

3. Inoculantes e seus efeitos sobre as plantas

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Jerri Edson Zilli

Fábio Bueno dos Reis Junior

Itamar Soares de Melo

Marco Antonio Nogueira

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Anderson Ferreira

Vinicius de Melo Benites

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Introdução

As principais tecnologias pesquisadas nos projetos da Embrapa que visam estimular a nutrição vegetal e utilizam microrganismos vivos concentram-se em seis efeitos principais:

- a) fixação do nitrogênio atmosférico em simbiose ou associação com raízes das plantas;
- b) solubilização de fósforo;
- c) solubilização de potássio;
- d) aumento da eficiência de uso dos nutrientes;
- e) tolerância à seca; e
- f) promoção do crescimento.

Para fins de PD&I, há diversas espécies de bactérias e de fungos, que compõem os inoculantes, que poderiam ser estudadas para desenvolvimento de produtos para aplicação na nutrição vegetal. Na Tabela 3.1, estão reunidos alguns exemplos de gêneros microbianos que têm diversos efeitos na promoção de crescimento de cereais, leguminosas, frutíferas, hortaliças, ornamentais e florestais, entre outras espécies de importância econômica.

Tabela 3.1. Exemplos de gêneros microbianos fixadores de nitrogênio, solubilizadores de fósforo e potássio, micorrízicos arbusculares ou promotores de crescimento.

Efeito na planta	Exemplo
Fixação de nitrogênio	<p>Bactérias simbióticas (nodulantes): <i>Bradyrhizobium</i>, <i>Rhizobium</i> e <i>Paraburkholderia</i>. Bactérias de vida livre: <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Gluconacetobacter</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Nitrospirillum</i>, <i>Paenibacillus</i> e <i>Paraburkholderia</i>. Incluem as cianobactérias (ou algas verde-azuladas): <i>Anabaena</i>, <i>Nostoc</i>. Actinobactérias: <i>Frankia</i>, <i>Streptomyces</i>.</p>
Solubilização de fósforo	<p>Bactérias: <i>Acinetobacter</i>, <i>Alcaligenes</i>, <i>Arthrobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Clostridium</i>, <i>Enterobacter</i>, <i>Erwinia</i>, <i>Exiguobacterium</i>, <i>Natrinema</i>, <i>Pseudomonas</i>, <i>Rhizobium</i>, <i>Serratia</i>. Fungos: <i>Acremonium</i>, <i>Aspergillus</i>, <i>Hymenella</i>, <i>Neosartorya</i>, <i>Penicillium</i>.</p>
Solubilização de potássio	<p>Bactérias: <i>Acidithiobacillus</i>, <i>Aminobacter</i>, <i>Arthrobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Cladosporium</i>, <i>Enterobacter</i>, <i>Paenibacillus</i>, <i>Sphingomonas</i>. Fungos: <i>Aspergillus</i>, <i>Cladosporium</i>, <i>Penicillium</i>.</p>
Melhoramento do aproveitamento dos nutrientes do solo	<p>Bactérias: <i>Azoarcus</i>, <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Beijerinckia</i>, <i>Clostridium</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Klebsiella</i>, <i>Nitrospirillum</i>, <i>Paenibacillus</i>, <i>Paraburkholderia</i>, <i>Pseudomonas</i>. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): <i>Acaulospora</i>, <i>Gigaspora</i>, <i>Glomus</i>, <i>Rhizoglosum</i>, <i>Sclerocystis</i>, <i>Scutellospora</i>, <i>Septoglosum</i>.</p>
Tolerância à seca e promoção de crescimento	<p>Bactérias: <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Gluconacetobacter</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Pseudomonas</i>.</p>

Nota: foram apresentados exemplos de gêneros microbianos, sem esgotar a variedade de fungos e bactérias existentes.

Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre com base na interação entre bactérias diazotróficas e plantas. Na simbiose com leguminosas, os rizóbios formam estruturas radiculares – os nódulos –, nos quais ocorre a FBN. O Brasil é um caso de sucesso na exploração da FBN na cultura da soja. Em janeiro de 2023, havia 282 produtos registrados no Mapa (o que representava 54% do total de inoculantes registrados naquela época), utilizados em mais de 85% da área cultivada com essa cultura no País.

Entre as leguminosas produtoras de grãos, a soja é a de maior importância econômica e a que recebe maior contribuição da FBN. Para produção de uma tonelada de grãos de soja, com 6,5% de nitrogênio (N), são necessários, pelo menos, 80 kg de N (Sousa; Fernandes, 2023). Considerando a produtividade média de 3.527 kg/ha (Conab, 2022), seriam necessários cerca de 282 kg de N por hectare. Resultados experimentais indicam que a FBN contribui com cerca de 85% do N total acumulado, somado ao N existente no solo, que é absorvido pela planta. Consequentemente, a FBN contribuiu com 240 kg de N por hectare. Estima-se que a tecnologia foi adotada em cerca de 41 milhões de hectares na safra de 2021/2022, o que leva a um cálculo de fixação de nitrogênio de cerca de 10 milhões de toneladas naquela safra (Sousa; Fernandes, 2023).

Para outras leguminosas, como o feijão comum, feijão-caupi, grão-de-bico, lentilha e amendoim, também existem inoculantes no mercado, mas o uso desses produtos é reduzido, quando comparado ao da soja.

No caso de gramíneas, diferentemente dos rizóbios, as bactérias fixadoras de nitrogênio são de vida livre (associativas ou endofíticas) e não formam estruturas especializadas nas plantas (ver Tabela 3.1). Nesses casos, a FBN promove a disponibilização de menor quantidade de nitrogênio, quando comparada à promovida pelos simbiontes, mas ainda assim consegue suprir parte da demanda de nitrogênio das gramíneas. Dentre as bactérias associadas às gramíneas para fixação biológica do nitrogênio, destaca-se o gênero *Azospirillum*, com

capacidade de promover aumentos de 5 a 30% na produtividade de importantes culturas (Okon; Labandera-Gonzales, 1994).

Além da FBN, esses inoculantes podem apresentar ainda mecanismos de promoção de crescimento das plantas por meio da produção de moléculas que mimetizam hormônios vegetais e sideróforos, da solubilização de fosfatos, do controle de pragas e doenças, dentre outros recursos funcionais. Um dos mecanismos mais estudado é a capacidade de produção de reguladores de crescimento, tais como auxinas, giberelinas e citocininas (Bashan; Holguin, 1997), que podem estimular o aumento na densidade de pelos radiculares, na taxa de aparecimento de raízes secundárias e na superfície radicular, resultando em melhoria da absorção de água e nutrientes (Cassán et al., 2020).

A tecnologia de inoculação com *Azospirillum* foi lançada em 2016 (Hungria et al., 2016), e foi expandida em 2021 para aplicação foliar em pastagens de braquiárias.

A curto e médio prazos, verifica-se tendência de intensificação do uso de rizóbios nas lavouras, sobretudo com o desenvolvimento de produtos que agreguem outros microrganismos com funções específicas, como é o caso do *Azospirillum* (coinoculação). Também há a expectativa de ampliação do uso de inoculantes em pastagens onde leguminosas podem ser utilizadas em consórcio com gramíneas, visando à melhoria na qualidade e à maior longevidade das forrageiras.

Promoção da absorção de fósforo

Outro nutriente mineral indispensável para o crescimento e a produção vegetais é o fósforo (P) que interfere nos processos de fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia e precisa ser suplementado na maioria dos solos agrícolas (Miranda, 2023). Contudo, a fixação de P no solo pela adsorção com os íons de ferro, alumínio e cálcio reduz a eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis. De acordo com Pavinato et al. (2020) citado por Miranda

(2023), mais de 70% do P incorporado ao solo permanece em formas não disponíveis para as plantas, resultado similar àquele encontrado por Whitters et al. (2018).

Visando aumentar a disponibilidade de P para as culturas do milho e da soja, pesquisas foram desenvolvidas a partir da inoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, que agem de forma diferente dos inoculantes de rizóbios. Os *Bacillus* não fornecem P, mas tornam este nutriente presente no solo mais acessível para absorção e nutrição das plantas (Oliveira-Paiva et al., 2020; Sousa et al., 2020; Guimarães et al., 2021). Nas avaliações realizadas em áreas de produção de milho, a inoculação resultou em ganho médio de produtividade de 8,9% e aumento de 19% de P exportado para os grãos. Para a soja, a média de produtividade aumentou de 67,2 sacas para 71,6 sacas por hectare (Embrapa, 2021) e 14% do conteúdo de P nos grãos (Oliveira-Paiva et al., 2021; Leite et al., 2022).

Em cana-de-açúcar, ocorreu aumento de 20% na produção por hectare (Embrapa, 2021) e aumento do P disponível do solo rizosférico em 11% nas lavouras tratadas com os dois *Bacillus* (Cançado et al., 2021).

Melhoramento de aproveitamento de nutrientes do solo

Em cerca de 60% das plantas, as associações naturais entre fungos e raízes fornecem os maiores benefícios para os vegetais (Moreira; Siqueira, 2006). As hifas dos fungos denominados micorrizas atuam como uma extensão do sistema radicular, o que possibilita maior eficiência no uso da água e de nutrientes, em especial o P. Além disso, produzem substâncias que modificam os compostos presentes no solo, tornando-os mais disponíveis para as plantas. Contribuem para uma melhor estrutura do solo, secretando substâncias como mucilagens, açúcares e proteínas (glomalina) que atuam como agentes de agregação de partículas e estabilização de agregados (Moreira; Siqueira, 2006).

Há dois tipos principais de micorrizas:

- a) As endomicorrizas, cujas hifas dos fungos penetram nas células da raiz da planta, onde são formadas pequenas estruturas densamente ramificadas, denominadas arbúsculos. As endomicorrizas comumente são chamadas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), e correspondem à maior parte das micorrizas. A maioria das trocas entre fungos e plantas ocorre nos arbúsculos. As hifas se estendem para o solo por vários centímetros e aumentam significativamente a quantidade absorvida de água, P e outros nutrientes essenciais (Souza et al., 2005).
- b) As ectomicorrizas não atingem as células das raízes, apenas as rodeiam numa espécie de envelope formado pelas hifas. As ectomicorrizas são características de certos grupos de árvores e arbustos encontrados principalmente em regiões temperadas.

As pesquisas envolvendo as micorrizas procuram desenvolver processos de produção de inóculos de FMA. Contudo, o principal obstáculo ao amplo uso desses fungos está na “dificuldade de produção, em larga escala, de inoculantes que atendam as especificações do mercado, em termos de custo, pureza e qualidade” (Souza et al., 2021). Os FMA são biotróficos obrigatórios, dependem da simbiose com raízes de plantas para completar seu ciclo de vida, característica que dificulta a produção axênica do inoculante (França et al., 2014; Fors, 2016). Apesar disso, diversos métodos são citados para produção em larga escala de FMA (Santana et al., 2014). Sistemas mais protegidos, como a produção em estufas ou viveiros, têm sido utilizados para inoculação de mudas ou porta-enxertos (França et al., 2014; Santana, 2014; Fors, 2016). Também foram conduzidas pesquisas para viabilizar o crescimento dos fungos em cultivos celulares.

Na Embrapa Milho e Sorgo, por exemplo, o cultivo de uma estirpe de micorriza em raízes de cenoura demonstrou o potencial para cultivo desse fungo em sistema monoxênico asséptico. Esse sistema é passível de *scale up* para produção massal de inoculante (Souza et al., 2021).

No caso de fungos ectomicorrízicos (não biotróficos), a produção em biorreatores tem sido estudada, com bons resultados (Rossi, 2006; Duarte Filho, 2009). O micélio produzido é posteriormente encapsulado com alginato de cálcio e adicionado às sementes ou plântulas no momento do plantio (Rossi, 2006; Duarte Filho, 2009).

Tolerância a estresses abióticos

Dentre os efeitos benéficos dos inoculantes, destaca-se a mitigação às limitações ambientais de altas temperaturas e estresse hídrico, o que tem exigido esforços de pesquisadores na busca de novas tecnologias para melhorar a produtividade agrícola em condições limitadas de água.

Uma estratégia bastante promissora para melhorar a produtividade agrícola em condições limitadas de água é o uso de rizobactérias osmotolerantes (Khan et al., 2020; Braga et al., 2022), que colonizam o sistema radicular e promovem a captação e o aproveitamento da água presente no solo e, ao mesmo tempo, produzem enzimas e compostos bioativos que protegem plantas dos extremos ambientais. Alguns desses mecanismos incluem indução, na planta hospedeira, de enzimas antioxidantes, produção de exopolissacarídeos e formação de biofilmes, que melhoram a retenção de água pelas raízes, produção de fitormônios, ajustes metabólicos e outros compostos importantes para a tolerância à seca como os osmólitos.

Considerações finais

A Embrapa pesquisa microrganismos que causam efeitos positivos na nutrição de plantas há várias décadas, e foi a responsável pelo desenvolvimento da tecnologia de inoculantes para fixação biológica de nitrogênio. Os microrganismos utilizados em inoculantes para as outras finalidades descritas nesta seção são mais recentes, e, entre 2018 e 2022, foram lançados produtos comerciais que os utilizam, como será visto na próxima seção.

A pesquisa de novas estirpes ou novas espécies de bactérias ou de fungos que possam ser utilizadas como inoculantes continuará sendo prioridade na Embrapa, em busca de ampliação do conhecimento científico e do desenvolvimento de produtos para o agronegócio brasileiro.

Referências

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. *Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 103-121, Feb. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1139/m97-015>.

BRAGA, A. P. A.; CRUZ, J. M.; MELO, I. S. de. Rhizobacteria from Brazilian semiarid biome as growth promoters of soybean (*Glycine max* L.) under low water availability. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, p. 873-883, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00711-7>.

CANÇADO, G. M. A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA PAIVA, C. A.; CHRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES, J. F. G. **Utilização de inoculante líquido solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021. 25 p. (Embrapa Agricultura Digital. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 49).

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUSA, E. de; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CONAB. **Importação de fertilizantes é recorde e chega a 41,6 milhões de toneladas**. Jan. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4486-importacao-de-fertilizantes-e-recorde-e-chega-a-41-6-milhoes-de-toneladas> Acesso em: 7 nov. 2022.

DUARTE FILHO, P. F. M. **Estudos sobre o crescimento e a viabilidade de fungos ectomicorrízicos em cultivo submerso**. 2009. 114 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93164>.

Acesso em: 23 nov. 2022.

EMBRAPA. **Inoculantes à base de cepas de *Bacillus* sp. eficientes na solubilização de fosfatos**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9926/inoculantes-a-base-de-cepas-de-bacillus-sp-eficientes-na-solubilizacao-de-fosfatos>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; SOUZA, B. P.; STURMER, S. L. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.

FORS, R. O. **Identificação, quantificação e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no sistema de produção de cana-de-açúcar**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2302>. Acesso em: 23 nov. 2022.

GUIMARÃES V. F.; KLEIN J.; SILVA, A. S. L.; KLEIN, D. K. Inoculant efficiency containing *Bacillus megaterium* (B119) and *Bacillus subtilis* (B2084) for maize culture, associated with phosphate fertilization. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: a environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>.

KHAN, N.; ALI, S.; TARIQ, H.; LATIF, S.; YASMIN, H.; MEHMOOD, A. Water conservation and plant survival strategies of rhizobacteria under drought stress. **Agronomy**, v. 10, p. 1683, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111683>.

LEITE, R. C.; PEREIRA, Y. C.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MORAES, A. J. G.; SILVA, G. B. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean co-inoculated with *Bacillus* strains and Arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, art. e0220007, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220007>.

MIRANDA, R. A. **Relatório de avaliação de impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: inoculantes solubilizadores de fosfato**. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2022/relatorios/milhoesorgo_inoculantesdefosfato.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da Ufla, 2006. 729 p.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, Dec. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; SOUSA, S. M. de; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210).

ROSSI, J. M. **Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em biorreator Airlift**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88954>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SANTANA, A. S. de; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MAIA, L. C. Production, storage and costs of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). **Brazilian of Journal Botany**, v. 37, p. 159-165, Apr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0056-3>.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

SOUSA, T. C. R.; FERNANDES, P. C. C. **Relatório de Avaliação dos Impactos de Soluções Tecnológicas geradas pela Embrapa: fixação biológica do nitrogênio na cultura de soja do cerrado**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2022/relatorios/conjunto_cerrados-agrobiologia_fixacaobiologicanitrogenio.pdf. Acesso em: 28 ago. 2023.

SOUZA, F. A.; MACENA, L. H. S.; GOMES-JUNIOR, C. C.; MEDEIROS, M. R.; CARNEIRO, A. A. **Fungo micorrízico arbuscular com potencial para o desenvolvimento de inoculante para a cultura do milho e para a produção de mudas florestais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 276).

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300011>.

VIANA, G. **Novo bioinsumo aumenta em até 20% a produtividade da cana-de-açúcar**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77086074/novo-bioinsumo-aumenta-em-ate-20-a-produtividade-da-cana-de-acucar?p_auth=SmrsDjFV. Acesso em: 20 dez. 2022.

WHITERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.;

OLIVEIRA JUNIOR, A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2537, Feb. 2018. 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>.