

## SELEÇÃO DE CULTIVARES DE SOJA PARA TOLERÂNCIA À DEFICIÊNCIA DE FÓSFORO

THAIS ONGARATTO DE CAMARGO<sup>1</sup>; GUSTAVO ZIMMER<sup>2</sup>; AMANDA  
MARTINS SILVA<sup>3</sup>; LILIAN VANUSSA MADRUGA DE TUNES<sup>4</sup>; ANDRÉIA DA  
SILVA ALMEIDA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [ongarattothais@gmail.com](mailto:ongarattothais@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [gstzimmer@hotmail.com](mailto:gstzimmer@hotmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [martins.amanda33@gmail.com](mailto:martins.amanda33@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas – [lilianmtunes@yahoo.com.br](mailto:lilianmtunes@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Universidade Federal de Pelotas - [andreiasalmeida@yahoo.com.br](mailto:andreiasalmeida@yahoo.com.br)

### 1. INTRODUÇÃO

A soja é a oleaginosa mais expressiva mundialmente com mais de 124 milhões de hectares cultivados e 336 milhões de toneladas de grãos produzidos na safra 2017/2018 (USDA, 2018) constituindo importante fonte de proteína para alimentação humana e animal (WANG et al., 2016). Nos próximos anos, a demanda pela cultura deve aumentar significativamente em decorrência do aumento da produção mundial de carne (CATTELAN e DALL'AGNOL, 2017), o que exigirá incrementos significativos de produtividade.

A nutrição adequada é pré-requisito para a obtenção de elevadas produtividades. Dentre os nutrientes exigidos pelas plantas, o fósforo é frequentemente um fator limitante ao desenvolvimento dos cultivos. Este nutriente é um componente crucial nas moléculas de DNA, RNA, ATP e fosfolipídios de membrana (PÉRET et al., 2011), participando ativamente dos processos de fotossíntese, respiração e metabolismo de carboidratos (RAGHOTHAMA, 1999). Na cultura da soja, plantas deficientes em fósforo apresentam crescimento reduzido e folhas mais velhas com coloração verde azulada (SFREDO e BORKERT, 2004).

A deficiência de fósforo desencadeia respostas adaptativas que visam reduzir o uso e aumentar a absorção e reciclagem de fósforo (PÉRET et al., 2011). Dentre estas respostas, encontram-se modificações morfológicas, como a redução do comprimento da raiz primária e o maior crescimento das raízes laterais e pelos radiculares (PÉRET et al., 2011), e metabólicas, como o aumento na síntese de fosfatases ácidas, de hidrolases, de transportadores de fósforo de elevada afinidade, o uso de desvios metabólicos visando a economia de ATP e a manutenção do fluxo respiratório, a substituição dos fosfolipídios de membrana por sulfolipídios e galactolipídios e a excreção de ácidos orgânicos (PLAXTON e TRAN, 2011).

As reservas mundiais de fósforo estão diminuindo rapidamente e devem ser exauridas no próximo século (CORDELL et al., 2009). Em contrapartida, aplicações excessivas deste nutriente estão relacionadas a eutrofização dos recursos hídricos, tornando a reciclagem do fósforo um fator crítico para a redução da poluição de águas superficiais (CARPENTER, 2008). Nesse sentido, a utilização de cultivares de soja tolerantes a deficiência de fósforo permitiria a diminuição das quantidades de adubos fosfatados aplicados e uma produção agrícola mais sustentável.

Na literatura brasileira existem poucos estudos que tenham avaliado a tolerância de cultivares de soja a deficiência de fósforo. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar cultivares de soja tolerantes a deficiência de fósforo.

## 2. METODOLOGIA

Foram avaliadas 16 cultivares de soja. Inicialmente, 50 sementes de cada cultivar foram semeadas em bandejas contendo uma mistura 1:1 de solo (Planossolo) e fibra de coco. Após 7 dias, foram selecionadas plântulas uniformes quanto ao vigor e tamanho de plântula as quais foram transferidas para vasos de 700 mL revestidos por sacos de polietileno de coloração preta. Em seguida, quatro plantulas por vaso foram fixadas em placas de isopor tingidas de preto utilizando cubos de espuma fenólica. Cada vaso foi preenchido com solução nutritiva adaptada de Hoagland à meia força composta por 0,5 mM de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2,5 mM de  $\text{KNO}_3$ , 2,5 mM de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , 1,0 mM de  $\text{MgSO}_4$ , 1,43 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 0,9 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 0,11 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,04 mg L<sup>-1</sup>  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 0,0134 mg L<sup>-1</sup> de  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e sais férreos 2,28 mg L<sup>-1</sup>  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  e 3,82 mg L<sup>-1</sup> EDTA . Na. O pH foi corrigido para 6,0 através da adição de HCL e/ou NaOH.

Para cada cultivar, três vasos foram submetidas ao cultivo sob condições de suficiência de fósforo, os quais foram utilizados na determinação da capacidade máxima de desenvolvimento. Para o tratamento com limitação de fósforo foram fornecidos 0,005 mM L<sup>-1</sup> de P e, de modo a satisfazer a demanda de K para o crescimento das plantas, o  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  foi substituído por KCl. Realizou-se a troca da solução a cada 3 dias e após 28 dias as seguintes características foram avaliadas:

- a) Área foliar (AF): realizada através de três repetições de quatro plantas, através de medidor de área foliar modelo LI3100 (LI-COR Biosciences).
- b) Massa de matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR): realizada aos 28 dias a partir de 3 amostras de 4 plântulas por cultivar. As plantas foram separadas em parte aérea e raiz e colocadas em envelopes de papel pardo e levadas a estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 70 °C, até massa constante, determinada em balança de precisão.
- c) Massa de matéria seca total: Calculada através da soma dos valores observados para matéria seca de parte aérea e raiz.
- d) Razão raiz/parte aérea (RRPA): calculada através da divisão dos valores observados para massa de matéria seca de raiz e de parte aérea.

O experimento foi conduzido em Blocos Completos Casualizados com 3 repetições, em esquema fatorial simples [Cultivares (16) x Doses de fósforo (2)]. Contudo, visando desconsiderar o desempenho diferencial inerente ao genótipo quando em condições ideais de cultivo, a média dos valores obtidos para cada cultivar sob suficiência de fósforo foi considerado como 100%. Dessa maneira, os resultados de cada cultivar sob condições limitantes de fósforo foram divididos pela média da cultivar sob condições ideais, transformando esses resultados em percentual. Posteriormente, os dados transformados foram submetidos à análise de variância e, quando as pressuposições da análise foram atendidas, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a característica área foliar, não foram observadas diferenças entre as cultivares pelo Teste de Tukey e, dessa maneira, os resultados não são apresentados neste trabalho. Os resultados de percentual médio para as características massa de matéria seca de raiz, massa de matéria seca de parte

aérea, massa de matéria seca total e razão raiz/parte aérea, comparativamente às condições ideais de cultivo, são apresentados na Tabela 1.

Para a característica MSR, pode-se observar que a cultivar DM53i54 apresentou o melhor desempenho com um aumento de 30,2% da MSR em relação as condições ideais de cultivo. A cultivar diferiu estatisticamente de 10 das cultivares testadas, apresentando desempenho similar às cultivares NS6209, M5947, DM61i59 e DM5958. A cultivar com o pior desempenho foi CD2737, com uma redução de 24,1% da MSR em relação as condições ideais de cultivo. ZENG et al. (2016) não observaram a redução da matéria seca de raiz para a cultivar Williams 82 submetidas ao cultivo por sete dias sob limitação de fósforo.

Tabela 1. Desempenho (%) de cultivares de soja submetidas ao cultivo sob condições limitantes de fósforo.

Cultivar	MSR (%)	MSPA (%)	MMST (%)	RRPA (%)
NS6535	86,5 cd	61,0 ab	66,6 abc	141,9 cdef
NS6209	102,9 abcd	66,5 ab	73,4 abc	154,0 bcde
NA5909	96,9 bcd	66,2 ab	71,4 abc	145,2 cdef
NS5258	97,3 bcd	68,5 ab	74,1 abc	141,0 def
M5947	122,3 ab	64,1 ab	73,5 abc	190,6 a
M5730	91,4 cd	66,0 ab	70,8 abc	139,3 def
BMX Ícone IPRO	108,6 abc	70,4 ab	78,1 ab	153,7 bcde
BMX Delta IPRO	81,9 cd	67,6 ab	70,9 abc	121,1 f
BMX Zeus IPRO	81,9 cd	65,5 ab	69,3 abc	124,6 ef
BMX Raio IPRO	87,6 cd	57,9 ab	64,0 bc	150,2 bcdef
BMX Garra IPRO	94,3 bcd	69,1 ab	74,3 abc	135,2 def
DM61i59	109,0 abc	60,5 ab	69,3 abc	181,0 ab
DM53i54	130,2 a	76,1 a	85,7 A	171,9 abc
DM5958	105,0 abcd	64,9 ab	72,9 Abc	159,3 bcd
DM66i68	88,5 cd	72,3 ab	75,6 Abc	121,4 f
CD2737	75,9 d	54,7 b	58,4 C	139,8 def

\*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, em nível de 5% de probabilidade de erro, pelo Teste de Tukey.

Para a característica MSPA, foi constatada diferença estatística apenas entre as cultivares DM53i54 e CD2737 onde a primeira apresentou o melhor desempenho entre as cultivares, com redução de apenas 23,9%. ZENG et al. (2016) observaram a redução significativa da massa de parte área em plantas de soja submetidas a deficiência de fósforo.

Para a característica MMST, novamente observou-se o melhor desempenho para a cultivar DM53i54 onde foi observada uma redução de apenas 14,3%. Contudo, a cultivar diferiu estatisticamente apenas frente as cultivares BMX Raio IPRO e CD2737. A cultivar CD2737 apresentou o pior desempenho com uma redução de 42,6% para a MMST em relação as condições ideais de cultivo.

Para a característica RRPA a cultivar com o melhor desempenho foi a M5947 com um aumento de 90,6% em relação as condições ideais de cultivo. Entretanto, a cultivar não diferiu estatisticamente das cultivares DM61i59 e DM53i54. As cultivares com o pior desempenho foram DMX Delta IPRO e DM66i68, as quais não diferiram estatisticamente de outras oito cultivares avaliadas. A alocação diferencial de carbono entre raízes e parte área é

característica de plantas deficientes em fósforo resultando em maior RRPA (LIU e VANCE, 2010; ZENG et al., 2015).

#### 4. CONCLUSÕES

A cultivar DM53i54 pode ser considerada como mais tolerante a deficiência de fósforo enquanto a cultivar CD2737 pode ser considerada como mais suscetível.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARPENTER, S. R. Phosphorus control is critical to mitigating eutrophication. **PNAS**, Washington, v. 105, n. 32, p. 11039-11040, 2008.
- CATTELAN, A. J.; DALL'AGNOL, A. The rapid soybean growth in Brazil. **OCL**, v. 25, n. 1, p.1-12, 2018.
- CORDELL, D.; DRANGERT, J.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, Guildford, v. 19, p. 292–305, 2009.
- LIU, J.; VANCE, C. P. Crucial roles of sucrose and microRNA399 in systemic signaling of P deficiency: A tale of two team players? **Plant Signaling & Behavior**, Londres, v. 5, n. 12, p. 1556-1560, 2010.
- PÉRET, B.; CLÉMENT, M.; NUSSAUME, L.; DESNOS, T. Root developmental adaptation to phosphate starvation: better safe than sorry. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 16, n. 8, p. 442-450, 2011.
- PLAXTON, W. T.; TRAN, H. T. Metabolic Adaptations of Phosphate-Starved Plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 156, n. 3, p. 1006–1015, 2011.
- RAGHOTHAMA, KG. Phosphate acquisition. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol**, Palo Alto, v. 50, p. 665–693, 1999.
- SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M. **Deficiências e toxicidades de nutrientes em plantas de soja: Descrição dos sintomas e ilustração com fotos**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2004. 44p.
- USDA (United States Department of Agriculture). **World agricultural production**. Acessado em 08 ago. 2018. Online. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>
- WANG, Q.; WANG, J.; YANG, Y.; DU, W.; ZHANG, D.; YU, D.; CHENG, H. A genome-wide expression profile analysis reveals active genes and pathways coping with phosphate starvation in soybean. **BMC Genomics**, v.17, n. 192, 2016.
- ZENG, H.; WANG, G.; ZHANG, Y.; HU, X.; PI, E.; ZHU, Y.; WANG, H.; DU, L. Genome-wide identification of phosphate-deficiency-responsive genes in soybean roots by high-throughput sequencing. **Plant Soil**, The Hague, v. 398, p. 207–227, 2016.