

# BACTERIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATO EM ASSOCIAÇÃO COM TERMOFOSFATO E FERTILIZANTE ORGANOMINERAL

Data de aceite: 01/12/2023

### **Mateus Portes Dutra**

Universidade de Federal Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)

### **Marihus Altoé Baldotto**

UFV Campus Florestal  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-3239-9082>

### **Leonardo França da Silva**

Universidade de Federal Viçosa  
Viçosa – Minas Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0002-9710-8100>

### **Lílian Estrela Borges Baldotto**

Universidade de Federal Viçosa  
Florestal – Minas Gerais (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0003-1007-1489>

### **Victor Crespo de Oliveira**

Universidade Estadual Paulista – UNESP  
Botucatu – São Paulo (Brasil)  
<https://orcid.org/0000-0003-2719-9972>

**RESUMO:** Diante de todas as características benéficas apresentadas na literatura, adotar medidas de associações entre microrganismos eficientes para solubilizar fosfatos e o uso de fontes fosfatadas de baixa solubilidade inicial e organominerais, encontra-se como

potencial aliado tecnológico, a viabilização de fontes mais sustentáveis, de menor impacto para sua produção, produzidos por indústrias nacionais. Podendo-se assim agregar o uso destas fontes de forma mais eficientes em caráter agrônomo, com atividades menos onerosas, em contra partida aos tratamentos químicos, a inoculação biológica, minimizando a demanda por importações, e como um forte aliado a produção agropecuária, oferecendo ao produtor uma alternativa mais eficaz de uso, das fontes fosfatadas parcialmente solúveis. Objetivou-se avaliar a eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato gênero *Sphingomonas* spp. em associação ao termofosfato magnésiano e fertilizante organomineral. Os inóculos bacterianos identificados como Soft 7 (*Sphingomonas* spp.), foram acondicionados em Erlenmeyer de 250 mL, em um volume de 500 µL previamente crescido em meio DYGS, sendo o restante do Erlenmeyer acrescido de 200 mL de meio de cultura líquido, contendo 0,2 g/Erlenmeyer de termofosfato magnésiano e organomineral 01-12-00 (turfa, composto orgânico, termofosfato magnésiano, MAP) como fontes de P. Os tubos permaneceram agitados a 120 rpm, a 30 ° C, sendo as variáveis avaliadas:

P solúvel, pH e unidades formadoras de colônias (UFC) em função do tempo, por um período de 5 dias. No final das avaliações, dia 5, apresentou-se, acréscimos de 23.362 mg/L (104,22%) para o tratamento com a fonte termofosfato magnésiano e para o tratamento com organomineral os valores diferiram em um total de 28.427 mg/L (65,06%), comparando os valores de cada tratamento com seus respectivos controles. A associação entre bactérias solubilizadoras de fósforo do gênero *Sphingomonas* spp., com as fontes, termofosfato magnésiano e organomineral 01-12-00, foi eficiente para elevar o P disponível em solução para os dois tratamentos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Sphingomonas* spp, termofosfato magnésiano, avaliação, eficiência agrônômica.

## PHOSPHATE SOLUBILIZER BACTERIES IN ASSOCIATION WITH THERMOSPATE AND ORGANOMINERAL FERTILIZER

**ABSTRACT:** Given all the beneficial characteristics presented in the literature, adopting measures of associations between efficient microorganisms to solubilize phosphates and the use of low initial solubility phosphates and organominerals, is the potential technological ally, the viability of more sustainable sources of lower impact for its production, produced by national industries. Thus, it is possible to aggregate the use of these sources more efficiently in agronomic character, with less costly activities, in counterpart to chemical treatments, biological inoculation, minimizing the demand for imports, and as a strong ally agricultural production, offering the producer a more effective alternative to use from partially soluble phosphate sources. The objective of this study was to evaluate the efficiency of phosphate solubilizing bacteria genus *Sphingomonas* spp. in association with magnesian thermophosphate and organomineral fertilizer. The bacterial inoculum identified as Soft 7 (*Sphingomonas* spp.) Was stored in 250 mL Erlenmeyer, in a volume of 500  $\mu$ L previously grown in DYGS medium, and the remaining Erlenmeyer plus 200 mL of liquid culture medium containing 0,2 g/Erlenmeyer of magnesian and organomineral thermophosphate 01-12-00 (peat, organic compound, magnesian thermophosphate, MAP) as sources of P. The tubes were agitated at 120 rpm at 30 ° C, and the variables evaluated were: P soluble, pH and colony forming units (CFU) as a function of time over a period of 5 days. At the end of the assessments, day 5, there were increases of 23,362 mg / L (104.22%) for treatment with the magnesian thermophosphate source and for organomineral treatment, the values differed by a total of 28,427 mg / L ( 65.06%), comparing the values of each treatment with their respective controls. The association between phosphorus solubilizing bacteria of the genus *Sphingomonas* spp., With the sources, magnesian thermophosphate and organomineral 01-12-00, was efficient to increase the available P in solution for both treatments.

**KEYWORDS:** *Sphingomonas* spp, magnesian thermophosphate, evaluation, agronomy efficiency.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo dados apresentados pela empresa Global Fert, no ano de 2018, o Brasil importou 24,96 milhões de toneladas de fertilizantes, onde os fertilizantes fosfatados corresponderam a 23% do total, através das fontes MAP (fosfato monoamônio), DAP

(fosfato diamônio), Super fosfato triplo e Super fosfato Simples, fontes aciludas das quais apresentam alta taxa de solubilização, pelos reagentes (Citrato neutro de amônio) CNA + (Água) H<sub>2</sub>O.

De acordo com Lopes et al. (2016), entre os anos de 2005 a 2014, o consumo brasileiro por fontes de fósforo, foi vinculado de forma expressiva ao uso de fontes aciduladas, de alta solubilidade, tendo o uso em maior escala dos fertilizantes super fosfato simples, MAP e super fosfato triplo, levando-se assim a cadeia produtiva a ficar dependente do uso de fertilizantes importados e das oscilações de preço que, podem aumentar o custo de produção, e encarecer a cada safra, os gastos dos produtores com fertilizantes.

De acordo com resultados apresentados por Baldotto et al. (2014), Gomes et al. (2014), Almeida et al. (2016), Abreu et al. (2018), o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP), associadas a fontes de fósforo, de baixa reatividade, como os fosfatos naturais de Araxá, representam de forma positiva, um aliado para o uso de fontes menos solúveis de fósforo, para fertilização de solos, dos quais foram apresentados pelos autores, resultaram no aumento da eficiência de absorção do nutriente, seguido de ganhos em massa seca de espécie de abacaxi, milho e milheto, respectivamente.

Portanto, diante de todas as características benéficas apresentadas na literatura, adotar medidas de associações entre microrganismos eficientes para solubilizar fosfatos e o uso de fontes fosfatadas de baixa solubilidade inicial e organominerais, encontra-se como potencial aliado tecnológico, a viabilização de fontes mais sustentáveis, de menor impacto para sua produção, produzidos por indústrias nacionais. Podendo-se assim agregar o uso destas fontes de forma mais eficientes em caráter agrônômico, com atividades menos onerosas, em contra partida aos tratamentos químicos, a inoculação biológica, minimizando a demanda por importações, e como um forte aliado a produção agropecuária, oferecendo ao produtor uma alternativa mais eficaz de uso, das fontes fosfatadas parcialmente solúveis.

Diante deste cenário, objetiva-se com este trabalho, avaliar eficiência de bactérias solubilizadoras de fosfato gênero *Sphingomonas* spp. em associação ao termofosfato magnésiano e fertilizante organomineral.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Fósforo

O fósforo é considerado em muitos dos casos, o elemento que limita mais frequentemente a produção das culturas na região dos cerrados, principalmente por apresentar-se em formas pouco disponíveis aos vegetais e pela frequentemente elevada adsorção do P aos solos dessa região. Apesar do fósforo ser exigido em pequenas quantidades pela maioria das culturas, sua baixa disponibilidade para as plantas em solos de cerrado tem levado a aplicação de quantidades elevadas para suprir as necessidades dos cultivos (Santos, 2005).

Em função da área produtiva destinadas aos estados brasileiros, segundo Embrapa (2013), o país apresenta 60% de seu território composto por latossolos. Estes solos são caracterizados por apresentarem, baixa fertilidade natural, assim como os níveis de CTC (capacidade de troca catiônica), grau de intemperismo acentuado, tendo como material de origem, argilas compostas por óxidos de ferro e de alumínio, onde a carga resultante destes cristais metálicos, acometem aos solos o efeito de adsorção, fazendo com que os íons fosfatos presentes na solução do solo, ficam retidos a estrutura de forma quase irreversível, tornando o solo, um dreno do nutriente, competindo de forma direta a nutrição das plantas (Souza & Lobato, 2003). Levando aos produtores rurais, a adubações sucessivas e em grande volume de fontes fosfatadas, para atender as exigências das culturas, mediante a esta forte competição e fenômeno de adsorção com o solo.

Entre as fontes utilizadas para fornecimento de fósforo aos solos, tem se o uso de fosfato de rocha, do qual é incorporado aos sistemas de cultivos em menores faixas de processamento industrial, apresentando-se o mais próximo do material. Onde neste estado, a sua capacidade para disponibilizar o nutriente as plantas é muito lenta, de baixa solubilização, para maior eficiência de uso da fonte o material é administrado ao tratamento químico ácido com o uso de ácido sulfúrico e/ou fosfórico, formando-se assim fontes de fósforo solúveis como superfosfato simples e triplo, MAP e DAP do qual grande parte das reservas minerais são acometidas (Lopes, 2017). Em contrapartida ao tratamento químico, o material primário pode ser transformado, através de tratamento térmico, em temperaturas na faixa de 1500° C, em um processo de fusão, associado a minerais de silicato, formando-se assim, termofosfato magnesiano do qual, possui maior grau de solubilidade que a rocha natural, porém em menores índices que fontes aciduladas.

Os processos produtivos agropecuários e industriais, geram os mais diversos tipos de resíduos, dos quais podem, utilizados de forma irregular, causar danos ao meio ambiente e mediante ao seu correto reuso, através de processos de compostagem, encontram-se como uma fonte para adubação orgânica de culturas agrícolas (Almeida et al., 2016). Ocorre que muitos dos produtos utilizados como adubos orgânicos apresentam baixos teores de nutrientes, inclusive de fósforo. Por esta razão, e por necessitar viabilizar o uso na produção agrícola em larga escala, com aplicação de produto com maior teor de nutrientes, a associação de fertilizantes orgânicos e minerais, possibilita a viabilidade do uso destes fertilizantes, formando os fertilizantes organominerais (Nascimento, 2016).

## 2.2 Bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP)

De acordo com estudos direcionados a solubilização de fosfatos naturais, diversos trabalhos descrevem como solubilizadoras de fosfato as bactérias dos gêneros: *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Microccoccus*, *Flavobacterium* e *Erwinia Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Aereobacter*, *Ochrobactrum*, *Sphingomonas*, *Xanthomonas*

(Lana, et al., 2016; Chaves et al., 2013; Bidondo et al., 2012; Pérez et al., 2007; Sharan, 2008; Videira, 2008; Rodríguez & Fraga, 1999.)

Entre as culturas agrícolas, a associação de BSP, apresentaram respostas positivas para milho (Abreu et al., 2018; Paiva et al., 2017; Almeida et al., 2015; Gomes et al., 2014; Chaves et al., 2013; Bidondo et al., 2012; Oliveira, 2009); abacaxi (Baldotto et al. 2014), milheto (Paiva et al., 2017; Almeida et al., 2016); alfafa (Rodrigues & Fraga, 1999), trigo (Whitelaw, 2000), cebola e soja (Khan et al., 2010) e cana-de açúcar (Stamford et al., 2006).

As bactérias solubilizadoras de fosfato possuem descritos diversos mecanismos de ação relacionados a solubilização de fosfato, sendo os mesmos relacionados: **síntese de enzimas** hidrolíticas fosfatases, alcalinas e ácidas (Almeida et al., 2015), no ambiente rizosférico do qual transforma fontes orgânicas de em fontes inorgânicas ( $PO_4$ ), assimiláveis pelas plantas de interesse; a liberação de ácidos orgânicos no meio, glucônico, isovalerico, oxalico, tartárico, isovalerico, cítrico, fumarico e butirico, resultando na diminuição do pH ou por meio de processo de quelação; extrusão de prótons  $H^+$ , como resultado da assimilação de  $NH_4^+$ , através do mecanismo de extrusão de prótons  $H^+$ , resultante da assimilação de  $NH_4^+$  pelo processo de translocação de próton  $H^+$  pela enzima  $H^+$  ATPase, síntese de energia por hidrólise do ATP; produção de grupos orgânicos sideróforos e exopolissacarídeos (Rozo, 2017; Posso & De prager, 2017; Abreu et al., 2016; Almeida et al., 2016; Bashan et al., 2013; Sanchez, 2012; Barroti & Nahas, 2000; Gyaneshwar et al., 2002).

### 2.3 O gênero *Sphingomonas* spp.

As bactérias do gênero *Sphingomonas* são características por apresentarem vida livre, encontradas em ambiente natural, Gram-negativa, reprodução por fissão binária, divisão celular assimétrica, não apresentam esporos, e em grande maioria flagelos, tendo células com formato de bastão ou cocobacilos retos ou curvos, metabolismo aeróbico, tendo o oxigênio como receptor final de elétrons, e em alguns casos sistetizam bacterioclorofilas a. A colônia das culturas de forma geral apresenta-se pela coloração amarela, característico da produção de carotenóide nostoxhantina. Apresentando-se como diazotróficas em alguns casos, realizando a fixação biológica de nitrogênio atmosférico e promoção de crescimento em plantas. A presença do gênero encontra-se descrita associada em grande maioria a espécies de plantas do gênero Poaceae. Na literatura relata a existência do gênero encontrado a solos contaminados com compostos químicos, sedimentos, água de rios e oceanos, ambiente alcalino, em tecidos vegetais, ambiente hospitalar e associado a doenças de plantas e de seres humanos (Silva et al., 2015; Videira, 2008; Yabucchi & Kosato, 2005).

A atividade de inoculação foi descrita em trabalhos, segundo os autores (Khan et al., 2014), para o gênero *Sphingomonas*, associada a plantas do tomateiro, concluindo-se

resultados promissores através de maiores ganhos em massa seca total, teor de clorofila, e comprimento de parte aérea. Para a cultura do milho descrito pelos autores Pedrinho et al. (2010), bactérias do gênero, isoladas de plantas de milho, foram eficientes para solubilização de fosfato e produção AIA (ácido indol acético) auxina, concluindo-se ao gênero efeito promotor de crescimento de plantas e solubilizador de fosfato. A associação da bactéria e a síntese de fitohormônios (AIA) em associação com espécies de orquídeas também foi descrita por (Tsavkelova et al., 2007). Espécies do gênero na cultura de arroz, apresentaram ganhos na produção vegetal com a inoculação de estirpes de bactérias *Sphingomonas* (Videira, 2008; Xie & Yokota, 2006). Trabalhos relatam a atividade do gênero relacionado a produção de exopolissacarídeos, isolada de lodo ativado, caracterizando sua ação como fixadora de nitrogênio (Tanaka et al., 2004). Outros atributos também foram descritos, onde segundo Videira (2008), a espécie encontra-se associada a processos de biorremediação degradando poluentes e pesticidas em solos.

### 3 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de Floricultura da Universidade Federal de Viçosa - *Campus* Florestal, localizado na Rodovia LMG 818, Km 06, Florestal, MG, CEP: 35690-000, a 19° 53' 00" latitude Sul, 44° 25' 19,3" longitude oeste.

A partir de isolados bacterianos solubilizadores de fosfato previamente selecionados Lozada (2015), os inóculos bacterianos identificados como Soft 7 (*Sphingomonas* spp.), foram acondicionados em Erlenmeyer de 250 mL, em um volume de 500  $\mu$ L previamente crescido em meio DYGS, sendo o restante do Erlenmeyer acrescido de 200 mL de meio de cultura líquido, contendo 0,2 g/Erlenmeyer de termofosfato magnesiano e organomineral 01-12-00 (turfa, composto orgânico, termofosfato magnesiano, MAP) como fontes de P e um tratamento controle para cada fonte. Os tubos permaneceram agitados a 120 rpm, a 30 ° C, sendo as variáveis avaliadas: P solúvel, pH e unidades formadoras de colônias (UFC) em função do tempo, por um período de 5 dias.

A contagem bacteriana (UFC mL<sup>-1</sup>) foi realizada diariamente usando-se o método de microgota, proposto por Romeiro (2001). Onde cada placa foi dividida em quatro quadrantes compondo em cada, 3 gotas de 10  $\mu$ L, de acordo com as diluições seriadas, variando de 10<sup>-2</sup> a 10<sup>-9</sup>. Para a determinação do P solúvel e pH, foram realizadas durante o período de 6 dias, 20 ml de coleta do material sobrenadante de cada erlenmeyer, acondicionados em tubo falcon, logo em seguida, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm por 20 min, sendo o pH lido na sequência por meio de peagâmetro digital. Os teores de fósforo disponível foram determinados no material sobrenadante tendo os teores de P avaliados por colorimetria (725nm), utilizando-se os extratores molibdato e ácido ascórbico para extração. O experimento foi dividido em quatro tratamentos, de acordo com a associação bacteriana as fontes: termofosfato magnesiano e fertilizante organomineral, 01-12-00, seguidos do

tratamento controle para cada fonte sem a adição da solução bacteriana. O experimento foi arranjado em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 12 parcelas (unidades experimentais). Os dados obtidos foram processados através de análise de variância (ANOVA) pelo programa GENES e as médias foram comparadas pelo teste Tukey com 5 % de probabilidade. As curvas de regressão foram descritas de acordo com modelo de melhor ajuste, acompanhado do coeficiente de regressão ( $R^2$ ).

Composição meio DYGS: 2g de glicose, 2g de Ácido Málico, 1,5g de Peptona Bacteriológica, 2g de Extrato de Levedura, 0,5g de Fosfato de Potássio Dibásico ( $K_2HPO_4$ ), 0,5g de Sulfato de Magnésio Heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), 1,5g de Ácido Glutâmico, completa-se o volume para 1000ml com água destilada e ajusta-se o pH para 6,0 a 6,2 com solução 5% de Ácido Sulfúrico e/ou solução 10% de Hidróxido de Potássio.

Composição (1000 mL) meio de cultura líquido, solubilização de fosfato: 10g Glicose, 5g de Cloreto de Amônio ( $NH_4Cl$ ), 1g de Cloreto de sódio ( $NaCl$ ), 1g de Sulfato de Magnésio Heptahidratado ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ), 1g (Fonte de Fosfato), 15g Agar. Ajusta-se pH para 7 solução 5% de Ácido Sulfúrico e/ou solução 10% de Hidróxido de Potássio.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados apresentados na tabela 1, observa-se diferença média entre os valores apresentados para os tratamentos TR e OR com os tratamentos que receberam a inoculação, dos seus respectivos controles, não inoculados TC e OC. Onde a partir da inoculação, os valores relacionados a variável pH apresentaram comportamento que corroboram com o descrito na literatura, segundo Silva (2018), bactérias solubilizadoras promovem diminuição do pH da solução em crescimento devido a liberação de ácidos orgânicos liberados no meio, para efeito solubilizador da fonte de fósforo. Sharan et al. (2008), em trabalho com *Xanthomonas campestris*, apresentaram valores de pH entre 4 a 5 no final de 5 dias de inoculação com fontes insolúveis em água de fósforo tricálcico e dicálcico. Em trabalho com bactérias diazotróficas solubilizadoras de fosfato, Baldotto et al. (2014), apresentaram comportamento semelhante, com o descrito, tendo o aumento da solubilização de fosfato acompanhado pela diminuição de pH. A figura 1 apresenta a equação de regressão ajustada ao modelo de comportamento de cada tratamento em relação ao pH em função do tempo de inoculação.

| Tratamento | Dia 0    | Dia 1     | Dia 2     | Dia 3    | Dia 4     | Dia 5     | C.V.(%) |
|------------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|---------|
| OC         | 7.143 aB | 7.090 bAB | 7.046 bAB | 6.905 aB | 6.900 aB  | 6.890 aB  | 1.12    |
| OR         | 7.096 bA | 3.690 dB  | 3.696 dB  | 4.410 bB | 4.450 bB  | 4.116 bB  | 17.24   |
| TC         | 7.683 aA | 7.533 aAB | 7.463 aAB | 7.155 aB | 7.340 aB  | 7.310 aAB | 2.01    |
| TR         | 7.623 aA | 4.123 cD  | 5.363 cBC | 5.076 bC | 5.376 bBC | 5.696 bB  | 2.37    |
| C.V.(%)    | 0.81     | 0.6       | 2.69      | 9.58     | 7.73      | 11.05     |         |

Letras iguais indicam que as médias não diferem significativamente entre si, ao nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey. Letras minúsculas representam valores médios diferindo entre os tratamentos, para cada dia, variando entre colunas. Letras em maiúsculo representam valores significativos médios para a variável dia, separado para cada tratamento, variando entre linhas OC: controle, OR: tratamento com Organomineral (02-12-00), TC: controle, TR: tratamento com termofosfato magnésiano.

Tabela 1. Valores de pH em função dos dias de inoculação com bactéria do gênero *Sphingomonas* spp.

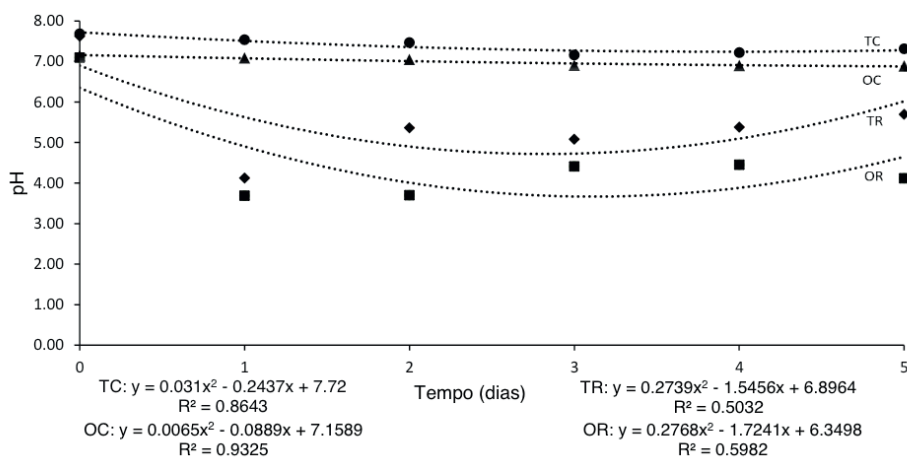


Figura 1. Valores de pH em associação com a bactéria *Sphingomonas* spp.; TR: tratamento com termofosfato magnésiano, TC: controle. OR: tratamento com Organomineral (02-12-00), OC: controle.

| Tratamento | Dia 0     | Dia 1      | Dia 2      | Dia 3      | Dia 4      | Dia 5      | C.V.(%) |
|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| OC         | 45.877 aA | 37.556 bBC | 40.696 bAB | 33.272 cC  | 45.234 abA | 43.692 bAB | 6.12    |
| OR         | 40.223 bB | 43.913 aB  | 49.764 aAB | 57.986 aAB | 62.829 aAB | 72.119 aA  | 17.98   |
| TC         | 10.201 cD | 10.420 cD  | 16.471 cC  | 20.320 dB  | 24.319 bA  | 22.416 cAB | 5.41    |
| TR         | 9.964 cC  | 14.428 cC  | 36.328 bB  | 46.850 bA  | 44.437 abA | 45.778 bA  | 6.56    |
| C.V.(%)    | 5.47      | 9.05       | 9.21       | 8.94       | 25.1       | 5.85       |         |

Valores expressos em mg/L. Letras iguais indicam que as médias não diferem significativamente entre si, ao nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey. Letras minúsculas representam valores médios diferindo entre os tratamentos, para cada dia, variando entre colunas. Letras em maiúsculo representam valores significativos médios para a variável dia, separado para cada tratamento, variando entre linhas OC: controle, OR: tratamento com Organomineral (02-12-00), TC: controle, TR: tratamento com termofosfato magnésiano.

Tabela 2. Valores de fósforo disponível em função dos dias de inoculação com bactéria do gênero *Sphingomonas* spp.



De acordo com os valores apresentados na tabela 2 pode-se perceber incremento nos valores médios para a variável fósforo disponível a partir do dia 1, demonstrando efeito benéfico do uso da inoculação com a bactéria de interesse em relação aos valores obtidos, em comparação aos tratamentos sem inoculação (controle). Tendo no final das avaliações, dia 5, acréscimos de 23.362 mg/L (104,22%) para o tratamento com a fonte termofosfato magnésiano e para o tratamento com organomineral os valores diferiram em um total de 28.427 mg/L (65,06%), comparando os valores de cada tratamento com seus respectivos controles.

Verifica-se que para o tratamento associado a fonte de termofosfato, o uso da inoculação apresentou-se mais eficaz para solubilização. Sharan et al. (2008) em trabalho com *Xanthomonas campestris*, obtiveram resultados semelhantes com o uso da bactéria associada a fontes de fósforo insolúveis em água, tricálcico e dicálcico, apresentando valores de solubilização acima de (80%) no final de 5 dias de inoculação.

Baldotto et al. (2014), em trabalho com a associação de bactérias solubilizadoras de fosfato associadas com fosfato natural de Araxá, os autores obtiveram incremento de (138%) nas quantidades finais de fósforo disponível na solução, por meio da inoculação com bactérias do gênero *Burkholderia*. Resultados semelhantes foram encontrados por Montaldo (2016), apresentando elevados índices de solubilização para bactéria *Bacillus subtilis*. As figuras 2 e 3, apresentam as equações de regressão ajustadas, em comparação dos valores de P disponível em função do tempo de inoculação.

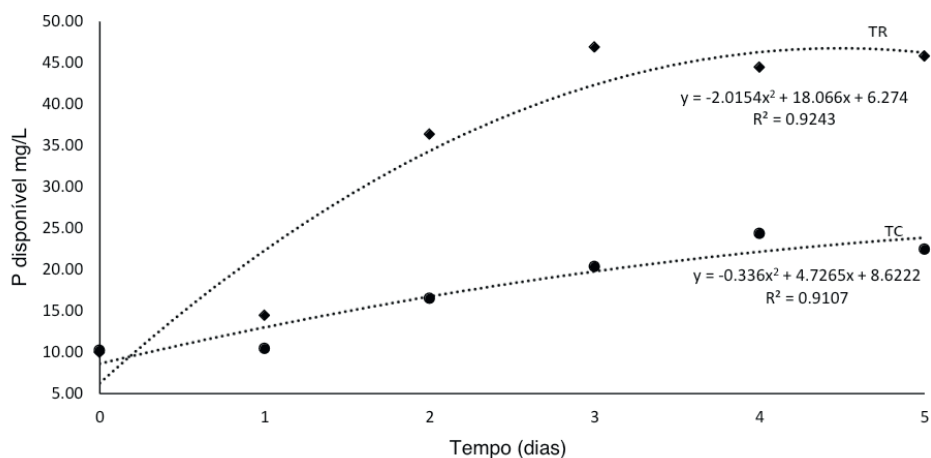


Figura 2. Fósforo disponível em associação com a bactéria *Sphingomonas spp.*; TR: tratamento com termofosfato magnésiano, TC: controle.

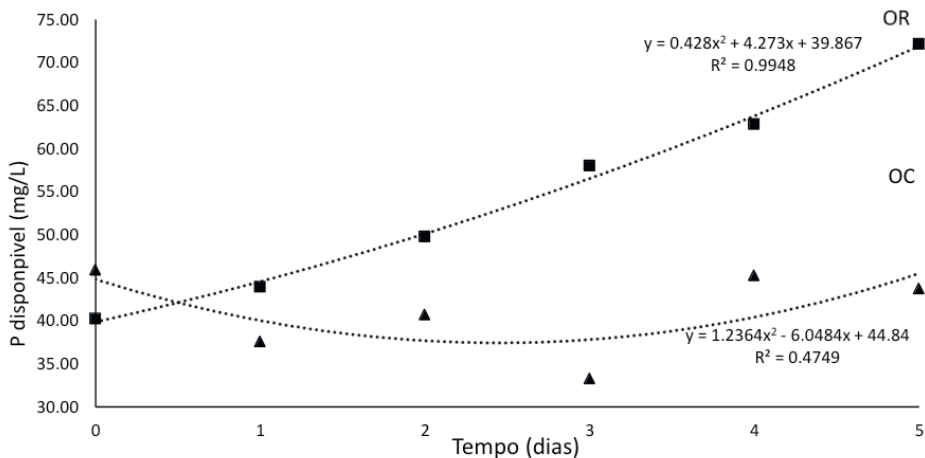


Figura 3. Fósforo disponível em associação com a bactéria *Sphingomonas spp.*; OR: tratamento com Organomineral (02-12-00), OC: controle.

| Tratamento | Dia 0* | Dia 1     | Dia 2    | Dia 3    | Dia 4    | Dia 5    | C.V.(%) |
|------------|--------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| TR         | 0      | 11.51 aAB | 11.21 aB | 11.65 aA | 11.76 aA | 11.86 aA | 1.23    |
| OR         | 0      | 11.33 aA  | 10.41 aA | 10.07 aA | 10.92 aA | 10.80 aA | 8.01    |
| C.V.(%)    | 0      | 3.2       | 3.54     | 8.83     | 5.08     | 5.29     |         |

Valores expressos em Log UFC/mL. Letras iguais indicam que as médias não diferem significativamente entre si, ao nível de significância de 5%, pelo teste de Tukey. Letras minúsculas representam valores médios diferindo entre os tratamentos, para cada dia, variando entre colunas. Letras em maiúsculo representam valores significativos médios para a variável dia, separado para cada tratamento, variando entre linhas. OC: controle, OR: tratamento com Organomineral (02-12-00), TC: controle, TR: tratamento com termofosfato magnesiano.

Tabela 3. UFC/mL em função dos dias de inoculação com bactéria do gênero *Sphingomonas spp.*

Na tabela 3, apresentam-se os resultados para o crescimento bacteriano, unidades formadoras de colônia (UFC). Os resultados médios não apresentaram diferença significativa, em comparação aos diferentes tipos de fontes fosfatadas. Demonstrando ser benéfica a interação entre as fontes para manutenção do crescimento bacteriano. Valores que diferem dos apresentados por Baldotto et al. (2014), tendo como pico de crescimento, o terceiro dia de inoculação, seguido de decréscimo do crescimento até o quinto dia, com o uso de bactérias solubilizadoras para fosfato de rocha. As figuras 4 e 5, apresentam as equações de regressão ajustadas, característicos do comportamento do crescimento bacteriano em função do período de inoculação.

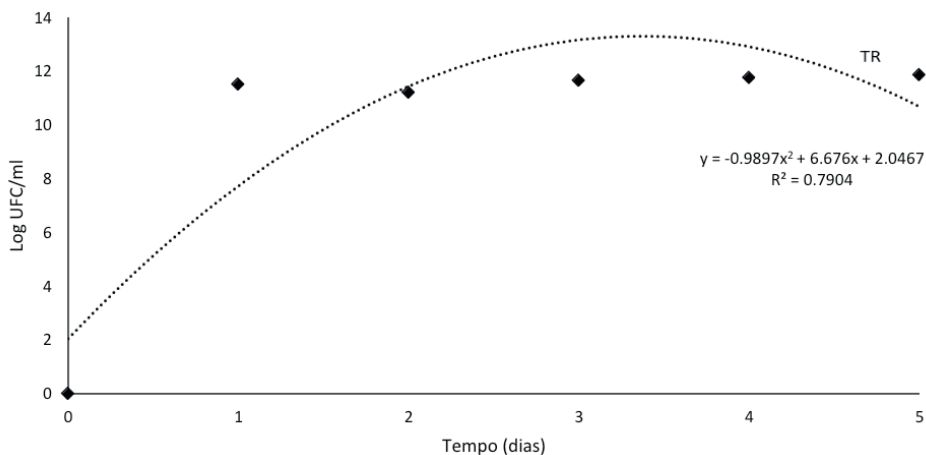


Figura 4. UFC/ml bactéria *Sphingomonas spp.*; TR: tratamento com termofosfato magnesiano.

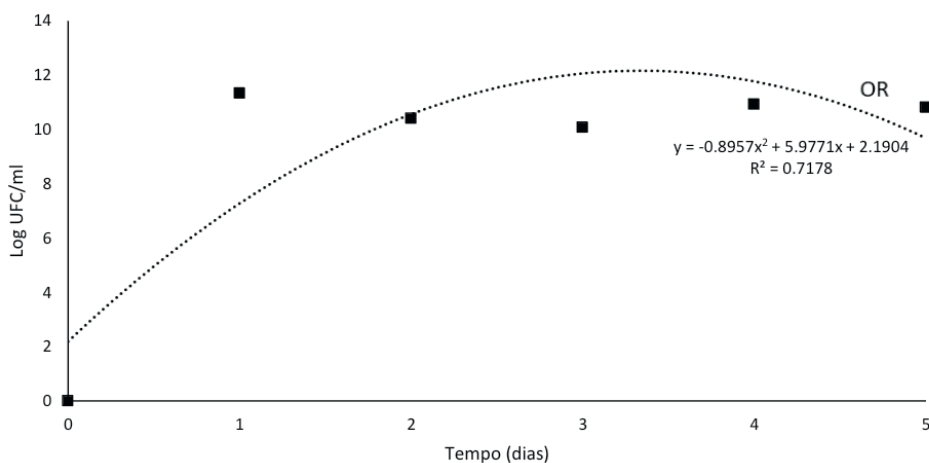


Figura 5. UFC/ml bactéria *Sphingomonas spp.*; OR: tratamento com Organomineral (02-12-00).

O uso de bactérias solubilizadoras de fosfato, associada a fontes de fósforo não aciduladas e a novas formas de fertilizantes, como os organominerais, apresenta-se como um viabilizador, de novos mercados e utilização destas fontes. Onde, devido a melhor eficiência de solubilização, torna-se mais racional o uso do fósforo, tornando os materiais mais competitivos, tanto no âmbito econômico como agrônômico. Em conjunto as características agrônômicas, tem-se a melhor eficiência de uso de uma fonte não renovável.

## 5 | CONCLUSÃO

O presente estudo buscou avaliar a eficácia da associação entre as bactérias solubilizadoras de fósforo do gênero *Sphingomonas spp.* com o termofosfato magnesiano e o fertilizante organomineral. Com base nos resultados obtidos, fica evidente que essa

associação demonstrou ser uma estratégia eficaz para aumentar o teor de fósforo disponível em solução, considerando as condições nas quais o experimento foi conduzido.

Assim, este estudo contribui para o entendimento da importância das bactérias solubilizadoras de fosfato do gênero *Sphingomonas* spp. e destaca o potencial dessa abordagem como uma ferramenta para melhorar a disponibilidade de fósforo no solo, o que pode ter implicações significativas na promoção da saúde das plantas e no aumento da eficiência dos fertilizantes utilizados na agricultura.

## REFERÊNCIAS

ABREU, C. S. et al. Efeito da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato sobre a atividade enzimática de fosfatases no cultivo de milho (*Zea mays*). In: Embrapa Milho e Sorgo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio de microbiologia da UFMG, 5., 2018, Belo Horizonte. Caderno de resumos... Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, p. 77., 2018.

ABREU, C. S.; et al. Produção de ácidos orgânicos por bactérias endofíticas de milho solubilizadoras de fosfato. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso nacional de milho e sorgo, 31., 2016, Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

ABREU, C.S.; et al. Efeito da inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato sobre a atividade enzimática de fosfatases no cultivo de milho (*Zea mays*). Simpósio de microbiologia da UFMG, 5. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. Caderno de resumos. p. 77, 2018.

ALMEIDA, C.N.S.; et al. Adubação organomineral em associação com microrganismos solubilizadores de fósforo no milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n.147, 38 p. 2016.

ALMEIDA, C.N.S.; et al. Atividade de fosfatases em solo cultivado com milho em resposta à adubação com fertilizantes organominerais associados a microrganismos solubilizadores de fosfato. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 35., 2015, Natal. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

BALDOTTO, L. E. B.; et al. Performance of pineapple slips inoculated with diazotrophic phosphate-solubilizing bacteria and rock phosphate. Rev. Ceres, Viçosa, Vol. 61, n.3, p. 414-423, 2014.

BARROTI, G.; NAHAS, E. População microbiana total e solubilizadora de fosfato em solo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.10, p. 2043-2050, 2000.

BASHAN, Y.; et al. Tricalcium phosphate is inappropriate as a universal selection factor for isolating and testing phosphate-solubilizing bacteria that enhance plant growth: a proposal for an alternative procedure. Biology and Fertility of Soils, v. 49, n. 4, p. 465-479, 2013.

BIDONDO, L.F.; et al. Differential interaction between two *Glomus intraradices* strains and a phosphate solubilizing bacterium in maize rhizosphere. Pedobiologia, v.55, P.227-232, 2012.

CHAVES, D.P.; et al. Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 1, p. 57-72. 2013.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ªed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa em Solos. p. 353. 2013.

GLOBAL FERT.Fosfatados – Principais origens de importação no Brasil em 2018. Disponível:<https://www.globalfert.com.br/boletins/fosfatados-principais-origens-de-importacao-no-brasil-em-2018-2/>. Acesso em: 26 de Agosto de 2019.

GOMES, E. A.; et al. Microrganismos solubilizadores de fosfato de rocha isolados da rizosfera de milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, Sete Lagoas, v. 13, n. 1, p. 69-81, 2014.

GOMES, E.A.; et al. Rock phosphate solubilizing microorganisms isolated from maize rhizosphere soil .Revista brasileira de milho e sorgo,Vol.13, n.1, p. 69-81, 2014.

GYANESHWAR, P. et al. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants.Plant and Soil, v. 245, n. 1, p. 83-93, 2002.

KHAN, A. L.; et al. Bacterial endophyte *Sphingomonas* sp. LK11 produces gibberellins and IAA and promotes tomato plant growth. Journal of Microbiology, v.1052, n. 8, p. 689–695, 2014.

KHAN, M. S.; et al. Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. Archives of Agronomy and Soil Science, London, v. 56, p. 73-98, 2010.

LANA, U.G.P.; et al. Identificação molecular e diversidade genética de bactérias solubilizadoras de fósforo. In: Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso nacional de milho e sorgo, 31., 2016. Bento Gonçalves. Milho e sorgo: inovações, mercados e segurança alimentar: anais. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

LOPES, A.S. Fertilizantes e seu Uso Eficiente. Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA). São Paulo, Brasil, 178 p. 2017.

LOPES, A.S.; et al. Superfosfatos simples e outros fertilizantes fosfatados solubilizados industrialmente via rota do ácido sulfúrico. – 2. Ed., ver. E ampl.- São Paulo: Ed. Gráfica Nagy, p. 72, 2016.

MONTALDO, Y. C. Bioprospecção e isolamento de bactérias associadas à cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) com características para a promoção de crescimento vegetal. 2016. 101 f. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Alagoas,101 f. 2016.

NASCIMENTO, E. C. Produção orgânica no município de Seropédica: avaliação de sua sustentabilidade e o seu impacto nos atributos químicos e biológicos do solo. Tese de Doutorado. Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p.153. 2016.

OLIVEIRA, C. A.; et al. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. Soil Biology and Biochemistry, Elmsford, v. 41, p. 1782-1787, 2009.

PAIVA, C.A.O.; et al. Adubação fosfatada organomineral com pulverização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores. Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2017.

PEDRINHO, E.A.N.; et al. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho. Bragantia, v. 69, n. 4, p. 905-911, 2010.

- PÉREZ, E.; et al. Soil biology and biochemistry. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry*, v.39, p. 2905-2914, 2007.
- POSSO, E. J. S.; DE PRAGER, M. S. Production of organic acids by rhizosphere microorganisms isolated from a Typic Melanudands and its effects on the inorganic phosphates solubilization. *Acta Agronômica*, v. 66, n. 2, 2017.
- RODRIGUEZ, H., FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, v.17, p.319-339, 1999.
- ROMEIRO, R.S. Métodos em bacteriologia de plantas. Viçosa: UFV, 279 p., 2001.
- ROZO, F. A. M. Isolamento, caracterização e seleção de bactérias diazotróficas em tomateiro. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 71 f. 2017.
- SÁNCHEZ, L. D. B.; et al. Inoculación con bacterias promotoras decrecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 3, n. 7, p. 1401-1415, 2012.
- SANTOS, E. A.; KLIEMANN, H. J.; Disponibilidade de fósforo de fosfatos naturais em solos de cerrado e sua avaliação por extratores químicos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 35, n 3, p.139-146, 2005.
- SHARAN, A.; et al. Efficient phosphorus solubilization by mutant strain of *Xanthomonas campestris* using different carbon, nitrogen and phosphorus sources. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 24, n. 12, p. 3087-3090, 2008.
- SILVA, C. S.; et al. Solubilização de fosfatos inorgânicos por bactérias endofíticas isoladas de maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*). *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v. 1, n. 1, 2018.
- SILVA, E.R.O.; et al. Caracterização molecular de bactérias do gênero *Sphingomonas*. *Anais da Semana Científica Johanna Döbereiner*, 2015.
- SOUZA, D.M.G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. Encarte do informações agronômicas, Nº 102. 2003.
- STAMFORD, N.P.; et al. Rock Biofertilizers with *Acidithiobacillus* on Sugarcane Yield and Nutrient Uptake in a Brazilian Soil. *Geomicrobiology Journal*, V.23, P.261–265, 2006.
- TANAKA, Y.; et al. *Catellibacterium nectariphilum* gen. nov., sp. nov., which requires a diffusible compound from a strain related to the genus *Sphingomonas* for vigorous growth. *International Journal of Systematic Bacteriology*, v. 54, p.955 – 959, 2004.
- TSAVKELOVA, E. A.; et al. Orchid-associated bacteria produce indole-3-acetic acid, promote seed germination, and increase their microbial yield in response to exogenous auxin. *Archives of Microbiology*, v.188, p.655–664, 2007.
- VIDEIRA, S. S. Taxonomia polifásica de bactérias diazotróficas do gênero *Sphingomonas* spp. e efeito da inoculação em plantas de arroz. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 126f. 2008.

WITHELAW, M. A. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 69, p.99-151, 2000.

XIE, C. H.; YOKOTA, A. *Sphingomonas azotifigens* sp. nov., a nitrogen- fixing bacterium isolated from the roots of *Oryza sativa*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, Reading, v. 56, p. 889-893, 2006.

YABUUCHI, E.; KOSAKO, Y. *Sphingomonas*. In: BRENNER, D.J.; KRIEG, N.R.; STALEY, J.T. (Ed.). *Bergey's manual of systematic bacteriology: the proteobacteria*. 2.ed. v.2, Springer, p. 234-258. 2005.

LOZADA, J. A. R. Prospecção de bactérias do lodo de esgoto de abatedouro de aves com potencial degradador de substâncias orgânicas e promotor do crescimento de plantas. 2015. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 2015.