

Trocas gasosas em plantas de soja (*Glycine max*) expostas à micro-organismos solubilizadores de fosfato em sistema hidropônico.

Jesus, Andressa Pereira; Reis¹, Mateus Neri Oliveira¹; Bessa, Layara Alexandre¹; Vitorino, Luciana Cristina¹; Silva, Marialva Moreira²; Silva, Fabiano Guimarães¹.

¹Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde-GO, Laboratório de Metabolismo e Genética da Biodiversidade, Rodovia Sul Goiana, km 1, Zona Rural, CEP: 75901970 - Rio Verde, GO - Brasil; ²Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Avenida Jose Cândido da Silveira, 1647, CEP: 31170-000 - Belo Horizonte, MG - Brasil.

RESUMO

O estudo teve por objetivo avaliar as taxas fotossintéticas, transpiração, condutância estomática e a concentração interna de carbono em plantas de soja (*Glycine max*) expostas à micro-organismos solubilizadores de fosfato em sistema hidropônico. O experimento foi conduzido na casa de vegetação em sistema hidropônico. Foi utilizado esquema fatorial [(1x9x1)+3], os tratamentos foram constituídos de uma fonte de fosfato (CaHPO₄) e 9 microrganismos, além de três controles, sendo eles uma solução de CaHPO₄sem micro-organismos, uma solução completa sem microrganismos e o tratamento sem micro-organismos de solução sem fósforo, e uma época de avaliação. Foram mensurados a taxa fotossintética, concentração interna de carbono, condutância estomática e taxa de transpiração. Os micro-organismos PA12, SC15 e SC5 obtiveram melhor desempenho para a taxa fotossintética e a taxa de transpiração em relação ao tratamento de cálcio sem inoculação. Esses resultados indicam que tais micro-organismos auxiliam na fotossíntese confirmando a hipótese de que foram amplamente benéficos a solubilização de fosfato nas plantas de soja em cultivo hidropônico. A inoculação dos micro-organismos PA12, PA26, SC15 e SC5 melhorou a atividade fotossintética e a taxa de transpiração das plantas, com uma baixa concentração interna de CO₂, indicando que houve melhor eficiência na assimilação de CO₂, resultando numa melhora na fotossíntese líquida das plantas de soja em sistema hidropônico.

PALAVRAS-CHAVE: micro-organismos promotores de crescimento, fosfato de cálcio, fisiologia.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) representa uma atividade do importante do agronegócio para a economia brasileira, sendo a soja o cultivar que mais cresceu nos últimos anos, expressando os estados do Goiás e Mato Grosso cerca de 37% das safras do ano de 2020 (PEIXOTO *et al.*, 2018; MACHADO *et al.*, 2020).

Como ocorre com qualquer planta, o crescimento, seu desenvolvimento e produtividade vai depender do solo, manejo, clima e do genótipo, assim avaliações fisiológicas, tais como as trocas gasosas nos permitem avaliar e determinar o comportamento da planta em função do ambiente. Tal avaliação se baseia no efluxo de água e no influxo de dióxido de carbono, essas medidas são realizadas de forma pontual e instantânea na parte foliar da planta. As trocas

gasosas se mostram como um mecanismo importante para avaliar o desenvolvimento da planta, tais como outros dados fisiológicos (ARANTES, 2014).

O emprego de micro-organismos pode contribuir com uma maior resistência da planta a fatores abióticos e a um ambiente desfavoráveis ao seu desenvolvimento, temos a utilização de alguns microrganismos solubilizadores de fosfatos, que através da secreção de ácidos transformam fosfato insolúvel em uma forma solúvel, tornando o fósforo e outros nutrientes disponíveis para as planta e conseqüentemente melhorando seu crescimento e sua produtividade (INAGAKI, 2017; SOUTO, 2020).

Portanto, objetivou-se neste trabalho caracterizar as taxas fotossintéticas, transpiração, condutância estomática e a concentração interna de carbono em plantas de soja (*Glycine max*) expostas à micro-organismos solubilizadores de fosfato em sistema hidropônico.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho avaliou o potencial de 9 isolados microbianos rizosféricos, sendo 6 isolados de *Hymenaea courbaril* (H), 2 de *Butia archeri* (BA) e do produto comercial BiomaPHOS[®] como pode ser observado na tabela 1. As bactérias foram reativadas em meio Agar Nutriente – AN (3 g de extrato de carne, 5 g de peptona, 25 g de ágar, e H₂O qs 1 L), durante 48 horas a 35° em incubadora. Os isolados fúngicos foram reativados em Agar Batata Dextrose – BDA sólido, durante 07 dias a 35° em incubadora.

Tabela 1. Identificação dos micro-organismos solubilizadores de fosfato. B = Bactéria; F = Fungo.

Isolado	Código do isolado
<i>Penicillium sheari</i>	HSCR15-F (SC15)
<i>Epicoccum keratinophilum</i>	HSCR4-F (SC4)
<i>Hamigera insecticol</i>	BA33EF-F (33E)
<i>Codinaeopsis</i> sp.	BA328EF-F (328E)
<i>Bacillus cereus</i>	HSCE5-B (SC5)
<i>Bacillus thuringiensis</i>	HSCR10-B (SC10)
<i>Paenibacillus alvei</i>	HPAR12-B (PA12)
<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	HPAR26-B (PA26)
BiomaPHOS [®]	BRM034840 e BRM033112-B (Biomaphos)

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. Foram utilizadas sementes de soja da cultivar Bônus 8579 RSF IPRO, plantadas em bandejas plásticas com areia autoclavada, onde as plântulas permaneceram até atingirem um tamanho médio de 15 cm, sendo transferidas para vasos de 4 L em cultivo hidropônico, contendo as soluções nutritivas de Hoagland e Arnon (1950) com meia força iônica para adaptação, após uma semana foram mantidas em solução completa. Assim, quando a soja atingiu estágio R5 aos 76 dias, 10 ml do meio de cultivo de cada cepa foi inoculada na solução nutritiva de cálcio (CaHPO₄), juntamente com 10 g L⁻¹ de

glicose para estimular o crescimento microbiano na solução nutritiva, as avaliações ocorreram após 10 dias de exposição das plantas às cepas testadas (86 dias).

As trocas gasosas foram avaliadas com um analisador de gases do infravermelho (IRGA), equipado com um fluorômetro (modelo LI-6400xt, LI-COR Inc., Lincoln, USA). Com os seguintes parâmetros obtidos: assimilação líquida do CO₂ (*A*), condutância estomática de vapor d'água (*G_{sw}*), taxa transpiratória (*E*) e concentração interna de carbono (*C_i*), sempre na folha mais jovem completamente expandida e exposta ao sol. As medições foram realizadas entre 08:00h e 11:00h, utilizando radiação fotossinteticamente ativa (PAR) constante (1000 μmol fótons m⁻² s⁻¹), concentração atmosférica de CO₂, temperatura e umidade ambientes.

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso, sendo 09 tratamentos com micro-organismos (08 isolados + Biomaphos®) e dois tratamentos controle (plantas cultivadas em solução nutritiva sem micro-organismos e plantas cultivadas em solução nutritiva sem P. Todos os tratamentos foram avaliados em 05 repetições, sendo cada repetição constituída de 2 plantas por vaso. Os dados foram submetidos à análise de variância e foi aplicado o teste de Scott Knott para determinar as diferenças entre pares de médias utilizando-se o programa estatístico R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como observado na figura 1, a taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*) foi maior para as plantas inoculadas com as cepas PA12, PA26, SC15 e SC5 que tiveram um melhor desempenho em comparação com o tratamento sem micro-organismos e os demais tratamentos. A concentração interna de CO₂ (*C_i*) apresentou os maiores valores para o tratamento sem fósforo e para os micro-organismos 328EF e Biomaphos, enquanto que os demais tratamentos não tiveram diferença significativa. A condutância estomática (*G_{sw}*) foi maior para as plantas inoculadas com os micro-organismos 328EF, PA12, PA26, SC15 e SC5 e para as plantas sob solução sem micro-organismos. A taxa de transpiração (*E*), por sua vez, foi maior para as plantas sob solução sem micro-organismos e plantas inoculadas com os micro-organismos 328EF, PA12, SC15 e SC5.

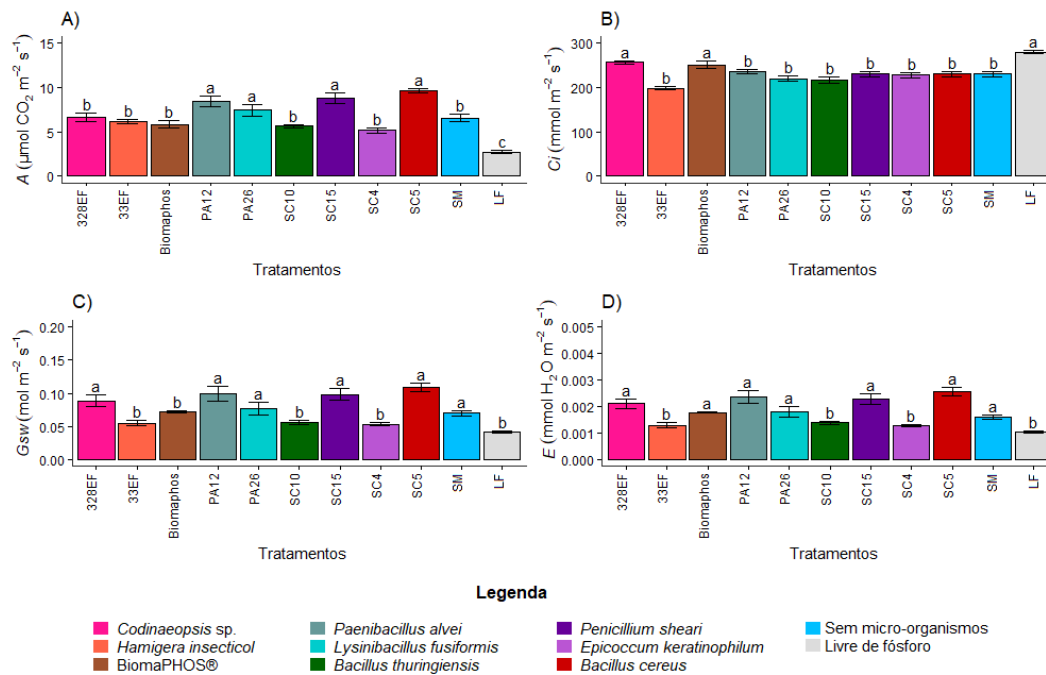


Figura 1. Taxa fotossintética (A) (A), Concentração interna de CO₂ (Ci) (B), condutância estomática (G_{sw}) (C) e taxa de transpiração (E) (D) em plantas de soja (*Glycine max*) no estágio R5, cultivadas em sistema hidropônico aos 86 dias de cultivo. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05% de probabilidade. SF – Solução sem fósforo; Sem Micro - Solução de cálcio sem micro-organismos.

Os resultados sobre a taxa fotossintética, mostram que as plantas inoculadas com os microrganismos PA12, PA26, SC15 e SC5 apresentaram um desempenho melhor que as plantas sob solução sem microrganismos e os demais tratamentos, isso se deve provavelmente a estes microrganismos terem uma boa capacidade de solubilizar o fosfato inorgânico da solução, produzir fito-hormônios e aumentar a capacidades destas plantas em absorver macronutrientes que estão ligados com as trocas gasosas da planta. Souza (2019) observou que microrganismos promotores de crescimentos de plantas (MPCP), contribuem para a melhora da taxa fotossintética através da síntese de substâncias promotoras de crescimento da planta e ácido orgânico.

Para a condutância estomática (G_{sw}), não houve diferença entre as plantas sob solução sem micro-organismos e os micro-organismos 328EF, PA12, PA26, SC15 e SC5, estudos apontam a correlação positiva entre A e G_{sw} bem como sua relação com o crescimento da planta (SOUSA et al., 2020; BOROWIAK et al., 2021). Já as plantas inoculadas com os micro-organismos 33EF, Biomaphos, SC10, SC4 e as planta sob solução sem fósforo apresentaram baixa condutância estomática. Mesmo não havendo melhora na G_{sw}, a redução neste mostra que as plantas com deficiência de P tem seu transporte de elétrons para o fotossistema I afetado (CARSTENSEN et al., 2018), possivelmente desviado a competição por nutrientes entre as plantas e os micro-organismos (MA et al., 2018).

A concentração interna de CO₂ (Ci) apresentou os maiores valores para as plantas sob solução livre de fósforo, sendo que para taxa fotossintética foi encontrado o menor valor para este mesmo tratamento. A taxa de Ci indica que baixa eficiência na capacidade de assimilação de CO₂ bem como redução da fotossíntese. Sousa et al., 2020 também encontrou correlação

negativa entre essas variáveis em plantas de *Hymenaea courbaril* L, em cultivo hidropônico (SOUSA et al., 2020).

A taxa de transpiração (*E*) foi maior para o tratamento de solução completa seguido dos micro-organismos 328EF, PA12, SC15 e SC5, mostrando assim que estes microrganismos são benéficos para a planta, estudos apontam que solubilizadores de fosfato melhoram a fotossíntese das plantas, aumentando o conteúdo de clorofila e taxa de transpiração, contribuindo com o desenvolvimento da planta (AUGÉ et al., 2008; ZHANG et al., 2014). Como aponta Silva *et al.*, (2020), o processo de transpiração regula a manutenção térmica da planta, controla a pressão osmótica e a turgidez, contribuindo com o transporte de nutriente para todas plantas através da água.

CONCLUSÃO

A inoculação dos micro-organismos PA12, PA26, SC15 e SC5 melhorou a atividade fotossintética e a taxa de transpiração das plantas, com uma baixa concentração interna de CO₂, indicando que houve melhor eficiência na assimilação de CO₂, resultando numa melhora na fotossíntese líquida das plantas de soja em sistema hidropônico.

REFERÊNCIAS

ARANTES, A. M. Trocas gasosa e predição do estado nutricional de bananeiras tipo prata em ambiente semiárido. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Viçosa – MG, 2014.

AUGÉ, R. M. et al. Hydraulic conductance and water potential gradients in squash leaves showing mycorrhiza-induced increases in stomatal conductance. **Mycorrhiza**, v. 18, n. 3, p. 115-121, 2008.

BOROWIAK, K. et al. The Effects of Various Doses and Types of Effective Microorganism Applications on Microbial and Enzyme Activity of Medium and the Photosynthetic Activity of Scarlet Sage. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 603, 2021.

CARSTENSEN, Andreas et al. The impacts of phosphorus deficiency on the photosynthetic electron transport chain. **Plant physiology**, v. 177, n. 1, p. 271-284, 2018.

HOAGLAND, D. R. et al. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.

INAGAKI, A. M. Trocas gasosas e morfometria de plantas de milho inoculadas com *Azopirillum brasilense* e fungos micorrízicos arbusculares sob adubação fosfatada. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Marechal Cândido Rondon – PN, 2017.

MA, Qingxu et al. Fertilizer regime changes the competitive uptake of organic nitrogen by wheat and soil microorganisms: an in-situ uptake test using ¹³C, ¹⁵N labelling, and ¹³C-PLFA analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 125, p. 319-327, 2018.

MACHADO, A. V. C. et al. Influência do déficit hídrico no período da fase vegetativa da soja. Trabalho apresentado ao III COMSOJA, Santa Maria – RS, 2020.

PEIXOTO, S. A. et al. Estudo econômico do cultivo de soja com safrinha de milho e girassol. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.15 n.27, 2018.

SILVA, M. A. et al. Individual and combined growth-promoting microorganisms affect biomass production, gas Exchange and nutriente contente in soybean plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 3, p. 619-632, 2020.

SOUSA, Daniele de Cássia Vieira de et al. Morpho-Anatomical and Physiological Responses Can Predict the Ideal Period for the Transplantation of Hydroponic Seedlings of *Hymenaea courbaril*, a Neotropical Fruit Tree. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 721, 2020.

SOUTO, L. A. Microrganismo solubilizadores de fostato: usos e potencialidades na agricultura. Trabalho apresentado ao Curso de Agronomia, Monte Carmelo, 2020.

SOUZA, B. R. Crescimento inicial de *Calophyllum brasiliense* Cambess (guanandi) tratado com substâncias húmicas e bactérias potencialmente promotoras do crescimento vegetal. Trabalho apresentando a Universidade de Brasília, Brasília-GO, 2019.

ZHANG, H.; QIN, Pei; ZHANG, Weiming. Effects of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungus and apophysomyces spartina on P-uptake of castor oil plant (*Ricinus communis* L.) and rhizosphere soil enzyme activities under salt stress. **Agricultural Science & Technology**, v. 15, n. 4, p. 659, 2014.