



MONITORAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO, AMÔNIA, ETILENO E ÓXIDO NÍTRICO DO SOLO ATRAVÉS DE UM PROTÓTIPO ARDUÍNO NA CULTURA DA SOJA

Rogério Kormann¹, Crysttian Arantes Paixão¹, Eduardo de Souza¹, Natalia Maria Martinazzo Angelo¹, Rubi Marcelo de Souza¹, Gabrielle França Ribeiro¹, Sonia Purin da Cruz¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, Santa Catarina
(rogerio.kormann@ufsc.br);

RESUMO: Nas últimas décadas, trabalhos sobre tecnologias de inoculação da soja têm focado no impacto dessa técnica sobre a fixação biológica de nitrogênio. Porém, a utilização de consórcios microbianos nessa cultura sugere alterações também na produção de gases como óxido nítrico, dióxido de carbono e etileno. Neste trabalho, propomos e demonstramos uma metodologia inédita para medir as concentrações de gases no solo através de um protótipo Arduíno na região rizosférica de plantas de soja (*Glycine max*) submetidas a inoculação padrão e coinoculação. Os resultados demonstram que houve maior concentração de CO₂ (346,44ppm), NH₃ (12,2ppm), C₂H₄ (0,46ppm) em plantas coinoculadas se comparado com plantas não inoculadas - CO₂ (324,51ppm), NH₃ (10,15ppm), C₂H₄ (0,43ppm). A metodologia aqui apresentada é simples e com facilidade operacional ímpar para coleta de dados, gerando dados inéditos em relação a tecnologias de inoculação da soja.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*, coinoculação, automação

INTRODUÇÃO

A inoculação da soja é uma técnica baseada na fixação biológica de nitrogênio por bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, quem fornecem quantidades substanciais de nitrogênio e eliminam a necessidade de fertilizantes industriais na cultura (JOCHUM *et al.*, 2016). Ao longo dos anos, porém, o uso de diferentes microrganismos consorciados mostrou-se uma técnica promissora, mas que ainda é pouco estudada em relação a seus impactos na rizosfera



da soja, particularmente desnitrificação (MILLER *et al.*, 2018), respiração microbiana (SHAHZAD *et al.*, 2015) e produção de etileno (RAVANBAKHSI *et al.*, 2018).

Apesar de sua importância no ciclo global, poucos são os estudos que analisam a concentração e variação dos principais gases do ciclo do nitrogênio e carbono na região rizosférica de plantas. Neste trabalho, propomos e demonstramos uma metodologia inédita para medir as concentrações de gases no solo através de um protótipo Arduino na região rizosférica de plantas de soja (*Glycine max*). Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a concentração de gases CO₂, NH₃, C₂H₄ e NO na região próxima ao sistema radicular da soja em plantas não inoculadas, inoculadas e coinoculadas através de um sistema de monitoramento de prototipagem eletrônica de hardware.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, no município de Curitibanos, SC (Latitude: 27° 16' 60" Sul, Longitude: 50° 35' 7" Oeste). A condução do experimento seguiu as instruções normativas SDA nº 13, de 24 de março de 2011 e Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013 e contou com a colaboração da empresa BioTrop, fornecedora dos inoculantes utilizados no experimento. O estudo foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e sete repetições. As sementes do tratamento T2 receberam inoculação padrão com *Bradyrhizobium japonicum*, na dose de 2ml kg⁻¹. As sementes do tratamento T3 foram coinoculadas com *B. japonicum*, *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* na dose de 3mL kg⁻¹ de sementes.

O sistema geral de captação de dados consiste em uma matriz composta por um sensor MQ-135, um microcontrolador (Arduino Uno) para leitura dos sensores, um módulo gravador de dados de cartão SD e um software desenvolvido para captura e gravação no cartão *Secure Digital* - SD. O sensor de gás MQ-135 é comumente usado para monitoramento da qualidade do ar, detectando amônia, dióxido de carbono, benzeno, óxido nítrico, e etileno. Para a captura de dados, um Arduino programado salvou leituras do sensor em um arquivo de texto para o cartão SD a cada 5 segundos. O sensor funciona com uma resistência elétrica que aquece o ar e é alimentada com 3.3V. Esse sensor foi colocado em um cano de Policloreto de



Vinilo - PVC-V 6,3” com 15cm de comprimento, em posição vertical e mantido com 12,5 cm abaixo do solo e 2,5cm acima da linha do solo.

A leitura dos gases iniciou a partir do raleio das plantas (11 dias após a semeadura) e durou por 9 dias. Os dados analisados são valores médios ao longo deste período. A análise estatística foi gerada através da versão gráfica do pacote do expdes, o GexpDes, do ambiente de software livre para computação estatística e gráficos R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados presentes na Tabela 1 ressaltam que o T3 promoveu as maiores médias de NH₃, C₂H₄ e CO₂, porém menores valores de NO_x.

Tabela 1. Valores médios da quantificação de gases na região rizosférica de plantas de soja (*Glycine max*) após 20 dias de plantio e seus respectivos coeficientes de variação (CV%)

Tratamento	NH ₃ (Partes por milhão - PPM)	NO _x (Partes por milhão - PPM)	C ₂ H ₄ (Partes por milhão - PPM)	CO ₂ (Partes por milhão - PPM)
T1	10,15 b ^{1/}	0,513a	0,43 b	324,51c
T2	10,95 ab	0,502a	0,44 b	332,61b
T3	12,2 a	0,465b	0,46 a	346,44a
CV (%)	9,23	3,92	2,95	0,47

^{1/} Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação a gases do ciclo no N, houve diferença na concentração de NH₃ entre T1 (10,15ppm) e T3 (12,2ppm). A maior concentração em T3 pode ser explicada pela coinoculação com *Azospirillum* e sua capacidade de redução do nitrogênio atmosférico (SOARES *et al.*, 2021). Já os valores de NO_x não podem ser considerados estatisticamente diferentes entre T1 (0,513ppm) e T2 (0,502ppm), porém foram menores em T3 (0,465ppm).

Já em relação a gases do ciclo do C, houve diferença na concentração de C₂H₄ em T1 (0,43ppm) e T2 (0,44ppm) em relação a T3 (0,46ppm). Segundo Jain *et al.* (2021) essa variação também é explicada pela capacidade de *Azospirillum* estimular o crescimento da planta. Com relação a CO₂, o maior valor foi observado no T3 (346,44ppm). O CO₂ do solo provém principalmente da respiração da rizosfera, decomposição microbiana de rizodepositos de raízes vivas e decomposição microbiana de matéria orgânica. As raízes das plantas exalam



exudatos, que são usados como fonte de energia para microorganismos, e desta forma, estimulam o crescimento microbiano na rizosfera, levando à produção de enzimas extracelulares e aumentando a decomposição do C orgânico do solo (SHAHZAD *et al.*, 2015).

CONCLUSÕES

O monitoramento da fase gasosa na região rizosférica de plantas de soja é imperativo para entender a atuação direta dos microorganismos na disponibilidade de nutrientes para as plantas e qualidade do solo. Nesse sentido, o protótipo desenvolvido no presente estudo mostra-se uma ferramenta inovadora, simples e com facilidade operacional ímpar para coleta de dados, gerando dados inéditos em relação a tecnologias de inoculação da soja.

REFERÊNCIAS

- JAIN, Devendra *et al.* Phenetic Characterization of Nitrogen Fixing Azotobacter from Rhizospheric Soil of Southern Rajasthan. **Journal Of Pure And Applied Microbiology**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 428-436, 27 fev. 2021. Journal of Pure and Applied Microbiology. <http://dx.doi.org/10.22207/jpam.15.1.40>.
- JOCHUM, Tobias; FASTNACHT, Agnes; TRUMBORE, Susan E.; POPP, Jürgen; FROSCHE, Torsten. Direct Raman Spectroscopic Measurements of Biological Nitrogen Fixation under Natural Conditions: an analytical approach for studying nitrogenase activity. **Analytical Chemistry**, [S.L.], v. 89, n. 2, p. 1117-1122, 22 dez. 2016. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.analchem.6b03101>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.analchem.6b03101>. Acesso em: 03 set. 2021.
- MILLER, David J. *et al.* Isotopic Composition of In Situ Soil NO_x Emissions in Manure-Fertilized Cropland. **Geophysical Research Letters**, [S.L.], v. 45, n. 21, p. 58-66, 12 nov. 2018. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2018gl079619>.
- RAVANBAKHS, Mohammadhossein *et al.* Microbial modulation of plant ethylene signaling: ecological and evolutionary consequences. **Microbiome**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 6-52, 21 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s40168-018-0436-1>.
- SOARES, Deyvison de Azevedo *et al.* GRAIN SORGHUM GROWN AS SECOND CROP AND INOCULATED WITH *Azospirillum brasilense* ASSOCIATED WITH NITROGEN FERTILIZATION. **Revista de Agricultura Neotropical**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 5117-5118, 19 jul. 2021. Revista de Agricultura Neotropical. <http://dx.doi.org/10.32404/rean.v8i3.5117>.