitas formas alternativas de doadores de elétrons inorgânicos, carbono e nitrogênio além de degradar a biomassa vegetal e os poluentes clorados e gerar hidrogênio como produto da fixação de nitrogênio (LARIMER, 2004).

O modo de crescimento foto heterotrófico possui maior taxa de crescimento quando comparado com os foto autotróficos (REY *et al.*, 2006). Esta versatilidade nas funções metabólicas, permite uma ampla distribuição no ambiente como locais com água parada (lagos, lagoas costeiras, lagoas de águas residuais, lagoas eutróficas); sedimentos; solos húmidos; arrozais; ambientes marinhos; ambientes hipersalinos; fontes termais e habitats polares frios (IMHOFF, 2006; KANTHA *et al.*, 2015; KANTACHOTE *et al.*, 2016; SAKPIROM *et al.*, 2017; DASSARMA; DASSARMA, 2017).

A *Rhodospseudomonas palustris* possui genes que codificam proteínas que formam complexos de coleta de luz e centros de reações fotossintéticas e tem a capacidade de produzir ácido aminolevulínico (ALA), precursor de cloroplastos e compostos da fotossíntese e fornecer a plantas (LARIMER, 2004). O ALA produzido pela bactéria pode levar a melhor desenvolvimento das plantas. O ALA também melhora a absorção de minerais e a síntese de açúcares solúveis e proteínas (AKRAM; ASHRAF, 2013). SAKPIROM *et al.* (2017), mostraram que o ALA é um precursor da síntese de clorofila, vitamina B12, enzimas antioxidantes e outros metabólitos que reduzem os efeitos adversos de várias condições de estresse abiótico.

Além de aumentar a fotossíntese e promover o crescimento da planta em aplicações com baixas concentrações em aplicações agrícolas ele pode aumentar a tolerância à salinidade, seca, temperatura, estresse por baixa luminosidade e demonstrou melhorar a estrutura das células vegetais, levando a menos danos às raízes sob condições de estresse (NUNKAWE *et al.*, 2014b). O fornecimento exógeno de ALA auxilia no acúmulo de clorofila, resultando em aumento da atividade fotossintética aumenta a produção de ATP e NADPH, que são cofatores essenciais para a absorção de CO<sub>2</sub> (BINDU; VIVEKANANDAN, 1998; ALI *et al.*, 2013; NUNKAWE *et al.*, 2014a). NUNKAEW *et al.* (2014) verificaram que o teor de clorofila em plantas de arroz tratadas com o ALA natural foi 13% superior ao observado em plantas controle. De acordo com os mesmos autores, foi observado incremento em outros parâmetros ligados a fotossíntese, como a taxa de fluorescência de clorofila.

Em bactérias fototróficas, existem duas vias de biossíntese que são a via de cinco carbonos e a via da ALA sintase. No PNSB é sintetizado pela via de Shemin com dois precursores, succinato e glicina, reunidos pela enzima aminolevulínica

sintase (ALAS) (LIU *et al.*, 2005). NUNKAEW *et al.* (2014) relataram que o ALA produzido pelas bactérias *R. palustris* em baixas concentrações pode promover o crescimento de muitas plantas.

Outro composto produzido pela *Rhodopseudomonas* sp., é o Ácido indol-3-acético (AIA). O ácido indol-3-acético, pertence ao grupo das auxinas que são essenciais para o desenvolvimento da planta e têm papel fundamental na regulação de muitos processos de crescimento e comportamento no ciclo de vida da planta. Além disso, *Rhodopseudomonas* sp. produzem AIA através de diferentes vias de biossíntese, com as vias indol-3-piruvato e triptamina, porém as concentrações produzidas variam (SPAEPENE *et al.*, 2007). No estudo de Sakpirome *et al.* (2017), a produção extracelular de AIA foi encontrada em quatro espécies de bactérias roxas não sulfurosas, incluindo a *R. palustris*, sob condições de luz microaeróbica. Além da atuação no crescimento das plantas, é responsável por controlar o desenvolvimento da planta em condições de estresse (KAZAN, 2013; WANIE *et al.*, 2016; SAKPIROM *et al.*, 2017).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A soja é o principal cereal produzido no Brasil e no mundo. Assim, apresenta importância social, política e comercial. Desta forma, acentua-se a necessidade da busca pelo aumento dos tetos produtivos. Muito se evoluiu, no conhecimento das exigências nutricionais e quanto a genética da cultura, novas cultivares com pacotes tecnológicos mais completos (sanidade, arquitetura, adaptabilidade, novas transgenias, resistência a novos herbicidas, ciclos mais precoces, produtividades mais altas) foram lançados nos últimos anos. Porém, ainda muito se tem a evoluir quanto aos manejos que preparem a cultura e que consigam mitigar os danos causados pelos estresses abióticos.

Anos recorrentes de oscilações hídricas tem acontecido e reduzido a média da produção nacional. A aplicação de bioestimulantes, tem assumido papel importante para otimizar o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de minimizar a redução na produtividade.

A utilização das bactérias promotoras de crescimento (BPCP), é uma ferramenta relativamente nova, porém já com muitos resultados positivos. Contudo, a aplicação de microrganismos vivos e seus metabólitos e a interação com as diversas culturas necessita de muitos estudos para melhor compreensão dos inúmeros benefícios possíveis.

A *Rhodopseudomonas palustris* destaca-se por sua versatilidade de adaptação a diversos ambientes e pela sua capacidade de produção de compostos importantes para o bom desenvolvimento das culturas como AIA e ALA. Apesar de pouco estudada no continente sul-americano, acredita-se que a aplicação dessa bactéria possa trazer melhoras de componentes bioquímicos nos grãos de soja, como aumento do teor de proteínas, açúcares, aminoácidos e incremento de produtividade. Assim, é um microrganismo que precisa ser estudado para melhorar a compreensão do seu efeito e respostas no desenvolvimento e produtividade na cultura da soja.

## REFERÊNCIAS

- AGROSTAT. **Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro.** Exportação Importação – Soja em Grãos. Disponível em: investexportbrasil.gov.br. Acesso em: 17 jul. 2022.
- AKRAM, N. A. E.; ASHRAF, M. Regulation in plant stress tolerance by a potential plant growth regulator, 5-aminolevulinic acid. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v.32, p. 663–679, 2013.
- ALI, B. *et al.* 5-aminolevulinic acid ameliorates cadmium-induced morphological, biochemical, and ultrastructural changes in seedlings of oilseed rape. **Environmental Science and Pollution Research**, [S.l.], v. 20, p. 7256–7267, 2013.
- ALMEIDA, L. A. *et al.* Melhoramento da soja para regiões de baixa latitude. *In*: QUEIRÓZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Org.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Brasília: EMBRAPA, 1999. cap. 5, p. 73-88.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al.* **Crescimento de plantas de soja em função da redução da densidade de semeadura e sua relação com a Produtividade**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2018.
- BASAK, N.; DAS, D. The prospect of purple nonsulfur (PNS) photosynthetic bacteria for hydrogen production: the present state of the art. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S.l.], v. 23, p. 31–42, 2007.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. How the plant growth-promoting bacterium Azospirillum promotes plant growth – a critical assessment. **Advances in Agronomy**, [S.l.], v. 108, p. 77-136, 2010.
- BATOOL K., TUZ ZAHRA F., REHMAN Y., 2017, Arsenic-redox transformation and plant growth promotion by purple nonsulfur bacteria *Rhodopseudomonas palustris* CS2 and *Rhodopseudomonas faecalis* SS5. **BioMed Research International**, [S.l.], v. 6250327, 2017.
- BEZERRA, A. R. G. T.; SILVA, F.; BORÉM, A. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 9-26.
- BHATTACHARYYA, P.N. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S.l.], v. 28, p. 1327–1350, 2012.
- BIANCHI, M. C. *et al.* Soybean seed size: how does it affect crop development and physiological seed quality. **Journal of Seed Science**, [S.l.], v. 44, Nov. 2022.
- BINDU, R. C.; VIVEKANANDAN, M. Hormonal activities of 5-aminolevulinic acid in callus induction and micropropagation. **Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 26, p. 15-18, 1998.

BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; LAURETH, J. C. U. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 46, n. 3, p. 343–349, 2016.

CASTRO, P. R. C.; SENA, J. O. A.; KLUGE, R. A. **Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal**. 2 ed. Maringá: Eduem, 2019.

CASTRO, P. R. C. *et al.* **Biorreguladores na agricultura**. Piracicaba: ESALQ - Divisão de Biblioteca, 2016. 154 p.

CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Agropecuária, 2001.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento (Brasil). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.9 – Safra 2021/222, n.8 – 8º Levantamento. Tabela de Dados – Produção e Balanço de Oferta e Demanda de Grãos (Soja – Safras 2020/21 e 2021/22). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/>. Acesso em 18 jul. 2022.

DASSARMA, S.; DASSARMA, P. Halophiles. *In: Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2017.

DU J. P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 196, p. 3–14, 2015.

EL S., A. *et al.* Phytohormones as growth regulators during abiotic stress tolerance in plants. **Frontiers in Agronomy**, [S.l.] v. 4, n. 4, 2022.

EMBRAPA. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>. Acesso em: mar. 2023.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/470308>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p.

GALDIANO JR., R. F. **Isolamento, Identificação e inoculação de bactérias produtoras de auxinas associadas às raízes de orquídeas**. 84f. 2009. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista - Jaboticabal, SP, 2009.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, [S.l.], v.70, n.3, p.16-18, 2018.

GAZZONI, D. L., *et al.* **Thiametoxam: uma revolução na agricultura**. São Paulo: Vozes, 2008. 258 p.

GUERREIRO, R. T. **Selection of *Bacillus* spp in growth promotion of corn**. 2008. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 2008.

GUIMARÃES, V. F. *et al.* Plant growth-promoting bacteria effect in withstanding drought in wheat cultivars. **Scientia Agraria**, [S.l.], v. 18, p. 104–113, 2017.

IMHOFF, J. F. Changes in hormonal balance: a possible mechanism of pre-sowing chilling-induced salt tolerance in spring wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S.l.], v. 196, p. 440–454, 2006.

KANTACHOTE, D. *et al.* Biofertilizers from *Rhodopseudomonas palustris* strains to enhance rice yields and reduce methane emissions. **Applied Soil Ecology**, [S.l.], v. 100, p. 154–161, 2016.

KANTHA T. *et al.* Selection of photosynthetic bacteria producing 5-aminolevulinic acid from soil of organic saline paddy fields from the Northeast region of Thailand. **African Journal of Microbiology Research**, [S.l.], v. 4, n. 17, p. 1848-1855, 2010.

KANTHA T.; KANTACHOTE D.; KLONGDEE N. Potential of biofertilizers from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains to assist rice (*Oryza sativa* L. subsp. *indica*) growth under salt stress and to reduce greenhouse gas emissions. **Annals of Microbiology**, [S.l.], v. 65, p. 2109–2118, 2015.

KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Plant-growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**, [S.l.], v. 66, n. 1, p. 35-42, 2016.

KAZAN, K. Auxin and the integration of environmental signals in plant root development. **Annals of Microbiology**, v. 112, p. 1655-1665, 2013.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431p.

KLHOLD, C. A. *et al.* Resposta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à ação de bioestimulante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 179-185, 2006.

KOBAYASHI, M.; KOBAYASHI, M. Waste remediation and treatment using anoxygenic phototrophic bacteria. In: **Anoxygenic photosynthetic bacteria**. Kluwer Academic Publishers, p. 1269–1282, 1995.

KOESTER, R. P. *et al.* Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. **Plant, Cell and Environment**, [S.l.], p.1-10, 2016.

- KUMAR, M. *et al.* Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Signaling & Behavior**, [S.I.], v. 11, n. 1, p. e1071004, 2016.
- LAI, Y. C. *et al.* Polyphosphate metabolism by purple nonsulfur bacteria and its possible application on photo-microbial fuel cell. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, [S.I.], v. 123, p. 722–730, 2017.
- LARIMER, F. W. *et al.* Complete genome sequence of the metabolically versatile photosynthetic bacterium *Rhodopseudomonas palustris*. **Nature biotechnology**, [S.I.], v. 22, n. 1, p. 55-61. 2004.
- LIU, Y. Bactéria fotossintética. *Rhodopseudomonas palustris* GJ-22 induces systemic resistance against viroses. **Microbial Biotechnology**, [S.I.], v. 10, p. 612-624, 2017.
- LONDERO, R. *et al.* Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros, v. 12, p. 1-8, 2020.
- LONG, E. The importance of biostimulants in turfgrass management. **Plants**, [S.I.], v. 12, p. 539- 554, 2019.
- MANCHESTER, L. C. *et al.* Melatonin immunoreactivity in the photosynthetic prokaryote *Rhodospirillum rubrum*: implications for an ancient antioxidant system. **Cellular and Molecular Biology**, [S.I.], v. 41, p.391–395, 1995.
- MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP; Brasília: NEAD, 2010.
- MIRANDA, G. V. *et al.* Desempenho de cultivares de soja IPRO no extremo oeste do Estado Paraná em baixa altitude. **Brazilian Journal of Development**, [S.I.], v. 7, n.4, p. 34898-34911, 2021.
- NOVAKOWISKI, J. H. *et al.* Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, p. 1687-1698, 2011.
- NOVO, L. A. B. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria-assisted phytoremediation of mine soils. **Bio-geotechnologies for Mine Site Rehabilitation**, [S.I.], v. 16, p. 281–295, 2018.
- NUNKAEW T. *et al.* Characterization of exopolymeric substances from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains and their ability to adsorb sodium ions. **Carbohydrate Polymers**, [S.I.], v. 115, p. 334-341. 2015b.
- NUNKAEW, T. *et al.* Effects of supernatants containing 5-aminolevulinic acid (ALA) from selected *Rhodopseudomonas palustris* strains on rice growth under NaCl stress, with mediating effects on chlorophyll, photosynthetic electron transport. **Electronic Journal of Biotechnology**, [S.I.], v. 17, p. 19–26, 2014a.

NUNKAEW, T. *et al.* Selection of salt-tolerant purple non-sulfur bacteria producing 5-aminolevulinic acid (ALA) and reducing methane emissions from microbial degradation of rice straw. **Applied Soil Ecology**, [S.I.], v. 86, p. 113–120, 2014b.

OEC - Observatory of Economic Complexity. **Economic Complexity Rankings (ECI)**. Disponível em: <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96>. Acesso em: jul. 2021.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.I.], v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015.

RAMOS, A. R.; BINOTTI, F. S. Uso do bioestimulante na qualidade fisiológica de sementes e no crescimento relativo em cultivares de feijão. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMS E 10º SEMEX – SEMINÁRIO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA, 10., 2012, Cassilândia. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - MS, 2012. p. 1-7.

RANA, G. *et al.* Green-fertilizer, *Rhodospirillum rubrum*, for agricultural development on fly-ash without any toxic metal ion release. **Basic Research Journal of Agricultural Science and Review**, [S.I.], v. 5, p. 109–117, 2016.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 22 p.

REY, F. E.; ODA, Y.; HARWOOD, C. S. Regulation of uptake hydrogenase and effects of hydrogen utilization on gene expression in *Rhodopseudomonas palustris*. **Journal of Bacteriology**, [S.I.], v. 188, p. 6143–6152, 2006.

RODRIGUES, O. *et al.* Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.I.], v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001.

SAKARIKA M. *et al.* Purple non-sulphur bacteria and plant production: benefits for fertilization, stress resistance and the environment. **Microbial Biotechnology**, [S.I.], v. 13, n. 5, p. 1336-1365, 2020.

SAKPIROM, J. *et al.* Characterizations of purple non-sulfur bacteria isolated from paddy fields, and identification of strains with potential for plant growth-promotion, greenhouse gas mitigation and heavy metal bioremediation. **Research in Microbiology**, [S.I.], v. 168, p. 1–10, 2017.

SANTOS A. C. *et al.* Fatores e técnicas de produção e sua influência na produtividade e qualidade da soja. *In*: XI ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 11., 2017, Campo Mourão. **Anais [...]**. Campo Mourão: Universidade Estadual do Paraná, 2017. p. 1-8.

SANTOS, E. R. *et al.* Divergência entre genótipos de soja, cultivados em várzea irrigada. **Revista Ceres**, [S.I.], v. 58, p.755-764, 2011.

SARAF, M.; PANDYA, U.; THAKKAR, A. Role of allelochemicals in plant growth promoting rhizobacteria for biocontrol of phytopathogens. **Microbiology Research**, [S.I.], v. 169, p. 18–29, 2014.

SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J. E.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and plant-microorganism signaling. **FEMS Microbiology Ecology**, [S.I.], v. 31, p. 425–448, 2007.

SPECHT, J. E. *et al.* Soybean. In: SMITH, S. **Yield Gains in Major U.S. Field Crops**. CSSA special publication: Madison, WI. 2014. p.311-356,

SUN, X. *et al.* Callus induction, differentiation and plant regeneration of *Narcissus pseudonarcissus* cv. Dutch Master. **Journal of Shenyang Agricultural University**, [S.I.], v.49, n.4, p.465-70, 2018.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, [S.I.], v.35, n.1, p.1-9, 2019.

TSAVKELOVA, E. A. *et al.* Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, [S.I.], v. 142, p. 133–143, 2006.

USDA – United States Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service. **World Agricultural Production**. Circular Series, 2021. Disponível em: <https://www.usda.gov/> Acesso em: July 2021.

WONG W. T. *et al.* Promoting effects of a single *Rhodopseudomonas palustris* inoculant on plant growth by *Brassica rapa chinensis* under low fertilizer input. **Microbes and Environments**, [S.I.], v. 29, n. 3, p. 303-313, 2014.

WU, S. C.; LIOU, S. Z. E. LEE, C. M. Correlação entre a produção de bio-hidrogênio e a síntese de polihidroxibutirato (PHB) por *Rhodopseudomonas palustris* WP3-5. **Bioresource Technology**, [S.I.], v. 133, p. 44–50, 2012.

## ***Rhodopseudomonas palustris* MELHORA OS ASPECTOS FISIOLÓGICOS, CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E A QUALIDADE DE GRÃOS DE PLANTAS DE SOJA**

### **Resumo**

*Rhodopseudomonas palustris* é uma bactéria que apresenta alta versatilidade a ambientes e produção de vários metabólitos, promovendo benefícios para as plantas em condições ideais ou mitigar danos causados por estresses abióticos. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi analisar os efeitos morfofisiológicos, bioquímicos e produtividade da soja com a aplicação da bactéria fotossintetizante *Rhodopseudomonas palustris*. O experimento foi conduzido em condição de campo em delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram 1S - bactérias aplicadas direto no sulco de plantio ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 1S1L - bactérias aplicadas direto no sulco de plantio ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ) mais duas aplicações foliares em V6 – vegetativo e R1 – início do florescimento ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 1L - Aplicação foliar na fase V6 – vegetativo ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 2L - Duas aplicações foliares uma em V6 – vegetativo e outra em R1 – início do florescimento ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 3L - Três aplicações foliares uma em V6 – vegetativo, em R1 – início do florescimento e em R3 – formação das primeiras vagens ( $1,0 \text{ L ha}^{-1}$ ). Foram avaliados os parâmetros morfométricos, trocas gasosas, teores de biomoléculas, massa de mil grãos e produtividade. A taxa fotossintética nas fases iniciais da soja foi maior quando utilizado a *R. palustris* no tratamento 1L. A inoculação com o 1L proporcionou maior altura das plantas. Teores de amido nas folhas foram superiores em todos os tratamentos quando comparados com o controle. A proteína analisada nas folhas foi superior em todos os tratamentos em relação ao tratamento controle e nos grãos nos tratamentos 1L e 3L. A quantificação dos aminoácidos nas folhas e grãos também foram positivos com a aplicação da bactéria nos tratamentos 1S, 1S1L e 2L. A aplicação da bactéria *R. palustris* no tratamento 1L apresentou maior tendência em modificar parâmetros morfofisiológicos e qualitativos nos grãos, como aminoácidos, amido e proteína. Porém, *R. palustris* não incrementa a produtividade na cultura da soja nestas condições de estudo.

**Palavras-chave:** açúcares; proteínas; fotossíntese; *Glycine max* L.

## Abstract

*Rhodopseudomas palustris* is a bacterium that presents high versatility to environments and production of several metabolites, promoting benefits for plants under ideal conditions or mitigating damage caused by abiotic stresses. In this sense, the objective of this work was to analyze the morphophysiological, biochemical and productivity effects of soybean with the application of the photosynthetic bacteria *Rhodopseudomas palustris*. The experiment was conducted under field conditions in a randomized block design with six treatments and five replications. The treatments were 1S - bacteria applied directly in the planting furrow ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 1S1L - bacteria applied directly in the planting furrow ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ) plus two foliar applications in V6 – vegetative and R1 – beginning of flowering ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 1L - Foliar application in phase V6 – vegetative ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 2L - Two foliar applications, one in V6 – vegetative and the other in R1 – beginning of flowering ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ), 3L - Three foliar applications, one in V6 – vegetative, in R1 – beginning of flowering and in R3 – formation of the first pods ( $1.0 \text{ L ha}^{-1}$ ). Morphometric parameters, gas exchange, biomolecules content, thousand-grain mass and productivity were evaluated. The photosynthetic rate in the early stages of soybean was higher when *R. palustris* was used in the 1L treatment. Inoculation with 1L provided greater plant height. Starch contents in the leaves were higher in all treatments when compared to the control. The protein analyzed in the leaves was higher in all treatments compared to the control treatment and in grains in treatments 1L and 3L. The quantification of amino acids in the leaves and grains were also positive with the application of the bacteria in the 1S, 1S1L and 2L treatments. The application of the bacteria *R. palustris* in the 1L treatment showed a greater tendency to modify morphophysiological and qualitative parameters in the grains, such as amino acids, starch and protein. However, *R. palustris* does not increase soybean productivity under these study conditions.

**Keywords:** sugars; proteins; photosynthesis; *Glycine max* L.

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo A soja (*Glycine max* L. Merrill) é uma cultura de grande importância econômica na agricultura brasileira e no mundo, por ser considerada uma das principais fontes de proteína vegetal. Este cereal é a base para fabricação de vários produtos alimentícios e para alimentação de animais. Para atender esse setor, a indústria de esmagamento precisa que a soja tenha alto teor de proteína. Em média os grãos de soja apresentam 40% de proteína e 20% de óleo (PÍPOLO *et al.*, 2015). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de soja do mundo, plantando 41452,9 milhões de hectares e colhendo 125.552,3 milhões de toneladas na safra 2021/22, sendo responsável por produzir em torno de 35% da soja mundial, com média de produtividade de 3.029 kg ha<sup>-1</sup>, e em torno de 37% para proteína, média acima dos principais países produtores como EUA e Argentina (CONAB, 2022).

Embora o Brasil seja o maior produtor deste cereal, ainda há necessidade de aumentar a produção desta cultura por diversos fatores. No entanto desafios como restrições no uso de terra nas próximas décadas, exigirão que os produtores produzam mais em menor área explorada. Além de outros desafios, como os fatores bióticos e abióticos, atributos químicos, físicos e biológicos do solo, balanço nutricional e hormonal, cultivares, pragas e doenças, investimento financeiro e fatores climáticos são exemplos que podem impactar na produtividade (CONCEÇÃO *et al.*, 2017).

A agricultura é atividade fortemente influenciada pelas condições meteorológicas e climáticas. Conseqüentemente temperaturas mais elevadas e a redução nos padrões de precipitação podem ter impactos profundos sobre a produção agrícola da soja (WANG *et al.*, 2018; IPCC 2013; LEAKEY *et al.*, 2009; SHAO *et al.*, 2015). Deste modo, biotecnologias que possam ser utilizadas para aumentar a produtividade sojícola ganham respaldo neste cenário.

A utilização de produtos formulados através de bactérias, as chamadas bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), ganham mais atenção e espaço na cultura da soja. As BPCP apresentam benefícios que influenciam positivamente no manejo de estresses causados por fatores bióticos e abióticos, além de contribuir na produtividade (REIS, 2007). Entre as bactérias promotoras (BPCP) mais estudadas estão os *Rhizobium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Azospirillum* que habitam o solo rizosférico e já são conhecidos os inúmeros benefícios trazidos

as plantas (CHA *et al.*, 2016).

Uma nova possibilidade para os produtores são as bactérias fototróficas roxas não sulfurosas (PNSB). Estas bactérias já são utilizadas na agricultura, porém, ainda pouco conhecida os mecanismos que são utilizados e a resposta de interação com culturas como a soja. Desta forma, *Rhodopseudomonas palustris* é uma bactéria fotossintetizante, classificada como a bactéria mais versátil em termos metabólicos, por possuir alta adaptação a diferentes condições e alteração na sua forma de obtenção de energia (SAKARIKA *et al.*, 2020). Além disso, a *R. palustris* cresce nos quatro modos de metabolismo que sustentam a vida: fotoautotrófico ou fotossintético (energia da luz e carbono do dióxido de carbono), foto-heterotrófico (energia da luz e carbono dos compostos orgânicos), quimio-heterotrófico (carbono e energia de compostos orgânicos) e quimioautotrófica (energia de compostos inorgânicos e carbono de dióxido de carbono) (LARIMER *et al.*, 2004). Tem capacidade de usar formas alternativas de doadores de elétrons inorgânicos, carbono e nitrogênio, degrada a biomassa vegetal e os poluentes clorados e gera hidrogênio como produto da fixação de nitrogênio (LARIMER, 2004).

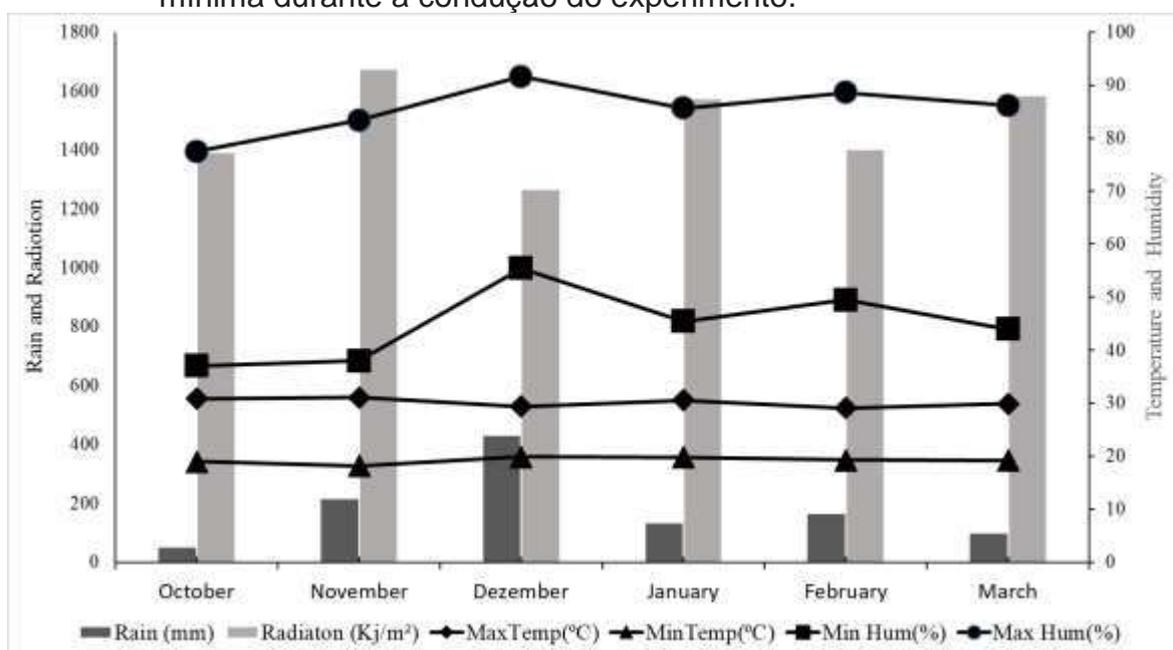
A inoculação por *R. palustris* também está relacionada com o aumento da resistência das plantas ao estresse ambiental causado por fatores abióticos e bióticos, devido a sua capacidade de produzir ácido aminolevulínico (ALA) que atua como precursor de cloroplastos e compostos da fotossíntese, além de compostos de porfirina, hormônios de crescimento fornecendo-os as plantas (SAKPIROM *et al.*, 2017; NUNKAEW *et al.*, 2014). Contudo, existem poucos resultados conclusivos em grandes culturas com a soja com a inoculação desta bactéria. Diante dessa escassez de respostas, o conhecimento de como as características morfofisiológicas e bioquímicas das plantas são modificadas ainda é pouco explorada na literatura atual.

Devido aos atributos apresentados, e de vários estudos indicarem que essa bactéria fototrófica roxa não sulfurosa (PNSB), *R. palustris* promove efeitos benéficos no crescimento das plantas, tem-se a hipótese que a inoculação de *R. palustris* na soja melhora os aspectos morfofisiológicos das plantas e incrementa a produtividade deste cereal. O presente trabalho teve como objetivo verificar se a bactéria *Rhodopseudomonas palustris* contribuí nas respostas morfofisiológicas, bioquímicas e no incremento da produtividade de plantas e grãos de soja.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condição de campo no centro experimental da empresa Grão de Ouro Agronegócios - Agrogalaxy, situado na Fazenda Primavera, Alfenas – MG, Brasil, nas coordenadas geográficas: 21° 44' 67" S, 46° 01' 08" W, e altitude média de 789 metros. As médias de temperaturas registradas durante o período de condução foram máxima de 32,4 °C e mínima de 16, e pluviosidade acumulada foi de 831 mm, entre as datas de semeadura e colheita, entre os meses de outubro de 2020 e março do ano de 2021 (Figura 1).

Figura 1 - Precipitação, radiação, temperatura máxima e mínima, umidade máxima e mínima durante a condução do experimento.



Fonte: Estação meteorológica Plugfield - CTA Agrogalaxy Alfenas, Minas Gerais, Brasil.

Durante o período de condução do ensaio, aconteceram dois períodos de estiagem, o primeiro vinte e seis dias após o plantio, quando a soja estava entre o terceiro (V3) e quarto trifólio (V4), tivemos um intervalo doze dias sem chuva, o segundo período de estiagem aconteceu oitenta e quatro dias após o plantio, quando a soja estava iniciando o estágio de enchimento de grãos (R5), tivemos um intervalo de quinze dias sem chuva.

O solo foi caracterizado quimicamente conforme a Tabela 1, classificado como latossolo vermelho distrófico, e a adubação foi realizada de acordo com a recomendação da análise química do solo, aplicando-se no momento do plantio o

formulado 04-20-00 (170kg ha<sup>-1</sup>). Para fornecimento de nitrogênio para a cultura da soja, foi realizada a inoculação das sementes aplicando 0,3 L ha<sup>-1</sup> de *Bradyrhizobium japonicum* com concentração de 5×10<sup>12</sup> UFC/L. O cultivar de soja foi AS3590 IPRO, do grupo de maturação 5.9, da empresa Agroeste, considerado ciclo médio, colheita em torno de 120 dias após emergência. Nas aplicações foi utilizado o produto comercial composto por *Rhodopseudomonas palustris* que apresenta a concentração de 7,5 × 10<sup>5</sup> unidades formadoras de colônia (UFC/mL) da bactéria.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo na camada 0-20 cm, Alfenas – MG, Brasil.

pH	P	K	Al	Ca	Mg	H <sup>+</sup> Al	SB	T	V	M
Water	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			---%---			
5.6	15.2	191.1	0.1	2.9	0.8	3.0	4.3	7.3	58.6	2.3

Fonte: Autor (2023).

Legenda: Métodos de extração: pH: água; P e K: Mehlich-I; Ca, Mg, Al: KCl; H<sup>+</sup>Al: Tampão SMP.

O delineamento experimental foi com blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram escolhidos por experimentos pilotos, e foram constituídos como descrito na tabela abaixo.

Tabela 2 - Tratamentos utilizados, seguidos de suas doses e modos de aplicação.

Tratamentos	Dose (L ha <sup>-1</sup> )	Modo de aplicação	Época de aplicação
Controle	Sem aplicação	xx	xx
1S	1,0	Sulco de plantio	Sulco de plantio
1S2L	1,0	Sulco de plantio; foliar	Sulco de plantio; V6; R1
1L	1,0	Foliar	V6
2L	1,0	Foliar	V6; R1
3L	1,0	Foliar	V6; R1; R3

Fonte: Autor (2023).

Cada repetição foi composta por nove linhas de semeadura com 11 metros de comprimento e espaçadas em 50 centímetros. Foram semeadas dezesseis sementes por metro, seguindo a recomendação do cultivar para a região do Sul de

Minas Gerais, o plantio foi realizado no dia 25 de outubro do ano de 2020 e a colheita foi realizada no dia 05 de março ao ano de 2021.

## 2.1 ANÁLISES FITOTÉCNICAS E TROCAS GASOSAS

A altura das plantas foi avaliada 7 dias após a última aplicação em R3, utilizando trena, medindo da base da planta ao último trifólio totalmente expandido, juntamente com a avaliação do diâmetro do caule utilizando paquímetro digital. Para essas avaliações foram selecionadas vinte plantas de forma aleatória nas duas linhas centrais de cada parcela.

A colheita da soja foi realizada de forma manual, quando as plantas chegaram no estágio de maturação fisiológica. Para tal avaliação, foram utilizadas as três linhas centrais de cada parcela. Posteriormente, os materiais foram trilhados, pesados e sua umidade corrigida para 13%, segundo metodologias descritas nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 1992). Foram retiradas três amostras simples de cada parcela para avaliar o peso de mil grãos expresso em gramas, a partir dos valores médios referentes à produção das parcelas de cada tratamento, foi calculada a produtividade de grãos e expressa em sacos/ha.

As trocas gasosas foram avaliadas no último trifólio totalmente expandido em duas plantas por parcelas, no período da manhã, entre 8 e 10 horas, nas fases de (V6 – quinto trifólio) e sete dias após a última aplicação foliar (R3 - formação das primeiras vagens). Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração foliar (E) e carbono interno (Ci). A partir dos valores de A e Ci foi obtido a eficiência de carboxilação (A/Ci), e de A e E a eficiência do uso da água (WUE). Foi utilizado o analisador de gases infravermelho (IRGA – Infrared Gas Analyzer), modelo LI 6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, EUA). As medidas foram feitas em uma área foliar de 6 cm<sup>2</sup>, a densidade de fluxo de fótons (PPFD) foi de 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> com fonte de luz LED azul-vermelho (6400-02B LED) e temperatura foliar controlada (28 °C).

## 2.2 ANÁLISE DE BIOMOLÉCULAS NAS FOLHAS E GRÃOS

A quantificação de açúcares redutores seguiu a metodologia de Miller (1959) e a dos açúcares solúveis totais e amido foi realizada conforme metodologia descrita

por Yemm e Willis (1955). A quantificação de proteínas seguiu a método proposto por Bradford (1976) e a quantificação de aminoácidos foi realizada segundo Yemm e Cocking (1955). Todas estas análises foram realizadas após a colheita da soja, utilizando todas as folhas e em duas plantas por parcelas. Também foram realizadas nos grãos, após a colheita.

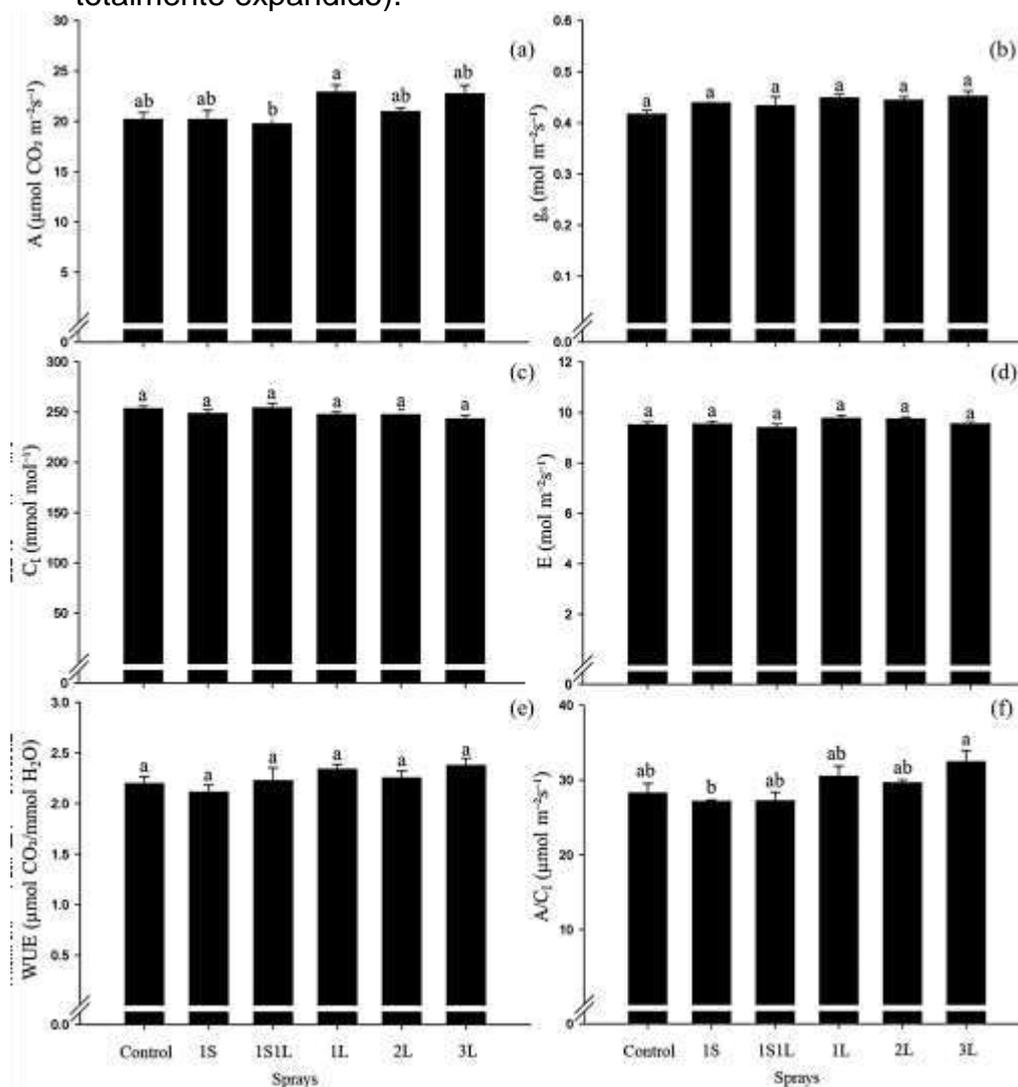
### 2.3 ANÁLISES DOS DADOS

Para todos os parâmetros analisados foram calculadas as médias e o  $\pm$  erro padrão (SE). Para análise estatística dos resultados, foi utilizado a análise de variância (ANAVA) e o teste de comparação de médias Tukey, a 0,05% de significância ( $p < 0.05$ ). Para indicar se ocorreu uma relação entre duas variáveis, empregamos o Coeficiente de Correlação de Pearson.

### 3 RESULTADOS

Nas trocas gasosas foliares da soja no estágio V6, a taxa fotossintética (A) foi maior no tratamento com apenas uma aplicação foliar de *R. palustris* (1L) quando comparado aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ) (Fig. 2a). A condutância estomática (gs), carbono interno (Ci), transpiração (E) e a eficiência no uso da água (WUE) não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos neste mesmo estágio fenológico da soja ( $p < 0,05$ ) (Fig. 2bcdef). A eficiência de carboxilação (A/Ci) foi maior nas plantas com três aplicações foliares de *R. palustris* (3L) em relação aos demais tratamentos neste mesmo período de avaliação ( $p < 0,05$ ) (Fig. 2f).

Figura 2 - Trocas gasosas foliares da soja no estágio fenológico V6 (quinto trifólio totalmente expandido).



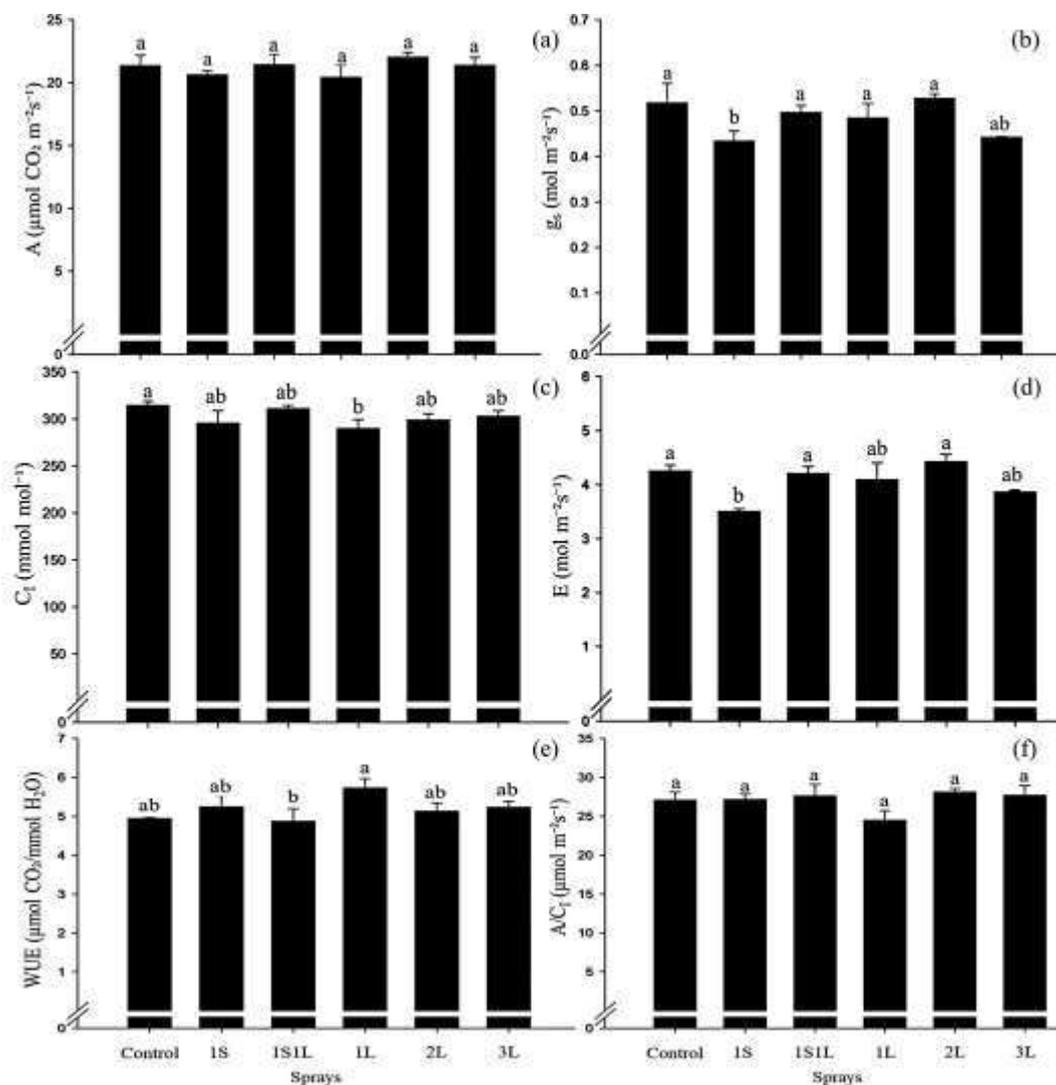
Fonte: Autor (2023).

Legenda: (A) fotossíntese (a); ( $g_s$ ) condutância estomática (b); ( $C_i$ ) carbono interno (c); (E) transpiração (d); (WUE) eficiência no uso da água (e); (A/Ci) eficiência de carboxilação (f). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $p \leq 0.05$ ).

Nas trocas gasosas foliares da soja no estágio R3, a taxa fotossintética (A) e a eficiência de carboxilação (A/Ci) não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) (Fig. 3af). A condutância estomática ( $g_s$ ) foi maior nas plantas dos tratamentos controle, 1S1L, 1L e 2L quando comparado aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ) (Fig. 3b). O carbono interno ( $C_i$ ) foi maior nas plantas de soja controle em relação aos outros tratamentos (Fig. 3c). A Transpiração (E) foi maior na soja com os tratamentos controle, 1S1L e 2L em comparação aos demais tratamentos ( $p < 0,05$ ) (Fig. 3d). A eficiência no uso da água (WUE) foi maior no tratamento com apenas uma aplicação foliar de *R. palustris* (1L) quando comparado aos demais tratamentos

( $p < 0,05$ ) (Fig. 3e).

Figura 3 - Trocas gasosas foliares da soja no estágio fenológico R3 (Início do desenvolvimento das vagens).



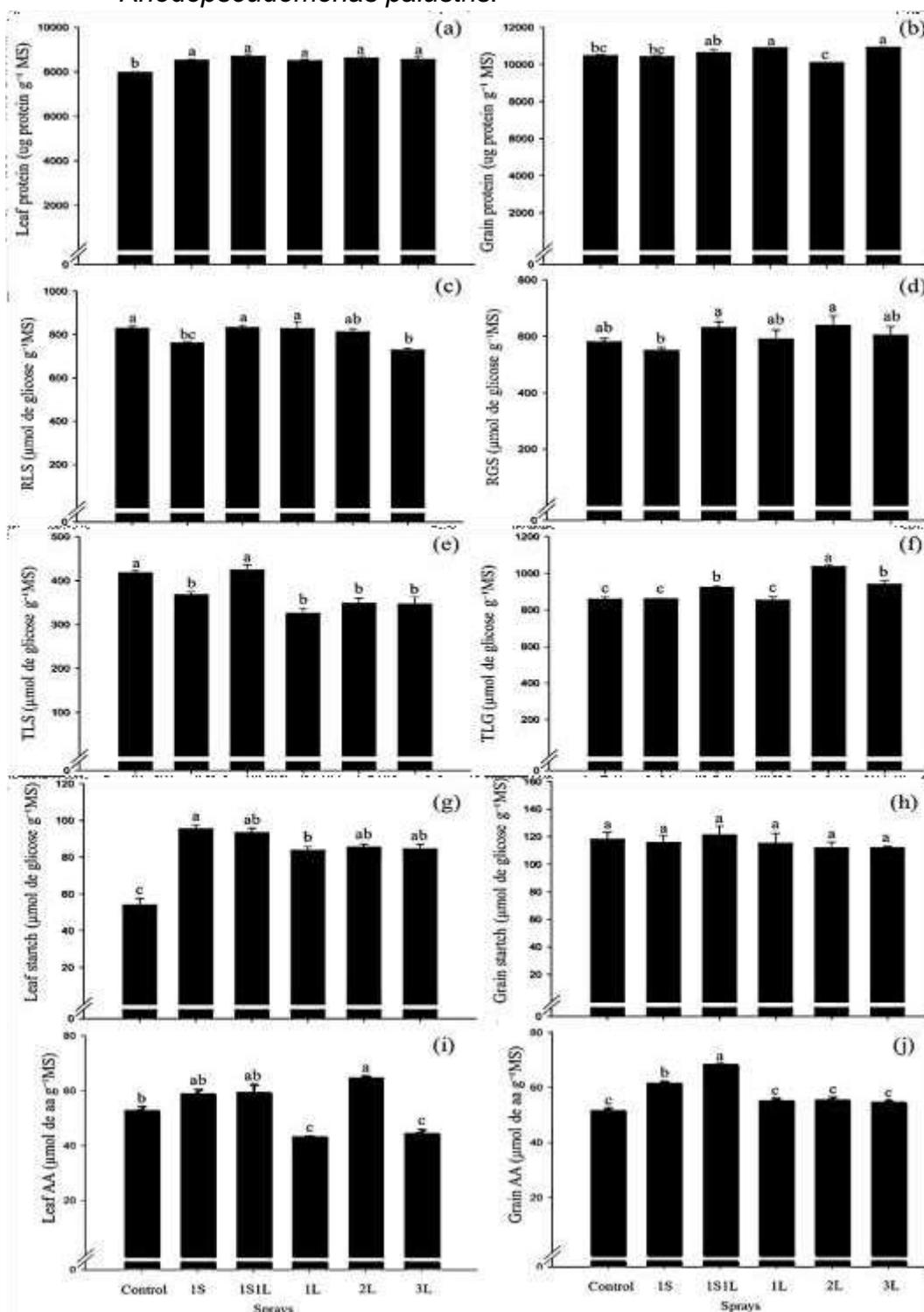
Fonte: Autor (2023).

Legenda: (A) fotossíntese (a); ( $g_s$ ) condutância estomática (b); ( $C_i$ ) carbono interno (c); (E) transpiração (d); (WUE) eficiência no uso da água (e); (A/ $C_i$ ) eficiência de carboxilação (f). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $p \leq 0,05$ ).

Na análise das biomoléculas, o teor de proteína nas folhas foi maior em todos os tratamentos com a inoculação de *Rhodopseudomonas palustris* em relação ao tratamento controle ( $p \leq 0,05$ ) (Fig. 4a). No teor de proteína dos grãos, os maiores números foram encontrados nos tratamentos 1L e 3L quando comparado aos demais tratamentos ( $p \leq 0,05$ ) (Fig. 4b). Os teores de açúcares redutores (RLS) nas folhas da soja foram maiores nos tratamentos controle, 1S1L e 1L (Fig. 4c). Já os açúcares redutores (RLS) nos grãos foram maiores nos tratamentos 1S1L e 2L (Fig. 4d). Os

açúcares totais (TLF) nas folhas apresentaram os maiores índices nos tratamentos controle e 1S1L (Fig. 4e). Porém, os maiores teores de açúcares totais (TLF) nos grãos foi no tratamento 2L (Fig. 4f). A melhor resposta para o amido nas folhas da soja foi encontrada no tratamento 1S (Fig. 4g). Contudo, os teores de amido nos grãos não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Fig. 4h). O maior número de aminoácidos nas folhas da soja foi no tratamento 2L (Fig. 4i). Os aminoácidos nos grãos apresentaram o maior teor no 1S1L, seguido do tratamento 1S ( $p \leq 0.05$ ) (Fig. 4j).

Figura 4 - Teor de proteína das folhas (a); Teor de proteína dos grãos (b); (RLS) açúcares redutores da folha (c); (RGS) açúcares redutores dos grãos (d); (TLS) açúcares totais das folhas (e); (TGS) açúcares totais dos grãos (f); amido das folhas (g); amido dos grãos (h); aminoácido nas folhas (i); aminoácidos nos grãos (j) em função da aplicação da bactéria *Rhodopseudomonas palustris*.

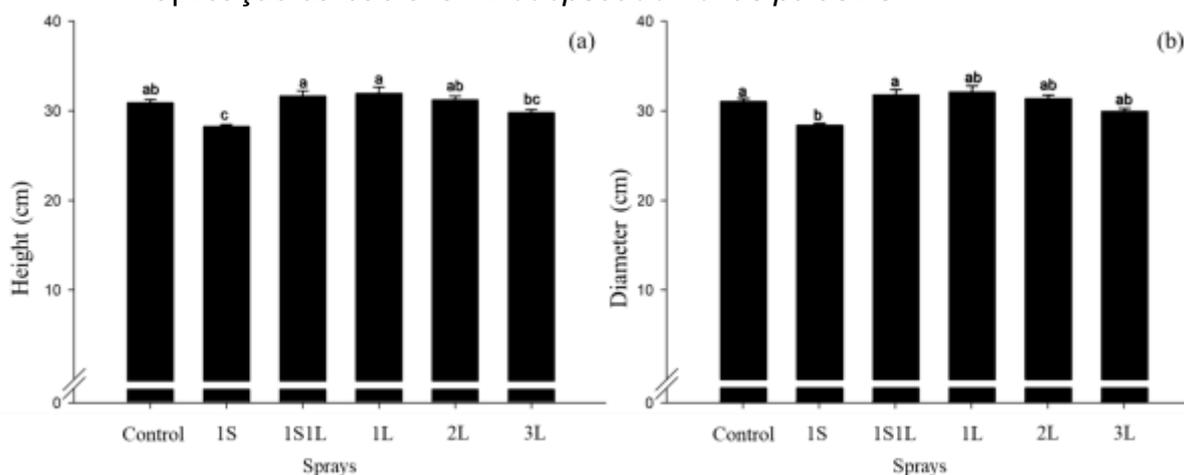


Fonte: Autor (2013).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $p \leq 0.05$ ).

Na variável altura de plantas, os tratamentos 1S1L e 1L, apresentaram o maior desenvolvimento em relação aos demais tratamentos (Fig. 5a). O maior diâmetro de caule da soja foi obtido no controle e com a aplicação de *R. palustris* em 1S1L (Fig. 5b).

Figura 5 – Altura (a) e diâmetro (b) do caule das plantas de soja em função da aplicação da bactéria *Rhodopseudomonas palustris*.



Fonte: Autor (2023).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade ( $p \leq 0.05$ ).

Nas variáveis de produtividade, a massa de mil grãos (WTG) teve os maiores valores nos tratamentos controle e 1L (Tabela 2). A produtividade representada em número de quilos por hectare e sacos por hectare não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Massa de mil grãos (WTG) e produtividade, em função da aplicação da bactéria *Rhodopseudomonas palustris*.

(continua)

Treatments	WTG	PRDTT	PRDT
	--- (g) ---	--- (kg ha <sup>-1</sup> ) ---	--- (sc ha <sup>-1</sup> ) ---
Control	184.97 a	4700.63 a	78.34 a
1S	173.93 cd	4869.52 a	81.15 a
1S1L	181.51 ab	4858.85 a	80.98 a
1L	184.44 a	5067.72 a	84.46 a
2L	176.68 bc	4983.86 a	83.06 a

Tabela 2 – Massa de mil grãos (WTG) e produtividade, em função da aplicação da bactéria *Rhodopseudomonas palustris*.

(continuação)

3L	171.41 d	4744.18 a	79.06 a
CV (%)	1.23	5.34	5.34
DMS (5%)	5.06	598.51	9.97

Fonte: Autor (2023).

Legenda: Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. DMS: diferença mínima significativa.

## 4 DISCUSSÃO

No presente estudo, foi demonstrado que a taxa fotossintética foi aumentada pela aplicação de *R. palustris* (1L) nas fases iniciais da cultura da soja. Este incremento em A pode estar associado com a produção de substâncias que promovem o crescimento de plantas, como ácido indol-3-acético (IAA) (WONG *et al.*, 2014) e ácido 5-aminolevulínico (ALA) (KANTHA *et al.*, 2010). *R. palustris* possui bacterioclorofilas que, além de absorver luz ultravioleta, também absorvem comprimentos de onda entre 800 e 870 nm, que compreende ondas infravermelhas (HAYASHI *et al.*, 1982; GALL e ROBERT, 1999; PHONGJARUS *et al.*, 2018). Assim, este fato poderia ter possibilitado uma faixa de comprimento de onda mais ampla, favorecendo um espectro de absorção maior para as plantas da soja (SOUNDARARAJAN *et al.*, 2019). Ademais, este mesmo tratamento 1L também proporcionou maior altura nas plantas de soja, sugerindo o uso dessa bactéria pode otimizar o crescimento dessa cultura. Em outras culturas, como por exemplo a manga, também foi observado o aumento da taxa fotossintética nas fases iniciais desta cultura com a aplicação de *R. palustris* (LINO *et al.* 2022). E no final do ciclo resultou também em maior peso dos grãos (LINO *et al.* 2022). Uma vez que a fotossíntese realizada na fase vegetativa é em grande parte reservada nos tecidos das plantas e re-translocada para o enchimento de grãos.

A estabilização da fotossíntese na segunda avaliação na fase de floração plena e início de frutificação da soja (R3) pode estar relacionada com a intensidade de radiação solar estar menor nesse período (condições climáticas na segunda quinzena de dezembro 2020 – figura 1), além das ótimas condições de manejo desta cultura o que favoreceu todos os tratamentos. Vale ressaltar também que o tratamento 1L embora tenha estabilizado a A nesta fase de floração plena, favoreceu a maior altura das plantas. Assim, a taxa fotossintética manteve-se semelhante ao controle, porém, plantas mais altas podem apresentar mais folhas indicando maior área para as trocas gasosas e possivelmente uma compensação na A. Ademais, também foi visto por Lu *et al.* (2012) que a taxa fotossintética foi estabilizada durante a fase de frutificação das plantas de manga com a inoculação por esta bactéria. Contudo, houve uma variação em gs e E no florescimento pleno da soja o que não foi observado nas fases iniciais desta cultura. É possível que durante esse período, as condições climáticas podem ter influenciado as trocas gasosas das plantas em

todos os tratamentos. Do mesmo modo, Lino *et al.* (2022) observaram a mesma tendência com as plantas de manga com as aplicações de *R. palustris*, com valores de gs não diferindo na fase vegetativa e com aumento da gs durante o período de floração plena.

A concentração interna de CO<sub>2</sub>, disponível para as plantas tem efeito direto na taxa fotossintética, que tende a aumentar à medida que a concentração desse gás aumenta na atmosfera (TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, no presente trabalho, o maior Ci registrado no controle na fase de floração plena não refletiu em maior atividade fotossintética nas plantas deste tratamento. Embora com a inoculação por *R. palustris*, o Ci tenha apresentado menor, a taxa fotossintética e a eficiência de carboxilação não foram alteradas. Nas fases iniciais, o aumento na A/Ci com *R. palustris* pelo tratamento 3L pode indicar maior atividade da Rubisco. Contudo, este incremento não foi revertido em A e nem em produtividade da soja.

A aplicação de *R. palustris*, proporcionou maior eficiência no uso da água (WUE) na cultura da soja em floração plena. O aumento em WUE pode ser justificado em resposta a inoculação com a produção fitormônios e dos reguladores do crescimento que são secretados *R. palustris*. Segundo Wong *et al.* (2014), *R. palustris* é conhecido por produzir substâncias que promovem o crescimento das plantas, como ácido indol-3-acético (AIA). Desta forma, a aplicação de *R. palustris* sugere que esta molécula proporciona um aumento nos níveis de amido, açúcares, proteínas, enzimas, além, de incremento de biomassa de parte aérea e radicular, o qual proporciona um aumento de raízes primárias e secundárias, bem como um aumento em seu diâmetro (WEI *et al.*, 2014; XIAO *et al.*, 2019, AHAMAD *et al.*, 2019). Provavelmente, houve esta estimulação no crescimento das plantas de soja.

Os açúcares totais ou redutores são responsáveis por iniciar uma série de processos metabólicos que estão ligados diretamente ao crescimento e desenvolvimento das plantas (DANTAS *et al.*, 2008; PONTES *et al.*, 2002). Neste trabalho, os níveis de açúcares sofreram alterações durante os tratamentos, mas em sua grande maioria, os mesmos níveis permaneceram crescentes após a aplicação de *R. palustris*, mostrando que as aplicações modularam positivamente a quantidade de açúcares que são destinados aos grãos.

De forma similar, CHEN *et al.* (2021), relatam que doses intermediárias de melatonina, que é sintetizada por algumas bactérias roxas não sulfurosas – PNSB, como *R. palustris* (MANCHESTER *et al.*, 1995), aumentaram principalmente a

quantidade de açúcares redutores em sementes, e promovem um aumento da parte aérea, raiz e biomassa, além de incrementos na produtividade total dos frutos de romã quando submetidas a deficiência hídrica. Estas respostas em sementes, também podem acontecer durante outras fases da planta, devido aos açúcares desempenharem um papel fundamental nesta manutenção celular (SARROU *et al.*, 2021). Este fato corrobora com os resultados apresentados neste trabalho.

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP), são microrganismos que podem melhorar o desempenho das plantas de várias maneiras, como por exemplo, através da geração de compostos bioativos como aminoácidos, hormônios e enzimas (AFZAL *et al.*, 2019), como é o caso da *R. palustris*. O aumento no teor de proteína dos grãos, deve ser visto como um benefício por possibilitar melhorar o valor nutricional do farelo de soja e afetar seu valor comercial, visto que o farelo de soja destinado à exportação é classificado em três categorias, de acordo com seu teor proteico: HyPro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%) (WILCOX; SHIBLES, 2001; PIPOLO, 2015). No entanto, além da importância da concentração de proteína no grão, é fundamental lembrarmos da produtividade de proteína produzidos por hectare. Uma produtividade de 4800 kg ha<sup>-1</sup> de soja com 40 % de proteína resultará em 1920 kg ha<sup>-1</sup> de proteína em aproximadamente 120 dias de ciclo da soja. Os países compradores de soja brasileira, estão exportando proteína, com o gargalo logístico mundial, quanto maior o teor proteico nos grãos de soja, mais eficiência no transporte proteico é alcançado. (PIPOLO, 2015)

O crescimento das plantas de soja foi aumentado com o tratamento com *R. palustris* (1S1L e 1L). Resultados semelhantes foram obtidos na cultura do arroz por Harada *et al.* (2005), usando a *R. palustris*, o que indicou que o tratamento com esta bactéria aumentou significativamente a altura da planta. É possível que as raízes exploraram o perfil do solo, e aumentaram a absorção de nutrientes e água pelo estímulo ao sistema radicular (SHAFI *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018). Contudo, esperava-se aumento significativo na produtividade das plantas tratadas com a *R. palustris*, em função da maior fotossíntese observada na fase de crescimento vegetativo (Fig.), e melhor uso da água na fase reprodutiva (Fig.), bem como o acúmulo de biomoléculas importantes como aminoácidos e amido nas folhas (Fig.), e proteínas nos grãos (Fig.), demonstrando que as plantas tratadas com *R. palustris* estariam melhor preparadas para advenços de estresse ambiental. Embora

foi observado a tendência do tratamento 1L, apresentar maior produtividade, em torno de 300kg.ha<sup>-1</sup> quando comparado ao controle, não foram observadas diferenças significativas.

Acredita-se que a não alteração na produtividade pode estar relacionada as condições de manejo e clima. Apesar de dois períodos de estiagem durante o ciclo da soja, houve boas condições de temperatura, radiação, além das condições ideais da fertilidade do solo e com manejo nutricional para a altas produtividades. Portanto, as plantas não passaram por condições adversas severas, podemos observar as boas condições de cultivo através da média de produtividade encontrada no tratamento controle (78,34 sc ha<sup>-1</sup>), produtividade bem acima da média nacional na safra 2021/22 (58,9 sc ha<sup>-1</sup>) (CONAB, 2021). Assim, é possível que estes fatores não possibilitaram a expressão dos benefícios de produção de compostos da *R. Palustris* as plantas, refletidas em produtividade. Porém de forma geral, a aplicação de *R. palustris*, mostrou benefícios importantes nos estádios iniciais, melhorando a fisiologia e em estádios mais avançados aumentando teor de proteína e aminoácidos dos grãos.

No entanto, outros pesquisadores obtiveram resultados positivos em produtividade, como Zhao *et al.* (2021), que descreveram que a inoculação com *R. palustris* promoveu significativamente a produtividade do arroz, porém, a inoculação não inferiu nas características morfológicas das plantas. Relatos semelhantes sobre o aumento no crescimento de várias plantas cultivadas com a inoculação de *R. palustris* foram citados por outros estudos em experimentos de vaso e de campo (ATIENO *et al.*, 2012; XU *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2018). Arashida *et al.* (2019) descreveram a *R. palustris* como uma cepa promissora usada como biofertilizante, pois pode usar a luz solar como energia e converter o dióxido de carbono atmosférico em biomassa. Deste modo, sugere-se mais pesquisas com esta bactéria em condições diferentes de manejo e com as grandes culturas.

## 5 CONCLUSÃO

A aplicação de *R. palustris* melhora o desenvolvimento inicial das plantas de soja. Os aspectos altura de plantas, teores de amido, proteína e aminoácidos nos grãos também foram beneficiados com as aplicações. A aplicação foliar no início do desenvolvimento das plantas, proporcionou incremento nas variáveis fisiológicas e crescimento da soja.

Nas condições de clima e manejo deste trabalho a aplicação da *R. palustris* não afetou a produtividade da soja.

## REFERÊNCIAS

- AGROSTAT. **Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro**. Exportação Importação – Soja em Grãos. Disponível em: investexportbrasil.gov.br. Acesso em: jul. 2021.
- AKRAM, N. A; ASHRAF, M. Regulation in plant stress tolerance by a potential plant growth regulator, 5-aminolevulinic acid. **Journal of plant growth regulation**, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 663-679, 2013.
- ALMEIDA, L. A. *et al.* Melhoramento da soja para regiões de baixa latitude. *In*: QUEIRÓZ, M. A. de; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Org.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro**. Brasília: EMBRAPA, 1999. cap. 5, p. 73-88.
- ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 24, p. 1–15, 1949.
- BALBINOT JUNIOR, A. A. *et al.* **Crescimento de plantas de soja em função da redução da densidade de semeadura e sua relação com a produtividade**. – Londrina: Embrapa Soja, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLAV, 1992. p. 365.
- BULEGON, L. G.; GUIMARÃES, V. F.; LAURETH, J. C. U. Azospirillum brasilense affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 46, n. 3, p. 343–349, 2016.
- CÂMARA, T. M. M. *et al.* Genetic parameters of drought tolerance related traits in tropical maize. **Bragantia**, [S.l.], v. 66, n. 4, p. 595–603, 2007.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). **Acompanhamento da safra brasileira de grão**. Oitavo levantamento. Monitoramento agrícola. Safra 2019/20, v.7. Brasília: Conab, 2020.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Oitavo levantamento. Tabela de Dados – produção e balanço de oferta e demanda de grãos (Soja – safras 2019/20 e 2020/21). Brasília: Conab, 2021.
- CONCEÇO, G.; AGUILA, L. S.; VERNETTI JUNIOR, F. D. Produtividade da soja no Rio Grande do Sul: genética ou manejo?. **Revista Cultivar – Grandes Culturas**, [S.l.], v. 221, p. 1-4, 2017.
- CHA, J. Y. *et al.* **Microbial and biochemical basis of a Fusariumwilt-suppressive solo**. **The ISME Journal**, [S.l.], v.10, p. 119–129, 2016.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Yowa: Yowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1977. 11 p.

GAZZONI, D. L. A soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, [S.I.], v.70, n.3, p.16-18, 2018.

GAVA, R. *et al.* Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 9, n. 6, p.349-259, 2015.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, [S.I.], v. 59, p. 309-314, 1977.

HAVIR, E. A.; MCHALE, N. A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, [S.I.], v. 84, p. 450-455, 1987.

JALAKAS, P. *et al.* Gas exchange-yield relationships of malting barley genotypes treated with fungicides and biostimulants. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 99, p. 129-137, 2018.

KOESTER, R. P. *et al.* Has photosynthetic capacity increased with 80 years of soybean breeding? An examination of historical soybean cultivars. **Plant, Cell and Environment**, [S.I.], p.1-10, 2016.

KOUR, D.; *et al.* Microbial biofertilizers: bioresources and ecofriendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, Amsterdam, v. 23, p. 101487, 2020.

KUMAR, M. *et al.* Synergistic effect of *Pseudomonas putida* and *Bacillus amyloliquefaciens* ameliorates drought stress in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Plant Signaling & Behavior**, [S.I.], v. 11, n. 1, p. e1071004, 2016.

LARIMER, F. W. *et al.* Complete genome sequence of the metabolically versatile photosynthetic bacterium *Rhodospseudomonas palustris*. **Nature biotechnology**, [S.I.], v. 22, n. 1, p. 55-61. 2004.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *In*: WROLSTAD, R. E. (Ed.). **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: John Wiley and Sons, 2001. p. F4.3.1–F4.3.8.

LIN, J.; WANG, G. Doubled CO<sub>2</sub> could improve the drought tolerance better in sensitive cultivars than in tolerant cultivars in spring wheat. **Plant Science**, [S.I.], v. 163, p. 627-637, 2002.

LIU, X. Y. *et al.* Biological formation of 5-aminolevulinic acid by photosynthetic bacteria. **Journal of environmental sciences**, [S.I.], v. 17, n. 1, p. 152-155, 2005.

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

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas do mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora UNESP, 2010.

MIRANDA, G. V. *et al.* Desempenho de cultivares de soja IPRO no extremo oeste do Estado Paraná em baixa altitude. **Brazilian Journal of Development**, [S.l.], v. 7, n. 4, p. 34898-34911, 2021.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Departamento de Plantas de Lavoura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Evangraf, 2005. 31 p.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant & Cell Physiology**, [S.l.], v. 22, p. 867-880, 1981.

NELSON-SCREIBER, B. M.; SCHWEITZER, L. E. Limitations on leaf nitrate reductase activity during flowering and pod fill in soybean. **Plant Physiology**, [S.l.], v.80, p.454-458, 1985.

NUNKAEW, T. *et al.* Effects of 5-aminolevulinic acid (ALA)-containing supernatants from selected *Rhodospseudomonas palustris* strains on rice growth under NaCl stress, with mediating effects on chlorophyll, photosynthetic electron transport and antioxidative enzymes. **Electronic Journal of Biotechnology**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 19-26, 2014.

OEC - Observatory of Economic Complexity. **Economic Complexity Rankings (ECI)**. Disponível em: <https://oec.world/en/rankings/eci/hs6/hs96>. Acesso em: July 2021.

PÍPOLO, A. E. *et al.* **Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 14 p.

RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015.

REIS, V. M. **Uso de bactérias fixadoras de nitrogênio como inoculante para aplicação em gramíneas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 22 p.

SANTOS, E. R. *et al.* Divergência entre genótipos de soja, cultivados em várzea irrigada. **Revista Ceres**, [S.l.], v. 58, p.755-764, 2011.

SOUZA, T. C. *et al.* The influence of ABA on water relation, photosynthesis parameters, and chlorophyll fluorescence under drought conditions in two maize hybrids with contrasting drought resistance. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 35, p. 515 – 527, 2013.

SAKPIROM J. *et al.* Characterizations of purple non-sulfur bacteria isolated from paddy fields, and identification of strains with potential for plant growth-promotion, greenhouse gas mitigation and heavy metal bioremediation. **Research in Microbiology**, [S.l.], v. 168, p. 266–275, 2017.

SOUZA, T. C. *et al.* Early characterization of maize plants in selection cycles under soil flooding. **Plant breeding**, [S.l.], v. 131, n. 4, p. 493-501, 2012.

SPECHT, J. E. *et al.* Soybean. *In*: SMITH, S. *et al.* (ed.), Yield gains in major U.S. field crops. Madison, WI: CSSA special publication, 2014. p.311-356.

TEJO, D. P.; FERNANDES, C. H. S; BURATTO, J. S. Soja: fenologia, morfologia e fatores que interferem na produtividade. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia da FAEF**, [S.l.], v.35, n.1, p.1-9, 2019.

USDA – United States Department of Agriculture – Foreign Agricultural Service. **World agricultural production**. Circular Series, WAP 5-21, 2021. Disponível em: <https://www.usda.gov/> Acesso em: July 2021.