

EFICIÊNCIA DA BACTÉRIA *Pantoea agglomerans* EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE pH DE SOLO E DOSES DE FÓSFORO NA CULTURA DO TRIGO¹

EFFICIENCY OF THE BACTERIA *Pantoea agglomerans* IN DIFFERENT SOIL pH CONDITIONS AND PHOSPHORUS DOSES IN WHEAT CROPS

Eduardo Henrique Gross², Marciel Redin³,
Danni Maisa da Silva⁴ e Benjamin Dias Osório Filho⁵

RESUMO

O fósforo (P) é um dos principais nutrientes limitantes à produtividade do trigo (*Triticum aestivum*), especialmente em solos ácidos, onde sua disponibilidade é reduzida. Este estudo teve como objetivo geral avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de fósforo, associadas à inoculação com a bactéria solubilizadora de fosfato *Pantoea agglomerans* 33.1, sob diferentes condições de pH de solo, na produtividade do trigo. O experimento foi conduzido em Esperança do Sul (RS), Brasil, utilizando-se delineamento em blocos casualizados, com 16 tratamentos resultantes da combinação de duas condições de pH (corrigido pH 6,0 e ácido), quatro doses de fósforo (0%, 50%, 100% e 150%) e presença ou ausência de solubilizador, com quatro repetições. Foram avaliados o número de espigas por metro quadrado, peso de mil sementes e a produtividade de grãos. Os resultados indicaram que o tratamento de solo ácido com 150% da dose de P e uso de solubilizador apresentou a maior produtividade de grãos, alcançando 5.103 kg/ha. A correção do pH elevou significativamente a produtividade média de grãos da cultura do trigo em comparação ao solo não corrigido. A inoculação com *P. agglomerans* mostrou-se especialmente eficaz em condições de solo ácido, enquanto em solo corrigido sua eficiência é discutível. A redução da adubação fosfatada em conjunto com a inoculação revelou-se uma estratégia viável para otimizar o uso de insumos na cultura do trigo. O manejo integrado de correção do solo, adubação e uso de bioinsumos é essencial para maximizar a produtividade do trigo em sistemas sustentáveis.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*; solubilizador de fosfato; insumo biológico; acidez do solo.

ABSTRACT

The phosphorus (P) is one of the main limiting nutrients for wheat (*Triticum aestivum*) productivity, especially in acidic soils where its availability is reduced. This study aimed general to evaluate the effect of applying different phosphorus rates, combined with inoculation using the phosphate-solubilizing bacterium *Pantoea agglomerans* 33.1, under different soil pH conditions wheat yield. The experiment was conducted in Esperança do Sul (RS), Brazil, using a randomized block design with 16 treatments resulting from the combination of two soil pH conditions (corrected pH 6,0 and acidic), four phosphorus doses (0%, 50%, 100%, and 150%), and the presence or absence of the solubilizer, with four replications. Number of spikes per square meter, thousand grain weight and grain yield, were evaluated. Results showed that treatment with acidic soil,

1 Trabalho de Iniciação Científica.

2 Engenheiro Agrônomo. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Três Passos, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: eduardo-gross@uergs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7405-3920>

3 Professor do Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Orientador. E-mail: marciel.redin@ufsm.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4142-0522>

4 Professora do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Três Passos, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: danni-silva@uergs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3600-0462>

5 Professor do Curso de Agronomia da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul - UERGS, Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: benjamin-filho@uergs.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3269-0600>

150% phosphorus dose, and solubilizer inoculation achieved the highest productivity of grains, reaching 5103 kg/ha. Soil pH correction significantly increased average productivity of wheat grains compared to uncorrected soil. Inoculation with *P. agglomerans* was particularly effective under acidic soil conditions, while in corrected soils its efficiency is debatable. Reducing phosphorus fertilization combined with inoculation proved to be a viable strategy for optimizing input use in wheat. Integrated soil management practices, fertilization, and bioinput application are essential to maximize wheat productivity in sustainable systems.

Keywords: *Triticum aestivum*; phosphate solubilizer; biological input; soil acidity.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum*) representa aproximadamente 28% da produção mundial de grãos, sendo o segundo cereal mais produzido no mundo, após o milho (FAO, 2023). O Brasil é atualmente o 9º maior importador mundial de trigo, tendo apresentado crescimento significativo na produção interna, alcançando aproximadamente 8,1 milhões de toneladas na safra de 2023, cultivadas em uma área de cerca de 3,47 milhões de hectares e com produtividade média em torno de 2.331 kg/ha (CONAB, 2024).

A produção mundial é realizada em diferentes regiões, como no Brasil, onde ocorre durante a safra de inverno no Sul do país (SILVA *et al.*, 2022). Além disso, o trigo é um ingrediente importante na indústria de alimentos, sendo utilizado na produção de diversos produtos, principalmente na panificação, sendo a qualidade de grãos o foco de atuais pesquisas. Por exemplo, estudo de Martins *et al.* (2022) foi realizado para avaliar a utilização de diferentes tipos de farinhas de trigo, na formulação de biscoitos, visando melhorar a qualidade sensorial desses produtos.

Alcançar altas produtividades vem se tornando uma realidade para os produtores de trigo. Diversos fatores ambientais, de manejo e do solo podem influenciar a produtividade da cultura, e dentre os fatores de solo, está a nutrição das plantas, sendo o Fósforo (P) um dos principais nutrientes demandados pela cultura. Assim, é importante destacar que o P é vital para o metabolismo das plantas, pois atua na energia celular, tanto na respiração quanto na fotossíntese, processo essencial ligado à produtividade das plantas (SANTOS, 2023). Um exemplo notável é sua participação na produção de adenosina trifosfato (ATP), a principal molécula responsável pelo transporte de energia na célula das plantas (MADRID-DELGADO *et al.*, 2021). Assim, o P é o elemento-chave mais importante depois do nitrogênio que frequentemente limita a produtividade das plantas (SAADOULI, 2021).

A fertilidade natural dos solos do Norte do RS é insuficiente para atender a demanda das principais culturas agrícolas da região. Os solos em áreas sem intervenção humana são com baixa saturação por bases (V%), alta saturação por Al além de serem ácidos, o que interfere diretamente, de forma grave, na disponibilidade de P (TIECHER, 2016). Isso deve-se ao fato de que em solos ácidos o P se liga com a cátion metálicos de Ferro, Alumínio e Cálcio, além dos óxidos de Ferro e Alumínio, que torna o P insolúvel, e consequentemente, indisponível para as plantas (SAEID *et al.*, 2018).

Os solos das regiões tropicais e subtropicais geralmente têm uma composição química limitada, com acidez baixa, pH que varia de 3,8 a 5,5, decorrente do intenso intemperismo natural. Nestes solos, pode haver presença de Alumínio, um elemento prejudicial para as plantas, além da indisponibilidade de alguns nutrientes como o P. Provocado por atributos químicos e físicos do solo como o teor de argila, pH, CTC efetiva e matéria orgânica agem na dinâmica de adsorção do P (VINHA, 2021). No Brasil, aproximadamente 75% dos solos propícios para a agricultura enfrentam indisponibilidade de P (RHEINHEIMER *et al.*, 2018). Para neutralizar o Al^{3+} e elevar o pH do solo, a calagem é uma prática fundamental, proporcionando condições adequadas para o desenvolvimento das culturas (KLUG *et al.*, 2020). Vários resultados de pesquisas mostram que a aplicação de corretivos de acidez de forma e quantidade correta, são benéficos para os mais diversos sistemas de produção. O corretivo de acidez do solo mais utilizado é o calcário que aplicado ao solo, superficialmente ou incorporado, aumentará entre outros nutrientes, a disponibilidade de P e, conseqüentemente a saturação de bases (NOLLA, 2020).

De maneira geral, os produtores que buscam altas produtividades em culturas de grãos usam grandes aportes de P, para suprir a necessidade da cultura, e principalmente suprir a retenção de P e solos mais ácidos. Neste sentido, com vistas em minimizar o uso de fertilizante fosfatado, tem-se notado a elevação no mercado de microrganismos promotores de crescimento, e que possuem a capacidade de solubilizar o P retido no solo. Entre as bactérias que auxiliam no crescimento das plantas, as do gênero *Pantoea* ganham destaque, sendo de grande importância para o segmento agrônomo (CHAKDAR *et al.*, 2018; SUMAN *et al.*, 2020; LORENZI, 2022).

A utilização de *Pantoea agglomerans* e outras cepas de *Pantoea* como bioinsumos na prática agrícola tem sido relatada, indicando sua viabilidade econômica-ambiental (FERREIRA *et al.*, 2019). Essas bactérias podem ser utilizadas como biofertilizantes, promovendo o crescimento das plantas e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos. Além disso, a *P. agglomerans* tem sido estudada por sua capacidade de produzir compostos bioativos, como o herbicolin A, que possui atividade antifúngica contra uma ampla gama de fungos fitopatogênicos (MATILLA *et al.*, 2023). Isso pode também contribuir para o controle de doenças de plantas de forma mais sustentável, reduzindo a dependência de pesticidas químicos.

A cepa ZB de *P. agglomerans*, solubilizadora de fosfato foi isolada do solo da rizosfera da araucária (*Araucaria angustifolia*) e apresentou grande capacidade de solubilizar vários fosfatos inorgânicos insolúveis do solo, com a capacidade de produção de substâncias promotoras de crescimento como IAA (ácido indol 3-acético), fitase, fosfatase alcalina, além de fixação do nitrogênio do ar (LORENZI, 2022). Em estudo inicial com cana-de-açúcar, a *P. agglomerans* 33.1 mostrou diversos mecanismos que promovem o crescimento das plantas, incluindo a produção de ácido indolacético (IAA), a capacidade de tornar o fosfato inorgânico solúvel, além da habilidade de fixar nitrogênio de forma biológica (QUECINE *et al.*, 2012). Assim, a bactéria desempenha papel importante na

agricultura devido às suas propriedades promotoras de crescimento de plantas e sua capacidade de proteção contra patógenos, repercutindo em aumento da produtividade das culturas.

Nesse contexto, são notáveis a relevância e influência positiva exercida pelas bactérias do gênero *Pantoea* no crescimento e desenvolvimento de plantas. Esta observação, por si só, ressalta a necessidade de uma análise mais meticulosa e detalhada sobre a interação destas bactérias com diversas culturas, particularmente com o trigo. Há, portanto, uma demanda crescente por pesquisas que aprofundem o conhecimento neste domínio. De acordo com essa demanda, o presente estudo propõe-se a investigar os efeitos da inoculação da bactéria *P. agglomerans* 33.1 em cultivo de trigo, buscando, dessa forma, melhor compreender o uso de solubilizador de fosfato nesse cereal.

Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho produtivo da cultura do trigo com aplicação de doses de fósforo, associado à bactéria solubilizadora de fosfato *Pantoea agglomerans* 33.1 em diferentes pH do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no ano de 2024 no município de Esperança do Sul, Rio Grande do Sul, nas coordenadas geográficas 27°20'47.07"S e 54° 0'8.82"O. O clima da região é subtropical com pluviosidade entre 1700-1900 mm ao ano e temperatura média anual variando entre 20-23°C (ROSSATO, 2020). O solo da área do experimento, manejado em sistema de plantio direto é caracterizado como Latossolo Vermelho distroférico típico (STRECK *et al.*, 2018).

A implantação da cultura do trigo foi realizada após o cultivo da soja no verão, em área com histórico de solo com pH ácido. Logo após a colheita da soja, foi realizada amostragem de solo na profundidade de 0-10 cm para caracterização físico-química do solo (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização físico-química do solo na área do local do experimento.

p ^h a	V	MOS	Argila	P	K	S	SMP	Al	Ca	Mg	H+Al
(H ₂ O)		(%)			(mg.dm ³)		Índice			(Cmolc.dm ³)	
4,7	28,5	3,4	56,0	26,5	336,5	29,0	5,0	1,4	2,8	1,8	13,7

^apH: Potencial de hidrogênio; V: Saturação por bases; MOS: Matéria orgânica do solo; P: Fósforo;

K: Potássio; S: Enxofre; SMP: SMP (*Solution Medium* pH); Al: Alumínio; Ca: Cálcio;

Mg: Magnésio; H + Al: Acidez potencial.

Fonte: Autores (2025).

A análise química do solo indicou pH 4,7, caracterizando ambiente de acidez moderada. Com base nesse resultado, foi determinada a quantidade de calcário necessário para corrigir o pH do solo utilizando o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (CQFS, 2016). Posteriormente, foi realizada a aplicação de calcário em metade da área experimental, conforme as recomendações obtidas, visando atingir o pH ideal para o cultivo do trigo, pH 6,0.

Na outra metade da área, não foi realizada a correção da acidez, mantendo-se o pH natural do solo (4,7). No período entre safras, saída da cultura da soja e antecedendo o cultivo do trigo foi utilizado cobertura de solo com nabo forrageiro, com vistas na ocupação do solo, proteção contra a erosão e produção de palhada.

Nas duas condições de pH de solo, ideal para a cultura (pH 6,0) e natural da área (pH 4,7), foram utilizados os tratamentos dose de P: 0%, 50%, 100% e 150% da dose recomendada, e expectativa de rendimento de seis toneladas de grãos de trigo por hectare (CQFS, 2016). Foi utilizado fertilizante MAP, a uma dose de 100 kg/ha, o que equivale a 45 kg/ha de P nos tratamentos 100% da dose recomendada. As doses de 50% e 150% de P foram ajustadas proporcionalmente a dose de 100% de P. Ainda, para cada condição de solo e dose de P foi utilizada situação com e sem uso de bactéria solubilizadora de fosfato (*P. agglomerans* 33.1).

O experimento foi conduzido em delineamento experimental em blocos casualizados, em parcelas de 3 x 3 metros, com quatro repetições cada tratamento. A seguir estão detalhados os tratamentos: T1: Solo pH 6; 0% dose de P; sem solubilizador de P. T2: Solo pH 6; 50% dose de P; sem solubilizador de P. T3: Solo pH 6; 100% dose de P; sem solubilizador de P. T4: Solo pH 6; 150% dose de P; sem solubilizador de P. T5: Solo pH 6; 0% dose de P; com solubilizador de P. T6: Solo pH 6; 50% dose de P; com solubilizador de P. T7: Solo pH 6; 100% dose de P; com solubilizador de P. T8: Solo pH 6; 150% dose de P; com solubilizador de P. T9: Solo pH ácido; 0% dose de P; sem solubilizador de P. T10: Solo pH ácido; 50% dose de P; sem solubilizador de P. T11: Solo pH ácido; 100% dose de P; sem solubilizador de P. T12: Solo pH ácido; 150% dose de P; sem solubilizador de P. T13: Solo pH ácido; 0% dose de P; com solubilizador de P. T14: Solo pH ácido; 50% dose de P; com solubilizador de P. T15: Solo pH ácido; 100% dose de P; com solubilizador de P. T16: Solo pH ácido; 150% dose de P; com solubilizador de P.

A cultura do trigo, cultivar TBio Calibre, foi implantada no mês de maio, conforme o zoneamento agrícola de risco climático (ZARC). A semeadura foi realizada com semeadora tratorizada, espaçamento de 17 cm entre linhas e densidade de 220 plantas/m². Foi utilizada a dose recomendada do inoculante líquido de *P. agglomerans* 33.1, o qual foi pulverizado diretamente nas sementes pela semeadora. As sementes foram tratadas previamente com inseticidas e fungicidas, de acordo com as recomendações técnicas para a cultura. O experimento foi conduzido em condições naturais de clima, sem a utilização de irrigação suplementar. O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado mediante a aplicação de defensivos químicos.

Na colheita, foi realizada avaliação da produtividade de grãos, do número de espigas por metro quadrado e do peso de mil sementes. A produtividade de grãos foi determinada pela colheita e debulha manual das espigas provenientes de dois metros lineares de cada parcela experimental. Os grãos foram secos ao sol até atingirem a umidade aproximada de 13%. O número de espigas foi obtido pela contagem direta das espigas presentes nesses dois metros lineares utilizados para

determinação da produtividade de grãos. O peso de mil sementes foi avaliado mediante a contagem e pesagem de amostras de mil sementes de acordo com BRASIL (2009).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise pelo teste de *Scott-Knott* 5% de probabilidade de erro para o agrupamento das médias, permitindo uma melhor discriminação geral dos tratamentos em grupos homogêneos. Ainda, realizada análise de variância trifatorial (ANOVA) seguido do teste de Tukey 5% para avaliar os efeitos isolados e as interações entre os fatores estudados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

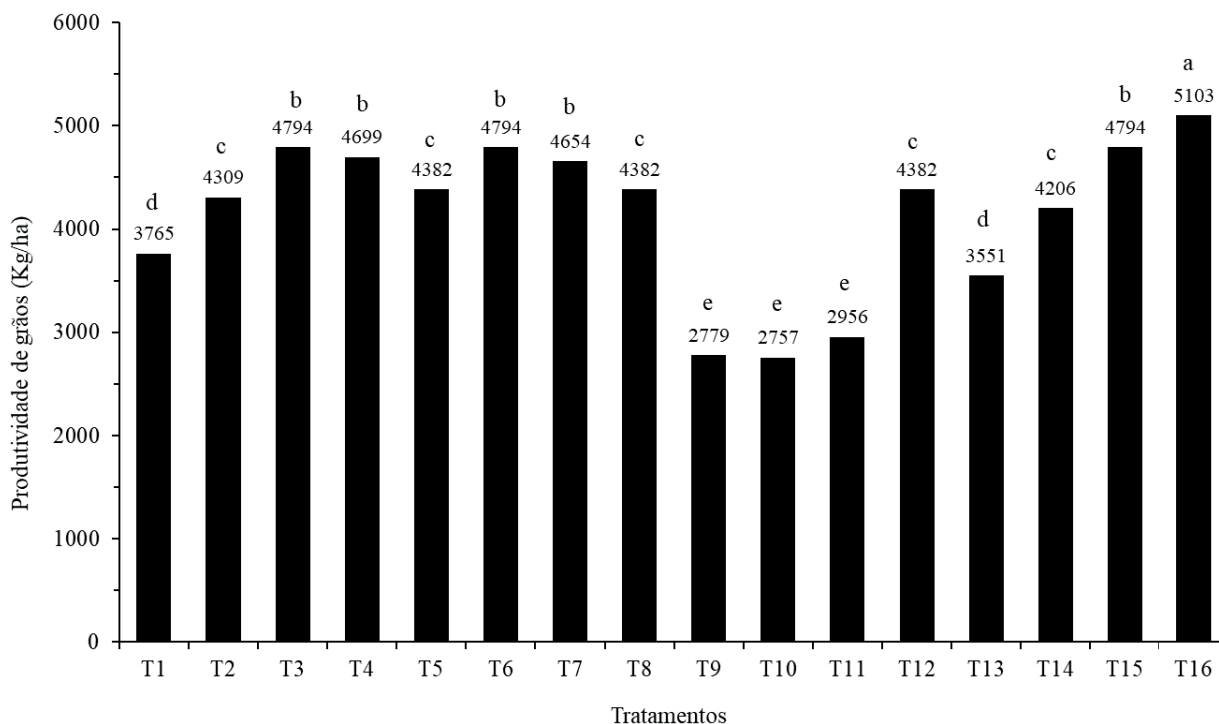
A produtividade de grãos apresentou diferença significativa entre os tratamentos avaliados (Tabela 2; Figura 2). O tratamento T16 (Solo pH ácido; 150% dose de P; com solubilizador de P) apresentou a maior produtividade de grãos entre todos os tratamentos, atingindo 5.103 kg/ha, correspondendo a aproximadamente 85 sacas/ha. Esse desempenho pode ser atribuído à combinação de aplicação de 150% da dose recomendada de P e ao uso de solubilizador de fósforo, que favoreceu uma maior disponibilidade desse nutriente para as plantas de trigo. Ainda, esse resultado pode ser relacionado ao potencial genético específico da cultivar de trigo na melhor resposta produtiva com doses maiores de P, quando associado a bactéria solubilizadora de fósforo. Essa observação para a cultura do trigo ainda havia sido relatada em trabalhos de pesquisa anteriores, mostrando, segundo Silva *et al.* (2023), possivelmente o efeito sinérgico entre o nutriente P e ação da bactéria na planta de trigo.

Tabela 2 - Análise de variância entre as variáveis analisadas e tratamentos submetidos à análise pelo teste de *Scott-Knott* 5% de probabilidade de erro.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	15	39990,43	2666,02	73,860	0,0000
Repetição	3	22,68	7,56	0,2100	0,8894
Erro	45	1624,31	36,09		
Total corrigido	65	41637,43			
CV (%)	4,26				
Média geral	140,90	Número de observações: 64			

Esses resultados corroboram com estudo de Hussain *et al.* (2019), que observaram aumento de produtividade no trigo de 3.444 kg/ha para 4.326 kg/ha (25%) ao combinarem aplicação de 100% da dose recomendada de P com bactérias solubilizadoras de fósforo, destacando o papel dessas bactérias na melhora da disponibilidade e absorção desse nutriente. Comparativamente, o incremento observado no tratamento T16 em relação ao tratamento sem aplicação adicional de P nem solubilizador (T9) foi ainda mais expressivo (83,6%).

Figura 2 - Produtividade de grãos de trigo. Médias no topo das barras com letras iguais não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 5%.



Fonte: Autores (2025).

No entanto, Jardini *et al.* (2024), que avaliaram a associação de P e microrganismos solubilizadores de fosfato, porém na produtividade da cultura do milho, não encontraram diferenças significativas, obtendo médias produtivas próximas a 6.400 kg/ha tanto com e sem inoculação microbiana. Esse resultado difere do obtido no presente estudo, indicando que fatores edafoclimáticos e características específicas da planta podem limitar os benefícios da inoculação microbiana, mesmo com alta disponibilidade de P no solo. Silva *et al.* (2022) reportaram resultados positivos na fase inicial do desenvolvimento do milho após inoculação, porém com a bactéria solubilizadora *Bacillus subtilis* (cepa UFT-09). A inoculação, mesmo associada a 50% da dose recomendada de fertilizante fosfatado, promoveu incrementos significativos no crescimento inicial das plantas (20%), sugerindo que a estratégia pode reduzir o uso de fertilizantes sem prejuízos produtivos. Embora Silva *et al.* (2022) não tenham avaliado produtividade de grãos da cultura, esses dados iniciais indicam que o uso de bactérias solubilizadoras podem proporcionar resultados positivos semelhantes aos observados no tratamento T16 em nosso estudo.

Os tratamentos T3, T4, T6, T7 e T15 mostraram valores de produtividade de grãos de trigo variando entre 4.654 kg/ha a 4.794 kg/ha. Esses tratamentos, em sua maioria, foram realizados em solo com pH corrigido e com doses de P próximas ou iguais a 100%, com ou sem o uso de solubilizador, indicando que o ajuste do pH do solo associado a uma adubação fosfatada adequada foi determinante para o bom desempenho produtivo da cultura do trigo. Resultados semelhantes foram encontrados por Kramer *et al.* (2014), que observaram produtividade média de trigo de aproximadamente 3.431 kg/ha em solos corrigidos para

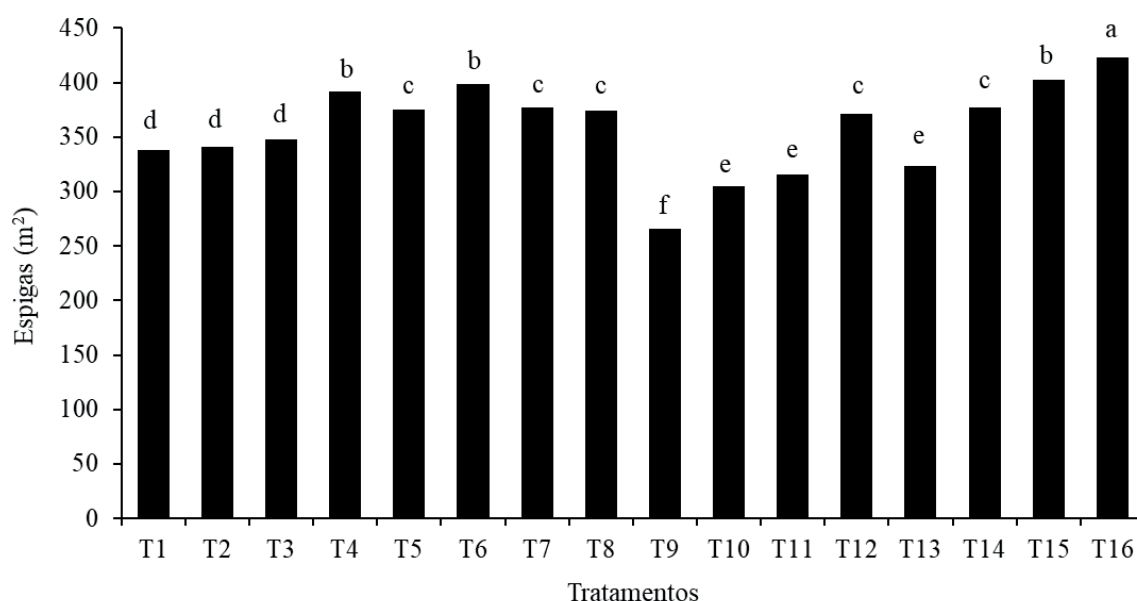
pH próximo a 6,0, valor cerca de 28% inferior ao obtido neste estudo. Luo *et al.* (2023) também reportaram aumento expressivo na produtividade do trigo com aplicação de P em solos previamente corrigidos (Até 90%), porém os valores absolutos foram ligeiramente inferiores aos observados em nosso estudo.

Produtividade intermediária de grãos de trigo foi observada nos tratamentos T2, T5, T8, T12 e T14. Esses tratamentos receberam doses de P menores ou foram realizados em solos com pH ácido, limitando parcialmente a absorção do nutriente, mesmo com a presença de solubilizador em alguns casos. Esses achados estão alinhados com os de Adnan *et al.* (2022), que constataram incrementos de produtividade de aproximadamente 14% ao utilizar bactérias solubilizadoras em solos ácidos ou com doses insuficientes de P, ainda assim, mantendo-se abaixo dos valores mais elevados registrados neste experimento.

Já os tratamentos T9, T10 e T11 compuseram as menores produtividades de grãos, todas inferiores a 3.000 kg/ha. Estes tratamentos foram realizados em solo ácido, sem a utilização de solubilizador e com doses de P de 0% a 100%, comprometendo o desenvolvimento das plantas e, consequentemente a formação dos grãos. Esses resultados corroboram com Fageria e Nascente (2014), que destacaram reduções significativas de produtividade em trigo cultivado em solos ácidos com pH abaixo de 5,5 devido à toxicidade de alumínio e baixa disponibilidade de P.

Os resultados de produtividade de grãos podem ser explicados pelos dados de peso de mil sementes e número de espigas por metro quadrado, que obtiveram resultados estatísticos semelhantes, figuras 3 e 4, respectivamente, o que reforça a importância das condições nutricionais adequadas para o bom desenvolvimento das culturas. Sial *et al.* (2018) verificaram aumentos significativos na produtividade do trigo com aplicação de *Bacillus megatherium* associado à adubação fosfatada, ainda que os valores absolutos tenham sido inferiores aos dos melhores tratamentos do presente estudo.

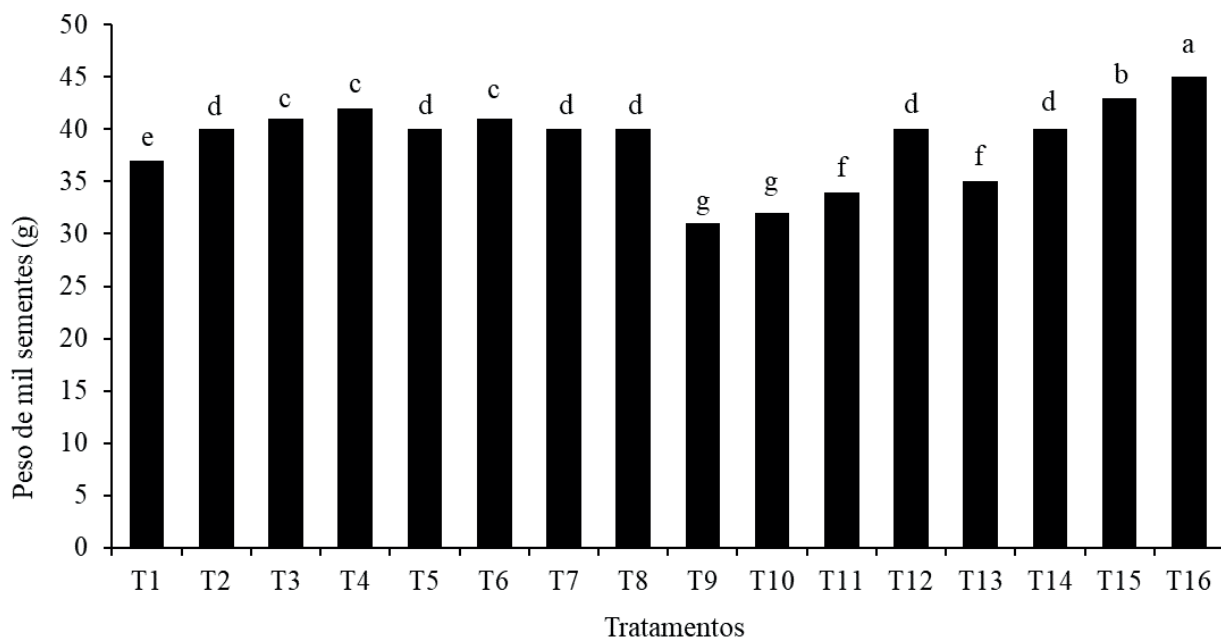
Figura 3 - Número de espigas de trigo por área. Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 5%.



Fonte: Autores (2025).

O tratamento T16 apresentou a maior produtividade de grãos, atingindo 5.103 kg/ha. Esse desempenho superior foi resultado da elevada densidade de espigas, com cerca de 420 espigas/m², associada ao maior peso de mil sementes, próximo de 45g. A presença simultânea de alto número de espigas e sementes mais pesadas, dois consideráveis componentes de rendimento da cultura, favoreceu o acúmulo de massa de grãos por unidade de área. Resultados semelhantes foram observados por Sharma *et al.* (2024), que destacaram incrementos significativos na produtividade do trigo (até 33%) com a utilização de bactérias solubilizadoras de P, alcançando valores de produtividade acima de 5.000 kg/ha em condições semelhantes às do tratamento T16.

Figura 4 - Peso de mil sementes de trigo nos diferentes tratamentos.
Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de *Scott-Knott* a 5%.



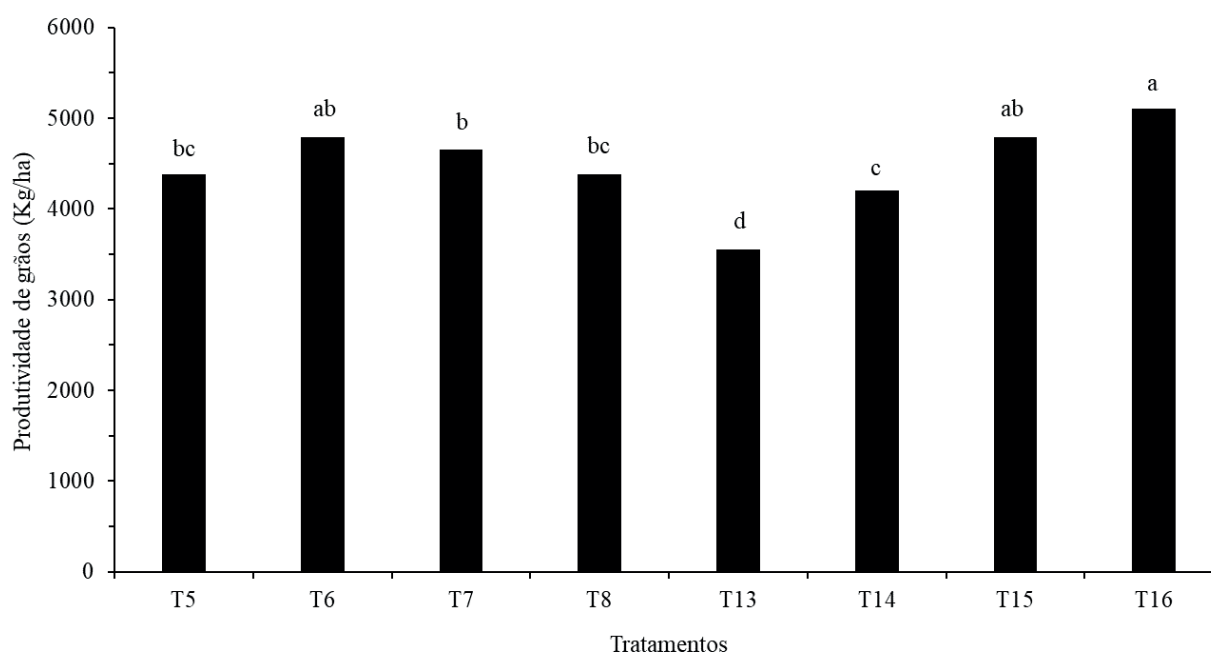
Fonte: Autores (2025).

Tratamentos como T4, T6 e T15, que apresentaram produtividades médias de grãos, entre 4654 e 4794 kg/ha, combinaram números de espigas (média 400 espigas/m²) e pesos de mil sementes superiores a 41g. Embora tenham obtido resultados positivos, as médias ligeiramente inferiores de espigas ou de peso de sementes em relação ao T16 explicam a diferença de produtividade de grãos observada. Esses resultados são consistentes com Kumar *et al.* (2022), que relataram produtividades em torno de 4.700 kg/ha com número de espigas próximas a 400 espigas/m² ao utilizarem doses moderadas de P associadas à inoculação bacteriana. Em contraponto, os menores rendimentos de grãos foram registrados nos tratamentos T9, T10 e T11, com produtividades abaixo de 3.000 kg/ha. Esses tratamentos apresentaram número reduzido de espigas, variando de 260 a 310 espigas/m², e menores pesos de mil sementes, próximos a 31-32 g, o que comprometeu o potencial produtivo da cultura. Qaswar *et al.* (2020) confirmaram baixas produtividades, inferiores a 3.000 kg/ha, são comuns em

solos ácidos sem correção adequada do pH e com baixas doses de P, devido à menor formação de espigas e baixa massa dos grãos resultantes.

Quando se observa os efeitos somente da *P. agglomerans* na produção de grãos (Figura 5), os resultados são mais expressivos em condições de solo pH ácido com 150% da dose de P recomendada (T16), onde o P fica em grande parte indisponível para a planta, devido às ligações químicas que esse nutriente sofre em condições de pH ácido, conseqüentemente, a bactéria não conseguiu expressar plenamente suas características. Esses resultados corroboram com Silva *et al.* (2023), que indicam a importância crítica do P disponível no solo para que bactérias solubilizadoras possam demonstrar efetivamente seu potencial benéfico.

Figura 5 - Produtividade de grãos de trigo nos tratamentos com solubilizador de fosfato.
Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

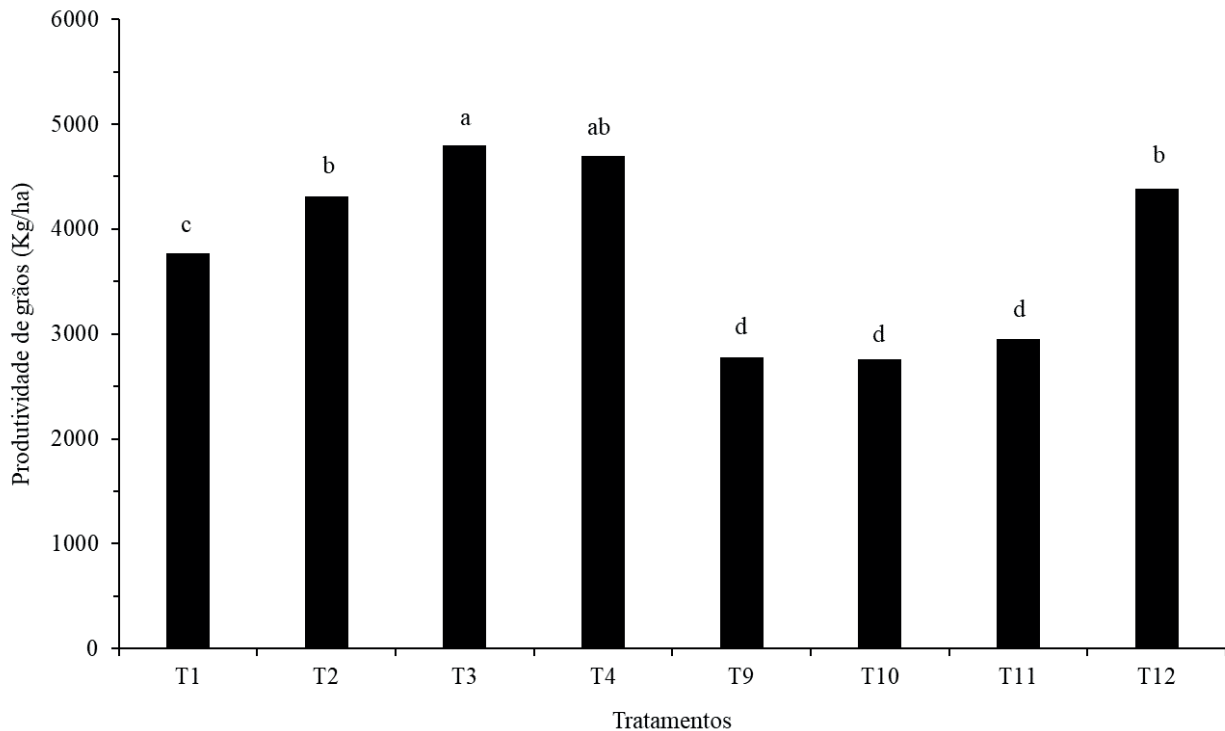


Fonte: Autores (2025).

O tratamento com a inoculação da bactéria e em condições de pH ácido, T13, porém sem nenhuma adição de P na adubação, apresentou a menor produtividade de grãos (3.551 kg/ha), enquanto o tratamento T16 obteve 5.103 kg/ha, expressando claramente a grande importância do nutriente P na produtividade da cultura. Resultados similares foram encontrados por Fahad *et al.* (2022), que destacaram incrementos expressivos de produtividade (30%) quando altas doses de P foram associadas à inoculação bacteriana em solos ácidos.

Já quando analisados somente os tratamentos sem inoculação da bactéria, o principal fator de efeito foi o pH do solo, onde tratamentos que receberam correção do solo obtiveram, em geral, maiores produções de grãos (Figura 6).

Figura 6 - Produtividade de grãos de trigo nos tratamentos sem solubilizador de fosfato.
Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



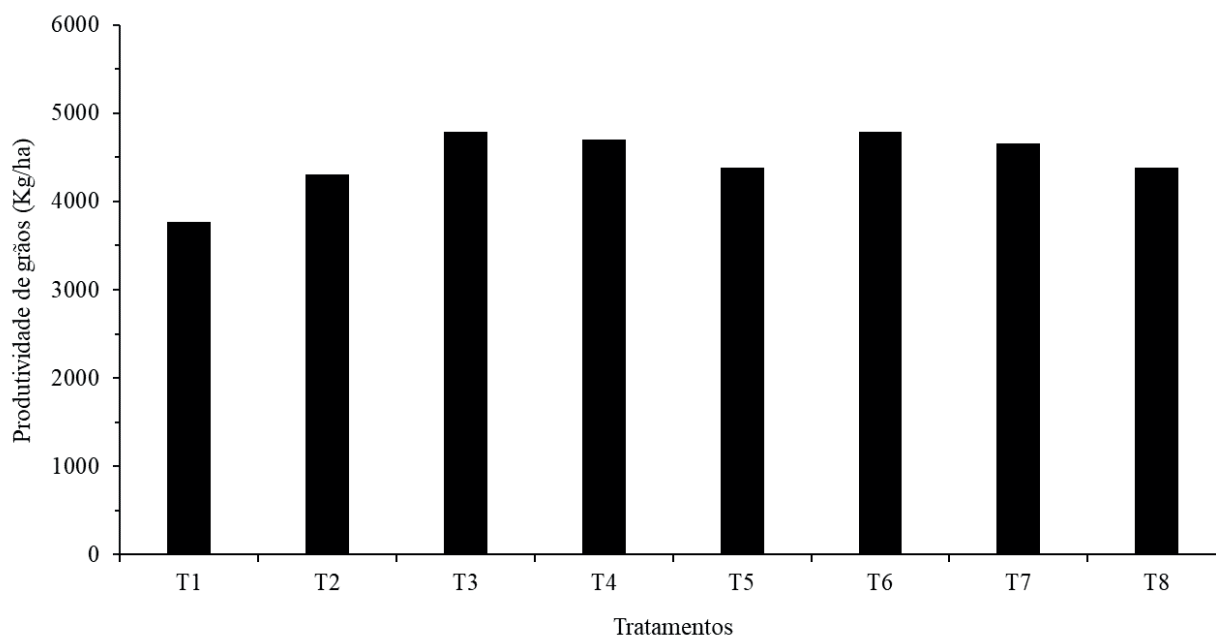
Fonte: Autores (2025).

Os tratamentos com pH de solo corrigido (T1, T2, T3 e T4) mostraram produção média de grãos de 4.392 kg/ha, enquanto os tratamentos sem correção (T9, T10, T11 e T12) produziram em média 3.219 kg/ha, resultando em uma diferença média de mais de 1.000 kg/ha. Essa diferença mostra claramente a importância prática da correção da acidez do solo para a produtividade do trigo. Resultados semelhantes foram reportados por Enesi *et al.* (2023), que em uma meta-análise global constataram incrementos médios entre 10% e 50% na produtividade de diversas culturas após calagem, destacando casos específicos em que o trigo apresentou aumento de até 57,3% na produtividade após a correção do pH do solo. Da mesma forma, Henry *et al.* (2021) observaram que a aplicação de calcário em solos ácidos tropicais resultou em aumentos expressivos (entre 34% e 252%) na produtividade de trigo e culturas semelhantes, como cevada, dependendo da severidade inicial da acidez. Caires *et al.* (2005), em experimento realizado no Sul do Brasil, também documentaram incrementos significativos, chegando a triplicar a produtividade do trigo em áreas que receberam calagem de longo prazo, especialmente em condições de estresse hídrico, destacando novamente a importância crítica da correção da acidez na garantia da produtividade das culturas de grãos.

Em contrapartida, os tratamentos T1 ao T8 (Figura 7), todos com solo corrigido, alcançaram uma produção média de 4.472 kg/ha, onde os tratamentos T1, T2, T3 e T4, sem a inoculação, obtiveram produção de 4.392 kg/ha, enquanto os tratamentos T5, T6, T7 e T8, com inoculação, 4.553 kg/ha. Essa diferença de apenas 161 kg/ha coloca em dúvida a eficiência da inoculação em condições ideais

de pH de solo para produção da cultura do trigo. Kumar *et al.* (2015) também destacaram ganhos limitados em produtividade com inoculação bacteriana em trigo cultivado em solos com níveis adequados de P. Resultado semelhante foi observado por Zucareli *et al.* (2018), que não identificaram aumento significativo na produtividade, porém para a cultura do feijoeiro comum quando inoculado com bactérias solubilizadoras de P em solos adequadamente fertilizados.

Figura 7 - Produtividade de grãos de trigo nos tratamentos com solo pH corrigido.
Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



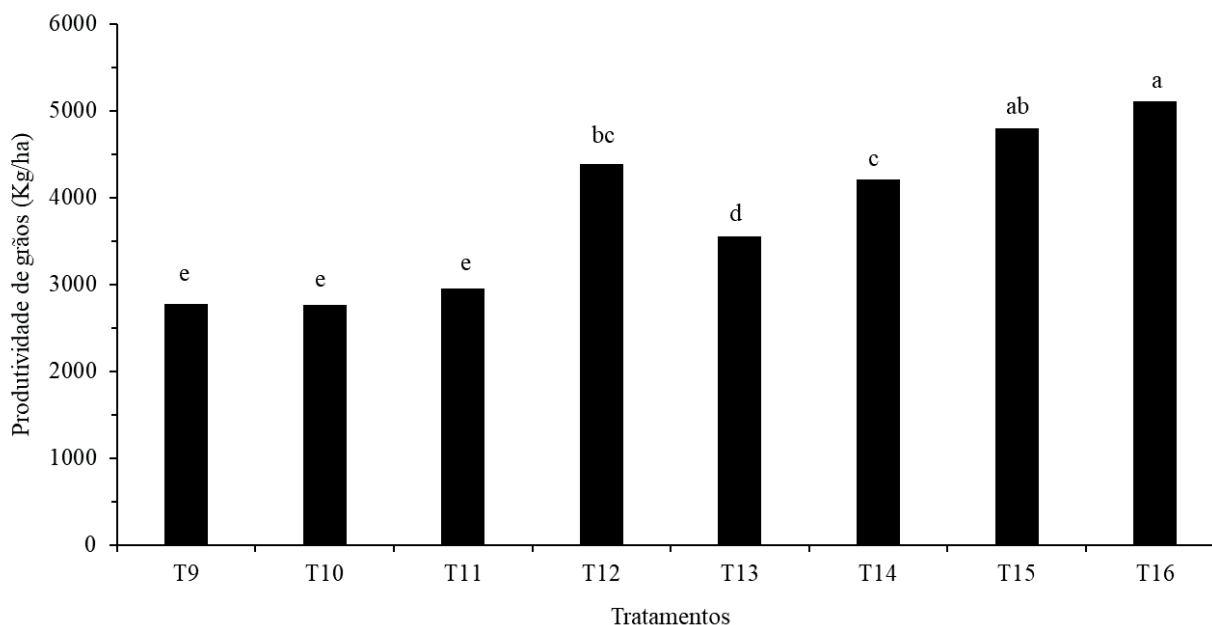
Fonte: Autores (2025).

Entretanto, deve-se considerar que estatisticamente os tratamentos com a dose de P 100% são iguais, com e sem a inoculação. Por outro lado, a dose de 50% de P com inoculação foi estatisticamente igual aos tratamentos com 100% de P, mostrando assim ser viável em condições de menor adubação fosfatada. Este resultado é corroborado por Nunes *et al.* (2025), que relataram que a inoculação com bactérias solubilizadoras permitiu reduzir pela metade a dose de P sem perdas na produtividade da soja, comprovando a viabilidade econômica e agrônômica da prática. De forma semelhante, Oliveira-Paiva *et al.* (2024) verificaram aumento significativo na produtividade do milho utilizando apenas 50% da dose recomendada de P associada à inoculação bacteriana, confirmando o potencial econômico dessa estratégia em condições moderada de fertilidade do solo.

Quando analisados os tratamentos em solo ácido, foi constatada a importância da inoculação nessas condições (Figura 8). O tratamento T16 apresentou produção de 5.103 kg/ha, enquanto o T9, sem inoculação e sem adubação fosfatada, alcançou apenas 2.779 kg/ha, diferença significativa de 2.324 kg/ha. Ademais, o tratamento T13, que recebeu inoculação, mas sem adubação fosfatada, obteve produção de 3.551 kg/ha. A diferença de 772 kg/ha exclusivamente pela

inoculação evidencia a viabilidade econômica e agrônômica dessa prática em condições limitadas de pH e adubação fosfatada.

Figura 8 - Produtividade de grãos de trigo nos tratamentos com solo pH ácido.
Letras iguais no topo das barras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.



Fonte: Autores (2025).

Esses resultados são consistentes com estudos anteriores, como o de Sial *et al.* (2015), que mostram incrementos expressivos de produtividade em trigo inoculado com solubilizador de fosfato *Bacillus megatherium* em solos ácidos com baixa disponibilidade de P, indicando ganhos semelhantes ao observado no presente estudo. Da mesma forma, Viruel *et al.* (2014), observaram aumentos significativos na produtividade do milho inoculado com bactérias solubilizadoras em condições de baixo fornecimento de P, reforçando a importância dessa prática em ambientes agrícolas de baixa fertilidade do solo. Oliveira-Paiva *et al.* (2020) também destacam a viabilidade econômica da inoculação, demonstrando retorno econômico favorável em culturas comerciais como milho e soja, o que corrobora os resultados aqui obtidos em trigo. Assim, estudos nessa temática devem ser incentivados, com vistas em estratégias integradas que combinam correção do solo, fertilização racional e uso de bioinsumos são fundamentais para elevar a produtividade agrícola de maneira sustentável.

4 CONCLUSÕES

A adubação fosfatada, correção do pH do solo e o uso do solubilizador de P influenciaram positivamente a produtividade de grãos da cultura do trigo.

A inoculação com *Pantoea agglomerans* em solo ácido e 150% da dose de fósforo potencializa a produção de grãos da cultura do trigo (5.103 kg/ha), destacando a importância da inoculação nessa

condição de acidez do solo para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas. Já em solo com pH corrigido, a inoculação apresenta efeitos limitados, questionando sua viabilidade.

A inoculação com *Pantoea agglomerans* indica a possibilidade de redução de 50% na adubação fosfatada sem perda de produtividade de grãos da cultura do trigo, representando uma alternativa sustentável e econômica para o manejo agrícola.

A correção do pH do solo proporciona aumentos médios de produtividade de grãos superiores a 1.000 kg/ha em comparação ao solo ácido na cultura do trigo.

REFERÊNCIAS

ADNAN, M. *et al.* Comparative efficacy of phosphorous supplements with phosphate solubilizing bacteria for optimizing wheat yield in calcareous soils. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 11997, 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

CAIRES, E. F. *et al.* Surface application of lime for crop grain production under a no-till system. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 3, p. 791-798, 2005.

CHAKDAR, H. *et al.* Caracterização de bactérias solubilizadoras de fosfato mineral e promotoras de crescimento de plantas de solo de cupins de região árida. **Biotech**, v. 8, n. 463, 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2023/2024 - 4º Levantamento**. Brasília: Conab, 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/01/boletim-conab-safra-graos-2024.pdf>. Acesso em: 21 setembro de 2025.

CQFS-COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

DA SILVA, B. N. P. *et al.* Características morfométricas e fisiológicas de sementes de trigo mourisco durante a maturação. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 55-63, 2022.

ENESI, R. O. *et al.* Liming remediates soil acidity and improves crop yield and profitability - A meta-analysis. **Frontiers in Agronomy**, v. 5, art.1194896, 2023.

FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of soil acidity of South American soils for sustainable crop production. **Advances in Agronomy**, v. 128, p. 221-275, 2014.

FAHAD, S. *et al.* Comparative efficacy of phosphorous supplements with phosphate-solubilizing bacteria for optimizing wheat yield in calcareous soils. **Scientific Reports**, v. 12, art.11997, 2022.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Cereal Supply and Demand Brief - Feb. 2023**. Roma: 2023. Disponível em: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/fao-cereal-supply-demand-brief-february-2023_en. Acesso em: 20 setembro de 2025.

FERREIRA, C. M. H.; SOARES, H. M. v. M.; SOARES, E. v. Promising bacterial genera for agricultural practices: An insight on plant growth-promoting properties and microbial safety aspects. **Science of the total environment**, v. 682, p. 779-799, 2019.

HENRY, R. T. *et al.* Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: A review. **Soil & Plant Science**, v. 71, n.8, p.651-662, 2021.

HUSSAIN, A. *et al.* Combining phosphorus (P) with phosphate solubilizing bacteria (PSB) improved wheat yield and P uptake in alkaline soil. **Pure and Applied Biology**, v. 8, n. 2, p. 1809-1817, 2019.

JARDINI, D. C. *et al.* Desenvolvimento e produtividade da cultura do milho em função de doses de fósforo associado a microrganismos solubilizadores de fosfatos. **Connectionline**, v. 31, n. 31, p. 24-32, 2024.

KLUG, I. *et al.* Soil chemical properties in forestry plantations replacing native vegetation in high-altitude grasslands. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 2, p. 279-290, 2020.

KRAMER, L. F. M. *et al.* Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1193-1204, 2014.

KUMAR, B. *et al.* Growth and productivity of wheat affected by phosphorus-solubilizing fungi and phosphorus levels. **Plant, Soil and Environment**, v. 61, n. 3, p. 122-126, 2015.

KUMAR, S.; JAHAN, N.; SINGH, N. Phosphate solubilizing bacteria optimize wheat yield in mineral phosphorus applied alkaline soil. **Advanced Engineering Science**, v. 54, n. 2, p. 206-216, 2022.

LORENZI, A. S. *et al.* Opposite sides of *Pantoea agglomerans* and its associated commercial outlook. **Microorganisms**, v. 10, n. 10, p. 2072, 2022.

LUO, L. *et al.* Improving wheat yield and phosphorus use efficiency through the optimization of phosphorus fertilizer types based on soil P pool characteristics in calcareous and non-calcareous soil. **Agronomy**, v. 13, n. 3, p. 928, 2023.

MADRID-DELGADO, G. *et al.* Pathways of phosphorus absorption and early signaling between the mycorrhizal fungi and plants. **Phyton**, v. 90, n. 5, p. 1321, 2021.

MARTINS, L. *et al.* Avaliação física e sensorial de cookies com farinhas de casca de amêndoa de cacau, arroz e trigo. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e45411931935-e45411931935, 2022.

MATILLA, M. A. *et al.* Herbicolin A production and its modulation by quorum sensing in a *Pantoea agglomerans* rhizobacterium bioactive against a broad spectrum of plant-pathogenic fungi. **Microbial biotechnology**, v. 16, n. 8, p. 1690-1700, 2023.

NOLLA, A. *et al.* Correção da acidez e disponibilização de fósforo e potássio em latossolo vermelho distrófico típico submetido à calagem incorporada e superficial. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 2478-2487, 2020.

NUNES, A. L. T. *et al.* Eficiência agrônômica do inoculante promotor de crescimento e solubilizador de fosfato, à base de *Bacillus amyloliquefaciens*, *Priestia megaterium* e *Pseudomonas fluorescens*, na cultura da soja via tratamento de sementes. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 18, n. 4, 2025.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 2024.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A. *et al.* 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. (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 210).

QASWAR, M. *et al.* Interaction of liming and long-term fertilization increased crop yield and phosphorus use efficiency (PUE) in acidic soil under wheat-maize cropping. **Scientific Reports**, v. 10, art.19828, 2020.

QUECINE, M. C. *et al.* Sugarcane growth promotion by the endophytic bacterium *Pantoea agglomerans* 33.1. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 21, p. 7511-7518, 2012.

RHEINHEIMER, D. S. *et al.* Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Uma proposta de classificação climática. **ENTRE-LUGAR**, v. 11, n. 22, p. 57-85, 2020.

SAADOULI, I. *et al.* The impact of the inoculation of phosphate-solubilizing bacteria *Pantoea agglomerans* on phosphorus availability and bacterial community dynamics of a semi-arid soil. **Microorganisms**, v. 9, n. 8, p. 1661, 2021.

SAEID, A. Phosphorus microbial solubilization as a key for **phosphorus recycling in agriculture**. In: Phosphorus-recovery and recycling. London, UK: IntechOpen, 2018.

SANTOS, M. R. L.; SABINO, M. L. A.; SOARES, L. D. S. Aplicações parceladas de fósforo na produção e composição físico-química de milho. **Científic@ - Multidisciplinary Journal**, v. 10, p. 1-12, 2023

SHARMA, P. *et al.* Unveiling wheat growth promotion potential of phosphate solubilizing *Pantoea agglomerans* through genomic, physiological, and metagenomic characterizations. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, art.1467082, 2024.

SIAL, N. A. *et al.* Effect of phosphate solubilizing bacteria (*Bacillus megatherium*) and phosphate fertilizer on yield and yield components of wheat. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 35-40, 2015.

SIAL, N. A. *et al.* Growth and yield of wheat as affected by phosphate solubilizing bacteria and phosphate fertilizer. **Pakistan Journal of Biotechnology**, v. 15, n.2, p. 475-479, 2018.

SILVA, C. D. R. *et al.* Inoculação de bactérias solubilizadores de fosfato no milho: reduzir ou não a adubação fosfatada? Insight dos primeiros estádios vegetativos. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 8, Ed. especial, p. 1-10, 2022.

SILVA, L. I. *et al.* Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. **Agriculture**, v. 13, n. 2, art. 462, 2023.

STRECK, E. v. KÄMPF, N.; KLAMT, E. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 3. ed. rev. ampl. Porto Alegre: UFRGS: EMATER/RS-ASCAR, 2018. 251p.

SUMAN, A. *et al.* Potential use of plant colonizing *Pantoea* as generic plant growth promoting bacteria for cereal crops. **Journal of Environmental Biology**, v. 41, p. 987-994, 2020.

TIECHER, T. *et al.* Evolução e estado da fertilidade do solo no Norte do Rio Grande do Sul e Sudoeste de Santa Catarina. **UFRGS**: Porto Alegre, Brazil, 2016. 53p.

USDA - United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. **Grain: World Markets and Trade - May 2025**. Washington, DC: USDA-FAS, 2025. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2025.

VINHA, A. P. C. *et al.* Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2021.

VIRUEL, E. *et al.* Inoculation of maize with phosphate solubilizing bacteria: effect on plant growth and yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 819-831, 2014.

ZUCARELI, C. *et al.* Associação de fosfatos e inoculação com *Bacillus subtilis* e seu efeito no crescimento e desempenho produtivo do feijoeiro. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 189-195, 2018.