

## APLICAÇÃO DE *Pseudomonas fluorescens* ALTERA O METABOLISMO DE PLANTAS DE ARROZ IRRIGADO SOB DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO

NATAN DA SILVA FAGUNDES<sup>1</sup>; KETHLEN BEATRIZ DE OLIVEIRA KURTZ<sup>2</sup>; VITÓRIA DOS SANTOS SOUZA; THAÍS VERGARA COSTA<sup>2</sup>; ANA CAROLINA DE OLIVEIRA ALVES<sup>2</sup>; SIDNEI DEUNER<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – natanfagundes@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – kethlenkurtz@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – vitoriasantosagronomia@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – tvergaracosta@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pelotas – aco.alves@outlook.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – sdeuner@yahoo.com.br

### 1. INTRODUÇÃO

O arroz é um dos principais cereais cultivados no mundo, com uma área aproximada de 200 milhões de hectares colhidas no ano de 2022 (FAOSTAT, 2024). Só o Brasil produziu 10,6 milhões de toneladas de arroz em casca na safra de 2023/24, com aproximadamente 78% dessa produção proveniente de lavouras dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, onde as produtividades médias foram de 7,95 t ha<sup>-1</sup> e 7,8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CONAB, 2024).

Ao analisar os nutrientes necessários para a planta, verifica-se que, depois do nitrogênio, o fósforo é o macronutriente que mais pode limitar o desenvolvimento das plantas, pois é fundamental para a síntese de DNA, RNA, ATP e NADPH, além de ser constituinte dos fosfolipídeos presentes nas membranas celulares. Além disso, o fósforo faz parte do metabolismo e do processo de fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio das plantas, auxiliando também na ativação de várias enzimas pela fosforilação (POIRIER; BUCHER, 2002; VANCE; UHDE; STONE; ALLAN, 2003). Na deficiência desse nutriente, as folhas das plantas exibem uma coloração verde-escura mais intensa que o normal, indicando uma limitação na fotossíntese. Além disso, essas folhas podem ser menores, mais estreitas e apresentar manchas necróticas (TAIZ et al., 2015).

Visando reduzir esses prejuízos, muitos produtores buscam alternativas mais baratas que adubos químicos. Uma das alternativas encontradas é a inoculação de sementes rizobactérias promotoras de crescimento, processo que pode melhorar o crescimento das plantas ao aumentar o fornecimento de nutrientes essenciais e auxiliar na manutenção da saúde da rizosfera e do solo como um todo (ORHAN et al., 2006).

Diversas espécies, como milho, trigo e arroz, podem se beneficiar da ação de bactérias mobilizadoras de fósforo, que facilitam a conversão do fósforo fixo no solo em formas mais acessíveis para as plantas. Estudos sobre as comunidades bacterianas no ambiente radicular mostraram que *Pseudomonas fluorescens* é uma rizobactéria capaz de promover o crescimento das plantas por meio de diversos mecanismos (MIRZA et al., 2006; AHMED et al., 2008; SAHARAN et al., 2010). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da inoculação de rizobactérias promotoras de crescimento, especialmente a *Pseudomonas fluorescens*, na melhoria da disponibilidade de fósforo no solo e no desenvolvimento do arroz.

### 2. METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação na Universidade Federal de Pelotas (UFPEl) com a cultivar de arroz IRGA 424 RI. A semeadura foi realizada em baldes com capacidade para oito litros, preenchidos com oito quilos

de solo provenientes do Centro Agropecuário da Palma. Foram mantidas três plantas por repetição até o final do ciclo, sendo a realizada de acordo com a recomendações para a cultura (SOSBAI, 2022). Os tratamentos utilizados foram: T1 - Testemunha: Adubação de base + nitrogênio em cobertura; T2 - Adubação de base + cobertura associado ao tratamento das sementes com *Pseudomonas fluorescens*; T3 - Adubação de base + 50% da recomendação de nitrogênio em cobertura; T4 - Adubação de base + 50% da recomendação de nitrogênio em cobertura + *Pseudomonas fluorescens*. A adubação fosfatada foi realizada durante a fase de pré-semeadura e posteriormente incorporada ao solo.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R1 e R4, os dados de taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> e de eficiência do uso da água foram quantificados através de um analisador de gases infravermelho (IRGA) da marca LI-COR (LI6400). A condutância estomática, transpiração, taxa do rendimento quântico efetivo do fotossistema II e taxa de transferência de elétrons foram mensurados com porômetro e o fluorômetro Li-600 (LI-COR Biosciences Lincoln, NE, EUA). O índice de clorofilas foi analisado com um clorofilômetro da marca Falker (modelo CFL1030). O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com cinco repetições. Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk e para a análise da variância (ANOVA) foi utilizando o software Rbio (BHERING, 2017). Após, utilizou-se um teste de Tukey (5%) para comparação de médias.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando a Tabela 1, é possível observar que a redução do fósforo e o tratamento com *Pseudomonas fluorescens* não alteraram os resultados de taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), independente do estágio fenológico da cultura. Apenas no estágio R4 a redução do fósforo afetou a condutância estomática (*g<sub>s</sub>*) das plantas de arroz irrigado, entretanto não houve diferença estatística entre os tratamentos com e sem o tratamento de *Pseudomonas fluorescens*.

Em relação aos resultados de transpiração (*E*), foi possível verificar que os tratamentos com menor dose de fósforo tiveram sua transpiração reduzida no estágio R4. Já a eficiência do uso da água (*EUA*) foi menor nas plantas com menor dose de fósforo e tratamento com *Pseudomonas fluorescens*, no estágio R4, entretanto não houve diferença estatística.

**Tabla 1:** Dados da taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (*EUA*).

Estádios:	Trat.	<i>A</i> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<i>g<sub>s</sub></i> ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<i>E</i> ( $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	<i>EUA</i> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ )
R1	T1	22,81 a*	0,41 a	3,80 a	2,03 a
	T2	24,24 a	0,40 a	3,24 a	2,34 a
	T3	23,68 a	0,32 a	2,51 a	2,15 a
	T4	22,82 a	0,32 a	2,38 a	2,00 a
	<b>CV:</b>	<b>9,55</b>	<b>22,5</b>	<b>28,11</b>	<b>33,71</b>
R4	T1	19,03 a	0,81 a	5,54 a	2,28 a
	T2	20,96 a	0,85 a	4,78 b	2,23 a
	T3	20,35 a	0,47 b	2,88 c	1,99 ab
	T4	19,48 a	0,49 b	2,94 c	1,88 b
	<b>CV:</b>	<b>11,42</b>	<b>19,99</b>	<b>8,31</b>	<b>9,07</b>

\*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas compram os tratamentos dentro de cada período de avaliação. CV: coeficiente de variação.

Analisando a Tabela 2, pode-se observar que a redução do fósforo e o tratamento com *Pseudomonas fluorescens*, não resultaram em alteração no índice de clorofila, independente do estágio da cultura. Apesar disso, a taxa do rendimento quântico do fotossistema II foi maior nas plantas com menor dose de fósforo no estágio R1. Quando analisados os dados de taxa de transferência de elétrons, observou-se que apenas o tratamento sem tratamento com *Pseudomonas fluorescens* e dose normal de fósforo (T1) apresentou diferença estatística no estágio R1. Já no estágio R4, o tratamento com menor dose de fósforo e sem o tratamento com *Pseudomonas fluorescens* (T4) apresentou, numericamente, a menor taxa de transferência de elétrons.

**Tabla 2:** Índice de clorofila (IC), taxa do rendimento quântico efetivo do fotossistema II (FSII) e taxa de transferência de elétrons (ETR).

Estádios:	Trat.	IC	FSII	ETR ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
R1	T1	61,16 a*	0,63 b	153,0 a
	T2	62,75 a	0,55 c	118,7 b
	T3	58,59 a	0,64 ab	95,5 b
	T4	60,34 a	0,70 a	92,4 b
	<b>CV</b>	<b>18,6</b>	<b>5,83</b>	<b>14,38</b>
R4	T1	43,71 a	0,71 a	200,9 a
	T2	44,56 a	0,69 a	168,7 ab
	T3	41,43 a	0,71 a	123,8 c
	T4	42,54 a	0,64 a	155,2 bc
	<b>CV</b>	<b>5,20</b>	<b>7,29</b>	<b>14,89</b>

\*Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Letras maiúsculas compram os tratamentos dentro de cada período de avaliação. CV: coeficiente de variação.

Os resultados diferiram parcialmente dos encontrados por Singh; Reddy (2015) e Rady et al. (2020) e, destacando que a inoculação de sementes de arroz com bactérias solubilizadoras de fósforo melhoraram significativamente a condutância estomática, o conteúdo de clorofila, o rendimento quântico do FSII e a taxa de transporte de elétrons.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a redução do fósforo impacta alguns aspectos fisiológicos das plantas de arroz irrigado, especialmente quando as plantas estão no estágio fenológico R4, afetando a condutância estomática e a transpiração, e resultando em menor eficiência do uso da água. No entanto, o tratamento das sementes com *Pseudomonas fluorescens*, resultou em respostas positivas, uma vez que, com redução de 50% da aplicação de fósforo na forma mineral, as plantas mantiveram sua taxa fotossintética e a síntese de clorofilas, indicadores fundamentais para a produtividade da cultura.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, M. F.; KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M. L.; DEAKER, R. Phosphorus Adsorption in Some Australian Soils and Influence of Bacteria on the Desorption of Phosphorus. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 39, n. 9–10, p. 1269–1294, maio 2008.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187–190, jun. 2017.

**Conab - Arroz**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/900-arroz>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

FAOSTAT. **Crops and livestock products primary**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>>. Acesso em: 27 jun. 2024.

MIRZA, M. S.; MEHNAZ, S.; NORMAND, P.; PRIGENT-COMBARET, C.; MOËNNE-LOCCOZ, Y.; BALLY, R.; MALIK, K. A. Molecular Characterization and PCR Detection of a Nitrogen-Fixing Pseudomonas Strain Promoting Rice Growth. **Biology and Fertility of Soils**, v. 43, n. 2, p. 163–170, 27 nov. 2006.

ORHAN, E.; ESITKEN, A.; ERCISLI, S.; TURAN, M.; SAHIN, F. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Yield, Growth and Nutrient Contents in Organically Growing Raspberry. **Scientia Horticulturae**, v. 111, n. 1, p. 38–43, dez. 2006.

POIRIER, Y.; BUCHER, M. Phosphate Transport and Homeostasis in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, v. 1, p. e0024, jan. 2002.

RADY, M. M.; EL-SHEWY, A. A.; SEIF EL-YAZAL, M. A.; ABD EL-GAWWAD, I. F. M. Integrative Application of Soil P-Solubilizing Bacteria and Foliar Nano P Improves Phaseolus Vulgaris Plant Performance and Antioxidative Defense System Components under Calcareous Soil Conditions. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 820–839, set. 2020.

SINGH, S. K.; REDDY, V. R. Response of Carbon Assimilation and Chlorophyll Fluorescence to Soybean Leaf Phosphorus across CO<sub>2</sub>: Alternative Electron Sink, Nutrient Efficiency and Critical Concentration. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 151, p. 276–284, out. 2015.

SAHARAN, K.; SARMA, M. V. R. K.; SRIVASTAVA, R.; SHARMA, A. K.; JOHRI, B. N.; PRAKASH, A.; SAHAI, V.; BISARIA, V. S. Development of Non-Sterile Inorganic Carrier-Based Formulations of Fluorescent Pseudomonad R62 and R81 and Evaluation of Their Efficacy on Agricultural Crops. **Applied Soil Ecology**, v. 46, n. 2, p. 251–258, out. 2010.

SHAHAROONA, B.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z.; KHALID, A. Performance of Pseudomonas Spp. Containing ACC-Deaminase for Improving Growth and Yield of Maize (Zea Mays L.) in the Presence of Nitrogenous Fertilizer. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 9, p. 2971–2975, set. 2006.

SOSBAI (ed.). **Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil: XXXIII Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**. 33. ed. Restinga Seca, RS: Sosbai, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. S. **Plant physiology and development**. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers, 2015.

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus Acquisition and Use: Critical Adaptations by Plants for Securing a Nonrenewable Resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423–447, mar. 2003.