

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOÃO VICTOR DE MATTOS

EFEITO DE BIOESTIMULANTE VIA SOLO NA NUTRIÇÃO E NO RENDIMENTO DE  
GRÃOS DE SOJA E TRIGO

PONTA GROSSA  
2020

JOÃO VICTOR DE MATTOS

EFEITO BIOESTIMULANTE VIA SOLO NA NUTRIÇÃO E NO RENDIMENTO DE  
GRÃOS DE SOJA E TRIGO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Área de Concentração em Uso e Manejo do Solo, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Eduardo Fávero Caires

PONTA GROSSA  
2020

M444 Mattos, João Victor de  
Efeito de bioestimulante via solo na nutrição e no rendimento de grãos de soja e trigo / João Victor de Mattos. Ponta Grossa, 2020.  
55 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Área de Concentração: Agricultura),  
Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires.

1. Glycine max L.. 2. Triticum aestivum L.. 3. Ativador de microbiota. 4.  
Bioestimulantes. 5. Metabólitos microbianos. I. Caires, Eduardo Fávero. II.  
Universidade Estadual de Ponta Grossa. Agricultura. III.T.

CDD: 633



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

## TERMO

**Título da Dissertação: “Efeito de bioestimulante via solo na nutrição e no rendimento de grãos de soja e trigo.”**

**Nome: João Victor de Matos**

### Conceito

Aprovado

Reprovado

### Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Fávero Caires  
Profª Drª Carolina Weigert Galvão  
Dr. Marcos Altomani Neves Dias



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Favero Caires, Professor(a)**, em 28/10/2020, às 14:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Carolina Weigert Galvao, Professor(a)**, em 28/10/2020, às 16:03, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Altomani Neves Dias, Usuário Externo**, em 28/10/2020, às 17:31, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.uepg.br/autenticidade> informando o código verificador 0334308 e o código CRC C653609C.

*Dedico este trabalho aos meus pais, Adriana Santos e João Artur de Mattos, meu irmão Bruno Arthur de Mattos e à minha namorada Christin Ellen de Santa Clara **por serem meus grandes incentivadores.***

*Dedico à minha avó Cacilda Maier Mattos (In memoriam) que há alguns anos não está mais conosco, porém deixou seu legado e sua fé afluada em mim.*

*Dedico à minha avó Mariza Gruscoski e à minha madrinha Maristela Mattos, **por toda a fé e orações durante todo o ciclo.***

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é um dom. Acredito que o que somos é fruto do nosso esforço, mas também do suor e sacrifício de um conjunto de pessoas dispostas a nos ver cada dia melhor.

A Deus pelo discernimento e sabedoria por Ele concedidos e por colocar no meu caminho todas essas pessoas que irei citar;

Aos meus pais João Artur de Mattos e Adriana Santos por todo o investimento nos meus estudos, no meu crescimento pessoal e profissional e por formarem o meu caráter;

Ao meu irmão Bruno Arthur de Mattos, futuro magistrado, pelo exemplo de dedicação e disciplina;

À minha namorada Christin Ellen de Santa Clara por todo o companheirismo e incentivo no meu crescimento profissional;

À minha avó Mariza Gruscoski pelas orações e por todo o apoio ao longo dessa trajetória;

À minha tia e madrinha de crisma Maristela Aparecida Mattos por toda a fé, orações, carinho, entrega e dedicação;

Ao meu orientador professor Dr. Eduardo Fávero Caires. Agradeço muito pela oportunidade de ser seu orientado. Pessoa e profissional de caráter, imparcialidade e de exímio conhecimento, busco seguir seu exemplo.

Ao meu amigo e mentor na empresa Nutrien Ag Solution /Agrichem do Brasil, Dr. Marcos Altomani Neves Altomani, pelo evidente incentivo no meu desenvolvimento profissional, durante, praticamente, nesses três anos de empresa. E por ter me concedido a oportunidade em realizar esse aperfeiçoamento.

Ao meu amigo e colega, Dr. Bruno Henrique Costa, também mentor, por toda a camaradagem e auxílio na minha integração de desenvolvimento no Setor de P&D da Agrichem do Brasil e na elaboração de ideias para essa pesquisa.

À minha sogra e grande incentivadora do meu desenvolvimento acadêmico Dra. Cristiane Aparecida Woytichowski;

Ao professor Dr. Andre Belmont Pereira que além de ser um exímio profissional é um exemplo de pessoa humana, de um coração enorme que, além de contribuir para a minha formação como Engenheiro Agrônomo, me incentivou a ser pesquisador.

À empresa Agrichem do Brasil e Nutrien Soluções Agrícolas pela oportunidade de sempre me aperfeiçoar profissionalmente;

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pela oportunidade de cursar Agronomia com qualidade e gratuidade nesse curso que está entre os melhores do Brasil – A todo corpo Docente;

A todos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial ao meu colega Vanderson Modolon Duart por todo o auxílio nas análises estatísticas do trabalho de Dissertação;

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu. Há tempo de nascer, e tempo de morrer; tempo de plantar, e tempo de arrancar o que se plantou.

Eclesiastes 3:1-2.



MATTOS, J.V. **Efeito de bioestimulante via solo na nutrição e no rendimento de grãos de soja e trigo.** 2020. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR, 2020.

## RESUMO

O Brasil importa aproximadamente 90% e 50% dos fertilizantes potássicos e fosfatados utilizados na agricultura, respectivamente, o que o torna o quarto maior consumidor de fertilizantes, com 7% de participação mundial. Boa parte desses fertilizantes aplicados acaba não sendo aproveitado pelas plantas. É senso comum que o aumento na eficiência de uso dos nutrientes é o caminho a ser seguido para se ter sucesso frente aos desafios da agricultura moderna. A utilização de bioestimulantes à base de microrganismos, sejam eles vivos ou a partir de seus metabólitos, pode ser uma alternativa potencialmente sustentável para melhorar a eficiência de uso dos fertilizantes, tornando os cultivos mais rentáveis e produtivos. O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar a influência da utilização de um bioestimulante aplicado via solo (BS) na nutrição das plantas e no rendimento de grãos de soja e trigo. O experimento foi realizado no município de Ponta Grossa, PR, na Fazenda Escola “Capão da Onça” da Universidade Estadual de Ponta Grossa. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com cinco repetições para a cultura da soja e em esquema de parcelas subdivididas, com cinco repetições para a cultura do trigo. Na cultura da soja foram empregadas quatro doses de BS (0, 2, 4 e 6 L ha<sup>-1</sup>). Na cultura do trigo, as parcelas foram divididas em duas subparcelas, sem e com a reaplicação do BS nas mesmas doses utilizadas para a cultura da soja. As doses de BS aplicadas na cultura da soja proporcionaram aumento na massa seca de raiz e na massa seca total da parte aérea aos 30 dias após a semeadura, no número de nós e na produtividade de grãos. Também não afetou negativamente a nodulação de plantas de soja. Na cultura do trigo, as doses de BS proporcionaram aumento na massa fresca total, na extração de N, P, K, Ca, Mg e S, no peso hectolítrico dos grãos (PH) e não influenciou significativamente a produtividade de grãos. A reaplicação do BS na cultura do trigo em sucessão à soja não melhorou a performance do trigo, evidenciando que apenas uma aplicação seria suficiente para a cultura sucessora no ciclo anual.

**Palavras-chave:** *Glycine max* L. *Triticum aestivum* L. Ativador de microbiota. Bioestimulantes. Bioprodutos. Metabólitos microbianos.

MATTOS, J.V. **Effect of bioestimulant by soil on nutrition and yield of soybean and wheat grains.** 2020. Dissertation (Master in Agronomy) - Ponta Grossa State University, Ponta Grossa - PR, 2020.

### ABSTRACT

Brazil imports approximately 90% and 50% of the potassium and phosphate fertilizers used in agriculture, respectively, which makes it the fourth largest consumer of fertilizers, with 7% of the total global participation. A large proportion of the fertilizers applied are not used by plants. It is common sense that the increase in the nutrient efficiency use is the path to be followed to be successful in the face of the challenges of modern agriculture. The use of soil biostimulants based on microorganisms, whether live or from their metabolites, can be a potentially sustainable alternative to improve nutrient efficiency use, making crops more sustainable and productive. The present study was carried out with the objective of evaluating the use of a biostimulant sprayed in the soil (BS) on plant nutrition and grain yield of soybean and wheat. The experiment was carried out in Ponta Grossa, PR, at School Farm “Capão da Onça” of the State University of Ponta Grossa. The experimental design used was a randomized block design with five replications for soybean and in a split plot scheme, with five replications for wheat. For the soybean crop, four doses of BS were used (0, 2, 4, and 6 L ha<sup>-1</sup>). For the wheat crop, the main plots were divided into two subplots, without and with the reapplication of BS in the same doses used for soybean crop. Increasing the BS doses in the soybean crop increased the root dry mass, and the total aboveground dry mass at 30 days after sowing, the number of nodes and the grain yield. It also did not negatively affect the nodulation of soybean plants. For the wheat crop, increasing the BS doses increased the total fresh mass, the N, P, K, Ca, Mg, and S uptake, the grain hectoliter weight (HW) and did not significantly influence grain yield. The reapplication of BS for the wheat in succession to soybean did not improve the performance of wheat, showing that an application would be enough for the successor crop in the annual cycle.

**Keywords:** *Glycine max L.* *Triticum aestivum L.*, microbiota activator, biostimulants. bioproducts. microbial metabolites.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração dos biorreatores utilizados no processo de fabricação do bioestimulante nos EUA.....	24
Figura 2: Espectrografia de massa do bioestimulante de solo utilizado nos experimentos. ....	25
Figura 3: Aspecto do produto bioestimulante. ....	25
Figura 4: Localização da área do experimento. Ponta Grossa (PR) 2019..	26
Figura 5: Sucessão de culturas utilizada no experimento no período de 2018-2019. Ponta Grossa (PR). ....	28
Figura 6: Aplicação dos tratamentos com pulverizador pressurizado com CO <sub>2</sub> . Ponta Grossa (PR). 2018. ....	28
Figura 7: Semeadura da soja em 2018 na área experimental. Ponta Grossa (PR).....	29
Figura 8: Semeadura do trigo em 2019 na área experimental. Ponta Grossa (PR). ....	30
Figura 9: Precipitação pluvial da região de Ponta Grossa (PR) (média dos 30 últimos anos) e precipitação pluvial e temperatura máxima e mínima mensal ocorridas durante o período de condução do experimento.....	31
Figura 10: Colheita mecanizada da soja em 2019 na área experimental. Ponta Grossa (PR). ....	32
Figura 11: Desenvolvimento de plantas no tratamento controle (à esquerda) e com a aplicação de 4 L ha <sup>-1</sup> do bioestimulante via solo (à direita). Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).....	35
Figura 12: Rendimento de grãos de soja em função de doses de bioestimulante via solo, aplicadas em pré-semeadura. Ponta Grossa (PR). Safra 2018-2019. * = significativo a P < 0,05.....	37
Figura 13: Extração de N (a), P (b), K (c), S (d), Ca (e) e Mg (f) pela cultura do trigo em função de doses de bioestimulante via solo. * = significativo a P < 0,05 e ** = significativo a P < 0,01. Safra 2019, Ponta Grossa (PR). ....	40
Figura 14: Extração de N (a), P (b), K (c), S (d), Ca (e) e Mg (f) pela cultura do trigo em função da reaplicação de bioestimulante via solo. ns = não significativo * = significativo a P < 0,05 e ** = significativo a P < 0,01. Safra 2019, Ponta Grossa (PR). ....	41
Figura 15: Peso do hectolitro (PH) dos grãos de trigo em função da aplicação de doses (a) e da reaplicação (b) do bioestimulante via solo. ns = não significativo * = significativo a P < 0,05 e ** = significativo a P < 0,01. Safra 2019, Ponta Grossa (PR).....	42

Figura 16: Rendimento de grãos de trigo em função de doses de bioestimulante via solo na pré-semeadura da soja (a) e da reaplicação na dessecação em pré-semeadura da cultura do trigo (b). ns = não significativo \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ .  
Safrá 2019, Ponta Grossa (PR).....42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Caracterização química inicial do solo antes da instalação do experimento. Profundidade 0-20cm. Ponta Grossa (PR).....	26
Tabela 2:	Caracterização granulométrica e classificação textural do solo antes da instalação do experimento. Profundidade 0-20cm. Ponta Grossa (PR).....	27
Tabela 3:	Extração de nutrientes pela cultura da soja em função das doses de bioestimulante via solo em estágio R1 da cultura da soja. Safra 2018-2019. Ponta Grossa (PR).....	34
Tabela 4:	Número e massa de nódulos nas raízes de soja aos 30 dias após a semeadura.....	34
Tabela 5:	Massa seca (MS) de raiz, parte aérea e total de plantas de soja, aos 30 dias após a semeadura, em função de doses do bioestimulante via solo. Safra 2018-2019. Ponta Grossa (PR).....	35
Tabela 6:	Massa seca (MS) de caules, folhas e total da parte aérea de plantas no estágio R1 da cultura da soja em função de doses do bioestimulante via solo. Safra 2018-2019. Ponta Grossa (PR).....	36
Tabela 7:	Análises biométricas de número de nós, número de vagens e altura de plantas de soja realizada na pré-colheita da cultura. Safra 2018-2019. Ponta Grossa (PR).....	36
Tabela 8:	Valores de massa fresca (MF) total e massa seca (MS) total da cultura do trigo em estágio de florescimento em função de dose de bioestimulante via solo e sua reaplicação na dessecação em pré- semeadura do trigo. Safra 2019, Ponta Grossa (PR).....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES.....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
4.1	SOJA.....	17
4.2	TRIGO .....	17
4.3	USO DE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA.....	17
4.4	USO DE MICRORGANISMOS NA AGRICULTURA MODERNA.....	19
4.5	BIOESTIMULANTES AGRÍCOLAS .....	23
4.5.1	Definindo bioestimulantes.....	21
<b>5</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
5.1	DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BIOESTIMULANTE DE SOLO .....	25
5.2	LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	26
5.3	AVALIAÇÕES.....	32
5.3.1	Massa fresca, massa seca e extração de nutrientes pelas culturas de soja e trigo.....	31
5.3.2	Produtividade de grãos.....	32
5.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	34
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
6.1	CULTURA DA SOJA.....	34
6.2	CULTURA DO TRIGO.....	38
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Sul do Brasil, destacam-se os cultivos de soja e trigo. A soja é uma das principais *commodities* do Brasil, sendo utilizada na alimentação humana, animal e na produção de energia, como o biodiesel. Seu cultivo é realizado em quase todo território nacional, obtendo destaque para a safra 2019/2020, atingindo o recorde de aproximadamente 125 milhões de toneladas do grão (CONAB, 2020).

O trigo é o segundo cereal mais produzido no mundo, com enorme importância na economia global, sendo responsável por cerca de 3% da produção total de grãos do país. O Estado do Paraná é o maior produtor nacional de trigo (60,7%), com uma produção superando 3,4 milhões de toneladas em 2015 (CONAB, 2017) e 5,5 milhões de toneladas em 2019 (CONAB, 2019), o que demonstra o seu potencial de crescimento.

Para manter ou incrementar a produção destas culturas sem a ampliação da área cultivada, a utilização de insumos como os fertilizantes desponta como uma necessidade (ANDA, 2017).

Os benefícios da adição de nutrientes minerais ao solo para melhoria do desenvolvimento das plantas são conhecidos e utilizados pelos agricultores há muitos anos. Por intermédio da adubação de base e de cobertura são fornecidas altas quantidades de nutrientes ao solo, o que representa grande parte dos investimentos do produtor (MARSCHNER., 2009).

Quando os fertilizantes são aplicados no solo, eles interagem com as frações sólidas do solo, muitas vezes complexando o fósforo (P) para formas menos solúveis, tanto inorgânicas (com óxidos de Fe e Al), como orgânicas. As frações de P orgânicas estão na forma de compostos orgânicos fosforados em distintos estágios de estabilidade/decomposição e podem corresponder até 70% do conteúdo total de fósforo do solo, como reportado por Novais & Smith (1999), e Sá (2004) em experimento sob sistema de plantio direto (SPD) no sul do Brasil. Já em solos mais intemperizados, como os do Cerrado, o P associado a compostos orgânicos representa de 25% a 35% do P total (OLIVEIRA et al., 2002).

A disponibilidade do P está relacionada às transformações químicas, físicas e biológicas que ocorrem no solo, sendo que a sua adição no sistema provém de nutrientes aportados via fertilizantes que, ao serem absorvidos pelas plantas e microrganismos, retornam para o solo após a decomposição da matéria orgânica. A mineralização e a imobilização do P realizada pela atividade microbiana são fundamentais no ciclo geral do P na natureza (CORREIA, 1980; PAUL; CLARCK, 1988; CARDOSO, 1992).

A agricultura moderna e sustentável preconiza o uso de microrganismos capazes de estabelecer simbioses com plantas e suprirem, pelo menos em parte, as exigências nutricionais das plantas. Os microrganismos capazes de melhorar a disponibilidade de P às plantas tornam-se aliados nesse processo, uma vez que a disponibilidade de P está relacionada com processos de mineralização, geralmente atrelado a processos enzimáticos, como a atuação de fosfatases e fitases, e da solubilização de fosfatos por ácidos orgânicos (ZHU et al., 2018). Diversos autores relatam que o uso desses microrganismos e/ou de seus metabólitos, além de diminuir significativamente a necessidade de fertilizantes fosfatados, pode disponibilizar fontes de P menos solúveis, como os fosfatos naturais reativos que apresentam maior viabilidade econômica (DODD; HARPLEY, 2015; TURNER et al., 2013).

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de compreender melhor a influência da aplicação e reaplicação de bioestimulante via solo na pré-semeadura das culturas de soja e trigo, em safras sucessivas, e seus efeitos na nutrição e no rendimento de grãos.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar as alterações na nutrição das plantas e no rendimento de grãos de soja e trigo com a utilização do bioestimulante aplicado via solo.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Avaliar a extração de nutrientes pelas plantas com a aplicação do bioestimulante aplicado via solo;
- II. Avaliar se a reaplicação do bioestimulante via solo na cultura sucessora potencializa seus efeitos na nutrição das plantas e no rendimento de grãos.

### **3 HIPÓTESES**

- O bioestimulante melhora o estado nutricional das plantas de soja e trigo.
- O bioestimulante proporciona melhora no desenvolvimento de plantas e no rendimento de grãos das culturas de soja e trigo.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é um dos cereais cultivados mais importantes do mundo devido a seu potencial produtivo, sua composição química e seu valor nutritivo, conferindo-lhe multiplicidade de aplicações na alimentação humana e animal (HIRAKURI et al., 2017). Segundo levantamento realizado pela CONAB (2020), o Brasil se tornou, na safra 2019/2020, o maior produtor de soja do mundo, com produção aproximada em 125 milhões de toneladas, superando os Estados Unidos da América (EUA), com produção de 96,676 milhões de toneladas (USDA, 2020). No cenário da produção mundial, vale destacar que nesta última safra o Brasil alcançou produtividade média superior ( $3379 \text{ kg ha}^{-1}$ ) à dos EUA ( $3187 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

No Brasil, o Estado do Mato Grosso é o maior produtor dessa leguminosa, com área plantada de 10,004 milhões de hectares, produtividade média de  $3587 \text{ kg ha}^{-1}$  e produção total de 35,885 milhões de toneladas. Já, o Estado do Paraná segue na segunda posição, tendo 5,503 milhões de hectares de área cultivada com soja, produtividade média de  $3.925 \text{ kg ha}^{-1}$  e produção total de 21,598 milhões de toneladas (CONAB, 2020).

Nas últimas três décadas, a soja foi a cultura agrícola que mais cresceu no Brasil, alcançando 49% da área cultivada com grãos e uma produção da ordem de 114 milhões de toneladas, gerando, de forma direta, receita superior a 120 bilhões de reais (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2014).

### 4.2 TRIGO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é o segundo cereal mais produzido no mundo, com enorme importância na alimentação e economia global, sendo responsável por 2,6% da produção total de grãos do Brasil na safra 2015/2016. O Estado do Paraná é o maior produtor nacional de trigo (60,7%), com uma produção superando 3,4 milhões de toneladas na safra de inverno de 2015 (CONAB, 2017) e 5,5 milhões na safra de inverno de 2019 (CONAB, 2019). O trigo se destaca por ser uma cultura com possibilidade obtenção de retorno econômico durante o inverno e com crescimento de produção.

Os cultivares modernos de trigo apresentam alto potencial de rendimento de grãos, atingindo produtividades da ordem de 6 a  $7 \text{ t ha}^{-1}$  no Sul do Brasil, e superando até  $8 \text{ t ha}^{-1}$  no

Brasil Central sob condições de cultivo irrigado (CUNHA; PIRES, 2005). No entanto, para a obtenção de altas produtividades, o manejo dos cultivares deve ser planejado e executado de forma precisa e racional. As técnicas de manejo integram a adoção de semeadura, espaçamento e densidade de sementes adequadas, melhoria no nível de fertilidade do solo por meio de adubações adequadas e equilibradas, controle de plantas daninhas, pragas e doenças (PENCKOWSKI; BORSATO, 2016).

#### 4.3 USO DE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA

A produção agrícola brasileira tem contribuído significativamente com o produto interno bruto (PIB) nacional e esse cenário certamente se repetirá nas próximas décadas. O uso de cultivares mais produtivos – uma das variáveis necessárias para manter a sustentabilidade da produção – impõe diferentes exigências nutricionais que devem ser supridas pelo uso adequado de corretivos e fertilizantes. Como consequência dessa necessidade, o consumo interno de fertilizantes tem aumentado a taxas bem superiores à sua oferta, tornando necessária uma importação cada vez maior, o que evidencia o lado vulnerável da agricultura brasileira (ANDA, 2009).

De acordo com a ANDA (2018), o Brasil é altamente dependente da importação de fertilizantes (70%) do total utilizado no país. Entre eles, destacam-se os potássicos (90%) e fosfatados (50%), o que o torna o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, com 7% de participação mundial do total utilizado, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos.

Além disso, ocupa a quarta posição no consumo de Nitrogênio, terceira para Fósforo e segunda no consumo de Potássio. Contudo, o país não figura entre os principais produtores, batendo em 2018 recorde de importação (31 milhões de toneladas), 3,2% a mais comparado que no ano anterior (2017).

Em nível mundial, estima-se que mais de 48% dos atuais 7 bilhões de habitantes estão vivendo por causa do aumento da produção de alimentos por intermédio do uso dos fertilizantes nitrogenados, por exemplo. A extensão pela qual a produção de alimentos dependerá do uso de fertilizantes irá, inevitavelmente, aumentar no futuro. Sem fertilizantes, a produção mundial teria capacidade de atender apenas cerca da metade dos alimentos básicos e, com isso, seria necessária maior conversão de áreas sob florestas para a produção de culturas alimentícias (REETZ, 2017).

A adição de nutrientes ao solo para melhoria do desenvolvimento das plantas é conhecida e adotada pelos agricultores há muito tempo. Através da adubação de base, aquela que é realizada na linha da semeadura, e da adubação de cobertura, a qual é realizada em pós-emergência das culturas, é possível o fornecimento de altas quantidades de nutrientes ao solo, o que representa grande parte dos investimentos do produtor. Contudo, uma vez no solo, parte dos nutrientes pode não ser aproveitada pelas plantas, pois estes podem ser perdidos para o ambiente e/ou permanecerem em formas indisponíveis para absorção pelas raízes. Um exemplo é o P que pode estar adsorvido no solo por interações com cálcio (Ca), ferro (Fe) e alumínio (Al), sendo a ligação com Al muito difícil de ser desfeita e predomina-se em solos altamente intemperizados, como os Latossolos (BARROW, 1983). A proporção dos nutrientes presentes no solo que pode ser absorvida varia em função do nutriente, de fatores ambientais e de características da planta e do solo (MARSCHNER, 2012).

O aumento das produtividades das áreas atualmente em produção não se dá, necessariamente, pelo uso de maior quantidade de fertilizantes, mas pela maior eficiência na sua utilização. Isso envolve conhecimento e tecnologias que possam ser aliadas na otimização dos insumos aplicados no solo (REETZ., 2017). Uma alternativa para que os produtores possam aumentar a disponibilidade e otimizar o uso dos nutrientes é promover maior atividade do solo por intermédio da ativação química e biológica do solo (ZHU et. al., 2018).

Diante disso, é senso comum que o aumento da eficiência no uso de fertilizantes é o caminho a ser seguido para se ter sucesso frente aos desafios da agricultura moderna no que tange ao uso de fertilizantes para a nutrição das plantas. A utilização de bioestimulantes à base de microrganismos, sejam eles vivos ou a partir de seus metabólitos, surgem como alternativa para melhorar o aproveitamento do uso de fertilizantes, podendo tornar os cultivos mais rentáveis e produtivos. Nas últimas décadas, a pesquisa e o desenvolvimento dessa classe de inoculantes vêm crescendo muito, com o setor público e privado investindo em trabalhos para buscar solucionar ou amenizar problemas da agricultura moderna, como a eficiência da utilização de fertilizantes.

#### 4.4 USO DE MICRORGANISMOS NA AGRICULTURA MODERNA

As comunidades de microrganismos presentes no solo podem alterar diretamente características físico-químicas e biológicas do ambiente, pois participam da transformação do nitrogênio (N), P e enxofre (S) dentre outros elementos, e podem formar associações

mutualísticas com plantas; todas essas ações podem resultar em melhor desenvolvimento e crescimento das plantas (SYLVIA et al., 2005).

Os microrganismos do solo geralmente são encontrados em maior abundância próximos às raízes das plantas (rizosfera), onde há grande conteúdo de compostos orgânicos disponíveis exsudados pelas raízes das plantas. A qualidade desses compostos pode promover diferentes recrutamentos de microrganismos presentes no solo, pois cada planta tem a capacidade de exsudar diferentes compostos (WOLFE; KLIRONOMOS, 2005).

De acordo com Klironomos (2002), a microbiota recrutada irá interagir intensivamente com as plantas e pode ter interferência positiva, neutra ou negativa no seu crescimento e, assim, potencialmente determinar a composição das comunidades vegetais.

Exemplos de microrganismos encontrados no solo e com papel importante como bioestimulantes são aqueles classificados como solubilizadores de fosfato, os quais estão naturalmente presentes em solos, podendo ou não estar associados com raízes de plantas (RODRÍGUEZ; FRAGA, 1999; GYANESHWAR et al., 2002). Estes microrganismos têm capacidade de solubilizar alguns tipos de P adsorvido pelos minerais do solo, por meio de vários mecanismos, e têm grande potencial para promover o crescimento das plantas (GYANESHWAR et al., 2002).

Diferentes gêneros de bactérias têm sido identificados como solubilizadores de P, os quais incluem *Pseudomonas* spp. (MALBOOBI et al., 2009; PARK et al., 2009), *Bacillus* spp. (ARKHIPOVA et al., 2005; DE FREITAS et al., 1997; SAHIN et al., 2004; ZAIDI, et al. 2006), *Burkholderia* spp. (TAO et al., 2008), *Streptomyces* spp. (ZHANG et al., 2014), *Achromobacter* spp. (MA et al., 2009), *Micrococcus* spp. (DASTAGER et al., 2010), *Flavobacterium* spp. (KANNAPIRAN; RAMKUMA, 2011), *Erwinia* spp. e *Azospirillum* spp. (RODRÍGUEZ et al., 2001).

Goldstein (1995) reportou que a produção de ácidos orgânicos e o aumento na atividade de enzimas como as fosfatases são dois mecanismos pelos quais os microrganismos solubilizam P.

Kpoblekou e Tabatabai (1994) relataram que os ácidos orgânicos transformam formas insolúveis em formas solúveis de P através de seus grupos hidroxilo e carboxilo. Esses grupos têm a capacidade de quelar cátions ligados ao fosfato, convertendo-o em formas solúveis.

Diferentes tipos de ácidos orgânicos estão sendo citados e seu tipo é dependente da espécie de microrganismo. Como exemplo, Rodríguez et al. (2004) reportaram que foram encontradas misturas de ácidos láctico, isovalérico, isobutírico e acético produzidos por espécies

de *Bacillus licheniformis* e *Bacillus amyloquefaciens*. Por outro lado, o ácido glucônico parece ser o ácido orgânico mais frequente produzido por bactérias do gênero *Azospirillum* spp.

Alguns estudos mostraram que a aplicação deste grupo de microrganismos na rizosfera de várias espécies de plantas levou ao aumento na absorção de P, além de maior crescimento e desenvolvimento das plantas (PEIX et al., 2001).

Uma larga variedade de bioestimulantes microbianos tem sido reportada para melhorar a absorção de outros macro e micro nutrientes, além do P. Kohler et al. (2009) reportaram que a inoculação com dois diferentes microrganismos, *Pseudomonas mendocina* e AMF (fungo micorrízico abascular) da espécie *Glomus intraradices*, incrementou significativamente a absorção de Fe, Ca, e manganês (Mn) em alface (*Lactuca sativa*). Han e Lee (2005) verificaram que a aplicação de *Bacillus muciliginosus* e *Bacillus megaterium* com rochas potássicas resultou em incremento significativo na disponibilidade de potássio (K) no solo, bem como no aumento da absorção deste nutriente por raízes e parte aérea de berinjelas. Essa melhoria na absorção de K foi citada por Sheng e He (2006) como sendo ocasionada pela produção de ácidos orgânicos, como o cítrico, oxálico, tartárico, succínico e  $\alpha$ -cetoglucônica.

As bactérias promotoras do crescimento de plantas são capazes de melhorar o desempenho das plantas por meio de uma variedade de mecanismos (SAHARAN; NEHRA, 2011). Estudos mostraram que a inoculação de plantas com tais bactérias pode aumentar o conteúdo de nutrientes nas plantas (ORHAN, 2006) e a resistência à patógenos (MAKSIMOV et al., 2011).

Algumas bactérias promotoras do crescimento de plantas são capazes produzir fitohormônios, aumentar a população de outros microrganismos benéficos e controlar a população de organismos nocivos na rizosfera (SAARA; NEHRA, 2011). Assim, plantas capazes de recrutar populações desses microrganismos em suas rizosferas apresentam maior sobrevivência, crescimento, reprodução (GHOLAMI et al., 2009) e, conseqüentemente, maior capacidade competitiva.

Nesse sentido, diversos trabalhos com bioestimulantes vêm sendo reportados na literatura. Em estudo recente, Ortiz et al. (2019) verificaram aumento de fosfolipídios derivados de ácidos graxos bacterianos e fúngicos em solos tratados com um bioestimulante de solo produzido a partir da fermentação e hidrólise de Okara (subproduto da fabricação do leite).

Os microrganismos apresentam, portanto, importantes características que conferem proteção às plantas, seja pela sua presença nas plantas hospedeiras ou pela aplicação como

agentes de biocontrole, as quais podem resultar na eliminação de pragas agrícolas (SOUZA, 2001).

O interesse pelo emprego de microrganismos em práticas agrícolas aumentou significativamente nos últimos anos. Os produtos microbiológicos se constituem em potenciais substitutos de produtos químicos, tanto na promoção de crescimento vegetal como no controle biológico de pragas e doenças de plantas, entre outras aplicações, podendo favorecer a preservação do ambiente (PEIXOTO NETO, et. al., 2002). Por isso, tem ocorrido um crescente interesse no estudo da ocorrência, do potencial de colonização e da utilização de bactérias para a promoção de crescimento e controle biológico de doenças de plantas (MARIANO et al., 2004).

Paiva (2019) destaca que no Brasil, o uso de bioestimulantes para suprimir a demanda de P pelas plantas é ainda incipiente. Países como Argentina, Canadá, África do Sul, Índia, Austrália, Filipinas e EUA vêm investindo na linha de bioestimulantes, visando reduzir o uso indiscriminado de adubos fosfatados. Recentemente a EMBRAPA, em parceria com a iniciativa privada, desenvolveu um inoculante a partir de duas cepas das bactérias *Bacillus subtilis* (B2084) e *Bacillus megaterium* (B119), dando origem ao produto BiomaPhos®. Esse produto tem o objetivo de aumentar a eficiência de uso do P por microrganismos para as plantas, o que pode resultar em uma maior eficiência do uso de fertilizantes e, conseqüentemente, menos dispêndio de energia na produção e no transporte. Além disso, a utilização desse produto pode aumentar a produtividade das culturas, diminuindo a pressão sobre novas áreas, e aumentar a sustentabilidade dos atuais sistemas de produção. A implantação desta nova tecnologia representa uma contribuição para atingir a meta ODS 12, que visa garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas adversas e extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (EMBRAPA, 2019).



## 4.5 BIOESTIMULANTES AGRÍCOLAS

Os bioestimulantes agrícolas são aditivos de fertilizantes de origem biológica ou biologicamente derivados que podem ser usados na produção agrícola para aumentar o crescimento, a saúde e a produtividade de plantas (EBIC, 2011). Eles podem conseguir isso, auxiliando na melhoria da eficiência do uso de nutrientes; ajudando as plantas a tolerar estresses abióticos, como: calor, frio, seca e excesso de água; melhorando os atributos de qualidade, como conteúdo nutricional, aparência e período de prateleira.

O termo “bioestimulantes agrícolas” abrange um grupo diverso de tecnologias de produto e pode incluir inoculantes bacterianos ou microbianos, materiais bioquímicos, aminoácidos, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, extratos de algas marinhas e muito mais. Eles podem ser usados para complementar e melhorar as práticas agrícolas e insumos agrícolas existente (EBIC, 2011).

### 4.5.1 Definindo bioestimulantes

Embora a categoria de bioestimulantes esteja crescendo rapidamente, até o momento não há uma definição legal acordada para bioestimulantes. Nos Estados Unidos, por exemplo, a *Biostimulant Coalition*, está na vanguarda do trabalho para tratar questões regulatórias e legislativas envolvendo aditivos biológicos ou derivados naturais para uso em plantações. A coalisão de Bioestimulantes, em consulta com a Associação Americana de Oficiais de Controle de Alimentos de Plantas (AAPFCO), concordou que o termo definido “substâncias benéficas” pode ser um “guarda-chuva” útil sob o qual muitos bioestimulantes podem buscar suas próprias definições. As substâncias benéficas são consideradas pela AAPFCO como: “Qualquer substância ou composto diferente de nutrientes primários, secundários e microplantas que podem ser demonstrados por pesquisas científicas como sendo benéficos para uma ou mais espécies de plantas, quando aplicados exogenamente à planta ou solo.” (BEAUDREAU, 2013). Beaudreau (2013) também descreve o termo bioestimulante como sendo um material que, quando aplicado na planta, semente, solo ou meio de cultivo, de acordo com o plano de fertilização, proporciona o aumento da eficiência no uso de nutrientes, ou proporciona direto ou indireto benefícios para o desenvolvimento da planta ou resposta a estresses.

Até a data, a Europa avançou mais no desenvolvimento de uma definição de consenso, bem como um quadro regulamentar e legislativo para bioestimulantes. O *European*

*Biostimulants Industry Council* (EBIC) define os bioestimulantes do seguinte modo: “Os bioestimulantes vegetais contêm substância (s) e/ou microrganismos cuja função quando aplicados às plantas ou à rizosfera é estimular processos naturais para aumentar/beneficiar a absorção de nutrientes, tolerância ao estresse abiótico e qualidade da colheita.”

De acordo com o EBIC, os bioestimulantes se distinguem dos insumos agrícolas tradicionais de duas maneiras e, portanto, são complementares à nutrição e proteção das culturas: Os bioestimulantes operam por meio de mecanismos diferentes dos fertilizantes, independentemente da presença de nutrientes nos produtos. Eles diferem dos defensivos agrícolas porque atuam apenas no vigor da planta e não têm nenhuma ação direta contra pragas ou doenças (EBIC, 2011).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO BIOESTIMULANTE DE SOLO

O bioestimulante (BS) utilizado na pesquisa é produzido pela Agricen Company com suas fábricas sediadas nos EUA (estado do Texas) e na Austrália (estado de Victoria), e tem projeção de ser produzido no Brasil.

O produto possui os selos “*Registered Organic Input Material*” da CDFA e “*Registered Material For Use In Organic Agriculture*” do Departamento de Agricultura do Estado de Washington. No Brasil, o produto está registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como fertilizante organomineral classe A.

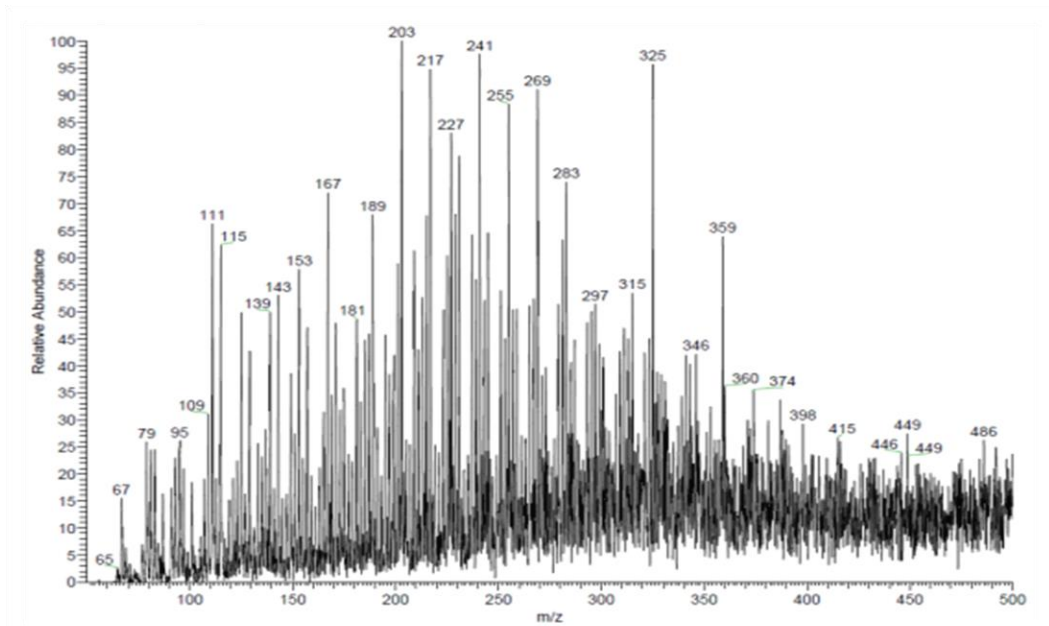
O produto possui em sua composição metabólitos microbianos produzidos a partir de um processo fermentativo anaeróbico em biorreatores (Figura 1), utilizando comunidades de microrganismos altamente diversificadas e protegidas em biofilmes com resíduos orgânicos (*Farm Waste*). O produto é biologicamente estável e contém mais de 500 componentes bioquímicos ativos, conforme representada pela espectrometria de massa (Figura 2).

É um produto fluido, com densidade de  $1,05 \text{ g cm}^{-3}$  (Figura 3). As principais matérias-primas constituintes do produto são nitrato de amônio, substâncias húmicas, agente acidificante e água. As garantias mínimas são de 1% de N e 6% de carbono orgânico total (p/p). A sua aplicação é recomendada em pré-semeadura ou no início do desenvolvimento das culturas, nas doses de 2 a 4 L ha<sup>-1</sup>, podendo ser misturado com herbicidas.

**FIGURA 1** - Ilustração dos biorreatores utilizados no processo de fabricação do bioestimulante nos EUA.



**FIGURA 2** - Espectrografia de massa do bioestimulante utilizado nos experimentos



Fonte: Departamento Técnico Nutrien Ag Solutions.

**FIGURA 3** - Aspecto do produto bioestimulante.



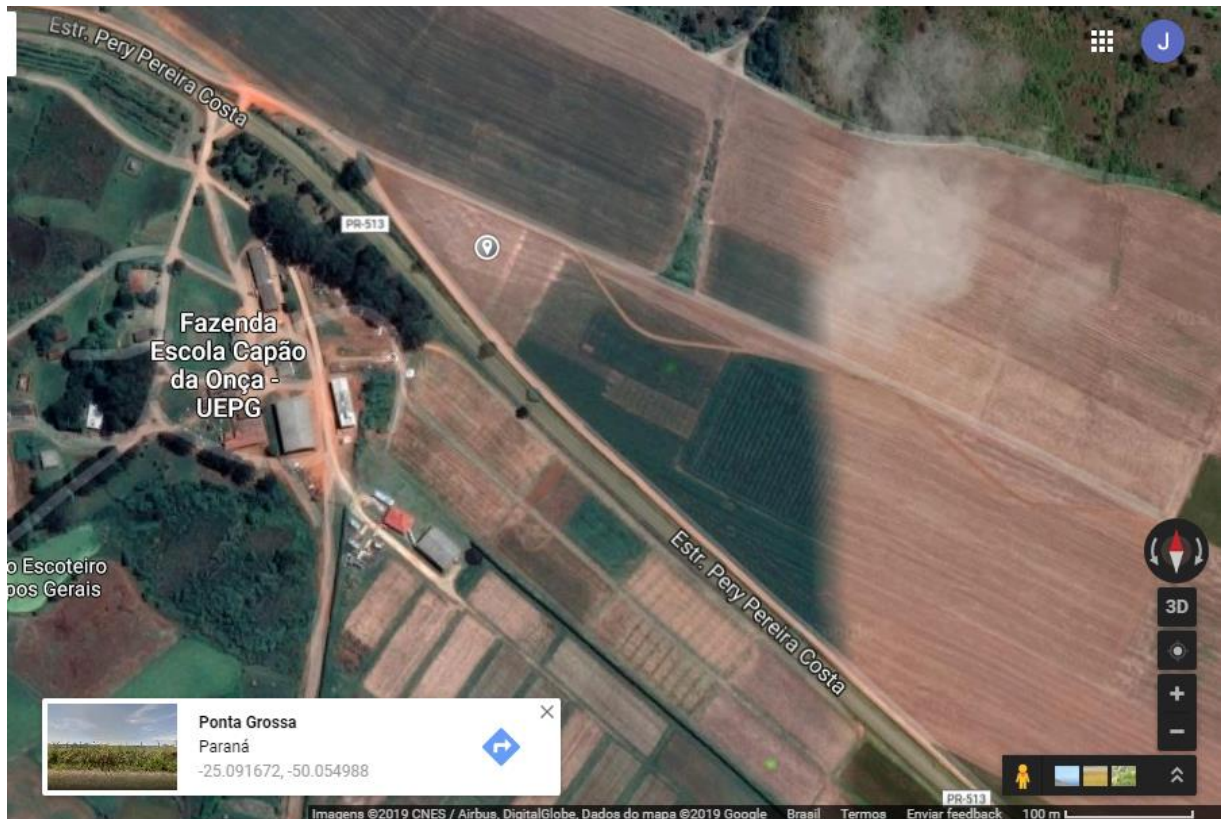
Fonte: Departamento Técnico Nutrien Ag Solutions.

## 5.2 LOCALIZAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O experimento foi realizado na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), localizada no município de Ponta Grossa – PR (Figura 4). As coordenadas geográficas do local do estudo são -25.091 de latitude Sul e -50.055 de longitude Oeste, apresentando altitude média de 956 m em relação ao nível do mar.

Segundo a classificação de Köppen e Geiger, a região possui clima do tipo Cfb, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18 °C, verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22 °C e sem estação seca definida (IAPAR, 2016). A precipitação pluvial média anual varia de 1600 a 1800 mm, sendo o mês de agosto o mais seco e o de fevereiro o mais chuvoso (IAPAR, 2016).

**FIGURA 4** - Localização da área do experimento. Ponta Grossa (PR) 2019. Fonte: Google Earth.



Antes da instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade para caracterização química (Tabela 1) e física (Tabela 2) inicial do solo (TEDESCO et al., 1995). Depois de realizadas as análises de solo, foram definidas as doses de fertilizantes que compuseram os tratamentos de adubação.

**Tabela 1** - Caracterização química inicial do solo antes da instalação do experimento. Profundidade 0-20cm. Ponta Grossa (PR).

pH	M.O.	P (Mehlich 1)	K	Ca	Mg	H+Al	H	SB	CTC	Saturação por bases
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>3</sup>	----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%
5,03	33	7,21	0,26	4,08	0,94	4,82	4,82	5,28	10,1	52

**Tabela 2** - Caracterização granulométrica e classificação textural do solo antes da instalação do experimento. Profundidade 0-20cm. Ponta Grossa (PR).

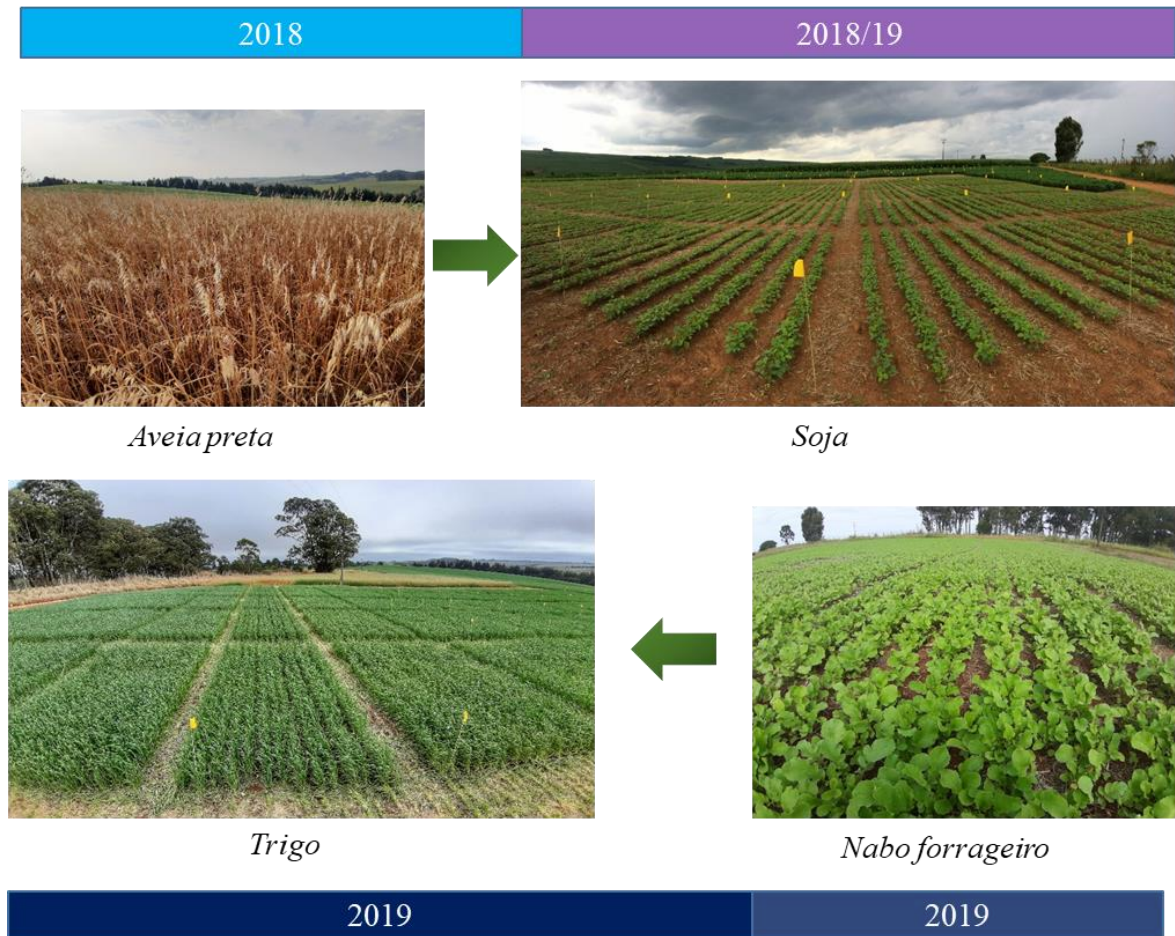
Areia	Silte	Argila	Classe de Textura
	g kg <sup>-1</sup>		
600	15	250	<b>Franco argilo-arenosa</b>

O experimento foi conduzido em campo, perfazendo um total de 20 unidades experimentais para a cultura da soja e 40 unidades experimentais para a cultura do trigo. Cada unidade experimental teve as seguintes dimensões: 6 m de comprimento por 3 m de largura. O espaçamento entre as linhas foi de 0,45 m para soja e de 0,17 m para aveia-preta, nabo-forrageiro e trigo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições para a cultura da soja, e em esquema de parcelas subdivididas, com oito tratamentos e cinco repetições para a cultura do trigo. Para a cultura da soja, foram empregadas quatro doses de BS (0, 2, 4 e 6 L ha<sup>-1</sup>). Para a cultura do trigo, as parcelas foram divididas em duas subparcelas, sem e com a reaplicação do BS nas mesmas doses (0, 2, 4 e 6 L ha<sup>-1</sup>). O BS foi aplicado em pré-semeadura da cultura da soja e sua reaplicação se deu na pré-semeadura da cultura do trigo, no mesmo ano agrícola. A sucessão de culturas seguiu a ordem: aveia-preta, soja, nabo-forrageiro e trigo (Figura 6). O BS foi aplicado com o auxílio de pulverizador pressurizado com CO<sub>2</sub> da marca Herbicat, contendo barra de aplicação de 3 m de largura, pontas de pulverização espaçadas em 0,5 m equipadas com o modelo Teejet XR 11015 e regulagem para atender a vazão de 150 L ha<sup>-1</sup> (Figura 6). As doses do BS foram adicionadas em garrafa PET de 2 L, junto à calda contendo água, na proporção a atender a vazão de 150 L ha<sup>-1</sup>.



**FIGURA 5** - Sucessão de culturas utilizada no experimento no período de 2018-2019. Ponta Grossa (PR).



**FIGURA 6** - Aplicação dos tratamentos com pulverizador pressurizado com CO<sub>2</sub>. Ponta Grossa (PR). 2018.



A semeadura da soja foi realizada no dia 21 de dezembro de 2018 com semeadora mecanizada, na densidade média de 15 sementes por metro e espaçamento de 0,45 m entre as linhas (Figura 7). Minutos antes da semeadura, as sementes foram inoculadas com estirpes selecionadas de *Bradyrhizobium japonicum*, SEMIA 5079 e SEMIA 5080, seguindo a recomendação descrita na bula, de 50mL para 50 kg de sementes. Todos os tratamentos

receberam adubação de base com 270 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 00-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Não foi realizada adubação em cobertura. Utilizou-se o cultivar Nidera 5909, material bastante representativo nos cultivos de soja. Esse cultivar apresenta hábito de crescimento indeterminado, sendo o grupo de maturação 6.4. Destaca-se pela estabilidade em diferentes ambientes, aliando precocidade com altos tetos produtivos. Com relação às doenças, apresenta resistência ao cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis*), à mancha olho de rã (*Cercospora sojina*) e à pústula bacteriana (*Xanthomonas axonopodis pv. Glycines*). É susceptível à ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrzi*) e ao oídio (*Microsphaera diffusa*) (NIDERA, 2019).

**FIGURA 7** - Semeadura da soja em 2018 na área experimental. Ponta Grossa (PR).



A semeadura da cobertura-verde com nabo-forrageiro foi feita logo após a colheita da soja, na “janela” anterior à semeadura de trigo (primeira quinzena de junho de 2019). Cerca de 15 dias antes da semeadura do trigo, o nabo-forrageiro foi dessecado com glifosato (480 g L<sup>-1</sup>), na dose 2,0 L ha<sup>-1</sup> de produto comercial.

O trigo foi semeado no dia 15 de julho de 2019, com semeadora da marca Metasa, regulada para uma densidade de 58 sementes por metro no espaçamento de 0,17 m (Figura 9). Todos os tratamentos receberam adubação de base com 270 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 00-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada no estágio de perfilhamento pleno por meio da aplicação de 45 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia. Utilizou-se o cultivar de trigo TBIO Audaz. Esse cultivar apresenta ciclo precoce, espigamento aos 65 dias e maturação de 120 dias. Seu grão é classificado como trigo do tipo melhorador. Apresenta excelente sanidade e ótimo nível de resistência às manchas foliares. Esse cultivar se destaca pelo alto



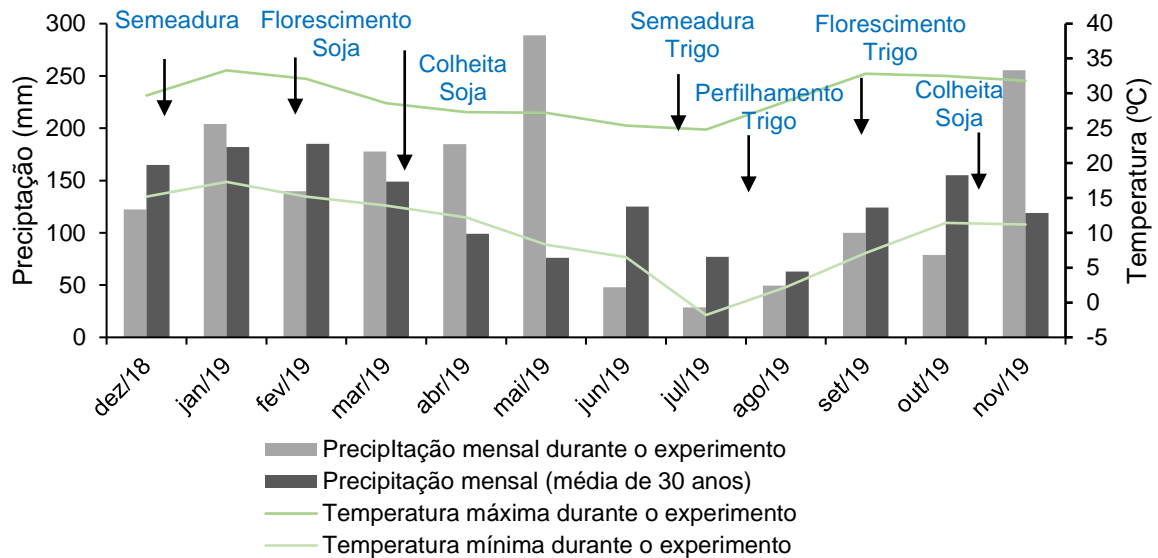
potencial de rendimento de grãos e por possuir grande representatividade na região (BIOTRIGO, 2019).

**FIGURA 8** - Semeadura do trigo em 2019 na área experimental. Ponta Grossa (PR).



Os dados de precipitação pluvial histórica da região de Ponta Grossa (30 anos) e de precipitação pluvial e temperatura ocorridos durante o período de condução do experimento estão apresentados na Figura 9.

**FIGURA 9** - Precipitação pluvial da região de Ponta Grossa (PR) (média dos 30 últimos anos) e precipitação pluvial e temperatura máxima e mínima mensal ocorridas durante o período de condução do experimento. Fonte: Mini Farm BASF S/A e Instituto das Águas do Paraná (2019).



### 5.3 AVALIAÇÕES

Para a cultura da soja foram realizadas as seguintes avaliações biométricas:

- Número e massa de nódulos por planta: Aos 30 dias após a sementeira, coincidindo com o estágio fenológico V<sub>4</sub>, coletou-se 1 m de plantas na mesma linha de sementeira com auxílio de uma pá-cortadeira com a lâmina reta de aproximadamente 295 mm para retirar as raízes evitando ao máximo danos e perdas de nódulos. Em seguida, os nódulos foram retirados, lavados em água corrente, contados e colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60° C até atingir a massa constante para a determinação da massa por meio de pesagem.

- Altura de plantas e contagem de nós e vagens: No momento da colheita, coletaram-se 10 plantas em sequência na mesma linha de sementeira e realizou-se a medida da altura por meio de régua graduada e a contagem de nós e vagens por planta.

#### 5.3.1 Massa fresca, massa seca e extração de nutrientes pelas culturas de soja e trigo

Para avaliar a massa fresca, massa seca e a extração de nutrientes, coletou-se 1 m de plantas de soja e trigo em cada parcela e subparcela, respectivamente, ambas no início do

florescimento. Separou-se as folhas das hastes ou caule. Apenas para a cultura do trigo, imediatamente após a coleta, realizou-se a avaliação de massa fresca de parte aérea. Em seguida, as amostras de soja e trigo foram lavadas em água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até atingir massa constante. Após a secagem, as amostras de folhas e hastes ou caules foram pesadas para determinação da produção de matéria seca, e moídas separadamente. Foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg e S nas folhas e parte aérea seguindo os métodos descritos por Malavolta et al. (1997).

A extração de nutrientes pelas plantas de soja e trigo foi calculada por intermédio do produto entre a produção de matéria seca da planta inteira e o teor de nutrientes na planta inteira.

### 5.3.2 Produtividade de grãos

A produtividade de grãos de soja e trigo foi avaliada com o auxílio de colhedora de parcelas (Figura 10), corrigindo-se a umidade dos grãos para 130 g kg<sup>-1</sup>.

**FIGURA 10** - Colheita mecanizada da soja em 2019 na área experimental. Ponta Grossa (PR).



#### 5.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram submetidos à análise de variância seguindo o modelo do delineamento em blocos ao acaso para a cultura da soja e o modelo em blocos ao acaso em parcelas subdivididas para a cultura do trigo. Equações de regressão foram ajustadas aos dados obtidos em função das doses de BS. Os ajustes foram realizados por meio dos modelos de regressão linear e quadrático. Adotou-se como critério para a escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de determinação das regressões significativas a 5%. Na cultura do trigo, o efeito da reaplicação foi comparado pelo teste de Tukey a 5%. Na ausência de interação significativa entre as doses de BS e a reaplicação, os efeitos dos tratamentos foram analisados utilizando-se as médias das observações. As análises estatísticas foram realizadas por meio *software* Sisvar (FERREIRA., 2010).

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. CULTURA DA SOJA

As avaliações do efeito do bioestimulante em soja mostraram que a extração de nutrientes pela parte aérea das plantas de soja não foi significativamente alterada com as doses de BS aplicadas (Tabela 3).

**Tabela 3** - Extração de nutrientes pela cultura da soja em função das doses de bioestimulante em estágio R<sub>1</sub> da cultura da soja. Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	N	P	K	Ca	Mg	S
L ha <sup>-1</sup>	----- kg ha <sup>-1</sup> -----					
0	146,7	14,3	104,8	44,5	18,7	9,0
2	148,9	15,3	109,3	48,3	18,3	9,2
4	142,3	15,0	111,2	48,3	19,7	9,9
6	141,1	13,3	101,8	44,4	17,2	10,3
CV (%)	14,7	19,5	16,7	15,54	13,6	14,6
Efeito	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = não significativo.

Embora com indicativos de aumento nos valores absolutos, as doses de BS não interferiram significativamente no número e na massa de nódulos da cultura da soja (Tabela 4).

Destaca-se que a aplicação do BS não prejudicou a nodulação das plantas de soja, independentemente da dose empregada.

**Tabela 4** - Número e massa de nódulos nas raízes de soja aos 30 dias após a semeadura. Safra 2018-2019. Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	Nódulos	
L ha <sup>-1</sup>	nº/planta	mg/planta
0	7,7	320
2	8,7	352
4	9,3	380
6	8,4	284
C.V%	30,2	28,5
Efeito	ns	ns

ns = não significativo.

A tabela 5 contém dados de massa seca de raiz e parte aérea (caules e folhas) e da massa seca total (raiz + parte aérea) coletados aos 30 dias após a semeadura da soja. Os valores de massa seca de raiz e massa seca total foram influenciados significativamente, de acordo com o modelo linear, em função das doses de BS aplicadas. De acordo com as equações de regressão

ajustadas para massa seca de raiz ( $y = + 172,46 + 5,93x$ ,  $R^2 = 0,75$ ) e massa seca total ( $y = 839,41 + 14,955x$ ,  $R^2 = 0,78$ ) houve um incremento aproximado de 6 e 15 kg na massa seca de raiz e na massa seca total, respectivamente, para cada 1 L de BS aplicado. Vessey e Buss (2002) observaram que a aplicação de bioestimulantes à base de microrganismos do gênero *Bacillus sp.* aplicados na semente, na superfície de plantas ou diretamente no solo, resultou no incremento da biomassa do sistema radicular e de parte aérea em plantas de soja. Respostas semelhantes também foram encontradas nas culturas de colza (*Brassica napus*) (BASHAN; DUBROVSKY, 1996; BERTRAND et al., 2001) e batata-inglesa (*Solanum tuberosum ssp. Tuberosum*) (FROMMEL et al., 1991).

**Tabela 5** - Massa seca (MS) de raiz, parte aérea e total de plantas de soja, aos 30 dias após semeadura, em função de doses do bioestimulante. Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	MS de raiz	MS da parte aérea	MS total
L ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>	
0	176,6	665,8	842,5
2	184,2	695,7	851,0
4	184,0	713,8	926,6
6	216,2	710,5	917,0
CV (%)	6,4	8,3	7,0
Efeito	L**	ns	L*

ns = não significativo, \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ .

A figura 11 ilustra o desenvolvimento de plantas de soja nos tratamentos controle e com aplicação de 4 L ha<sup>-1</sup> do BS. Nota-se no tratamento com BS um melhor desenvolvimento das plantas, o que explica os resultados encontrados na produção de massa seca total (Tabela 5).

**FIGURA 11** - Desenvolvimento de plantas no tratamento controle (à esquerda) e com a aplicação de 4 L ha<sup>-1</sup> do bioestimulante (à direita) aos 30 dias após a semeadura. Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).



A formação da parte aérea da cultura desempenha papel importante no rendimento de grãos. Assim, com o passar do tempo, a maior absorção de nutrientes pelas plantas pode promover melhor desenvolvimento das plantas (MALAVOLTA, 1997).

Apesar de se observar certa tendência de aumento na produção de massa seca da parte aérea de plantas de soja no estágio R<sub>1</sub>, principalmente na dose de 4 L ha<sup>-1</sup>, não foi observada influência significativa das doses de BS nessas variáveis analisadas (Tabela 6).

**Tabela 6** - Massa seca (MS) de caules, folhas e total da parte aérea de plantas no estágio R<sub>1</sub> da cultura da soja em função de doses do bioestimulante. Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	MS de caules	MS de folhas	MS total da parte aérea
L ha <sup>-1</sup>	----- kg ha <sup>-1</sup> -----		
0	2168,2	1673,7	3841,9
2	2343,3	1670,2	4013,5
4	2420,7	1753,5	4174,2
6	2386,9	1656,7	4073,6
CV (%)	10,7	12,8	10,8
Efeito	ns	ns	ns

ns = não significativo.

Para os componentes biométricos avaliados em pré-colheita, somente o número de nós por planta foi influenciado significativamente pelas doses de BS, conforme o modelo quadrático (Tabela 7). Segundo a equação de regressão ajustada ( $y = + 12,99 + 0,4770x - 0,0825x^2$ ,  $R^2 = 0,49$ ), um incremento de cerca de 6% no número de nós seria obtido com a aplicação de 2,9 L ha<sup>-1</sup> de BS. O número de vagens por planta e a altura das plantas não foram influenciados significativamente com a aplicação das doses de BS. Os valores médios obtidos foram de 41 vagens por planta e altura de 82 cm.

**Tabela 7** - Análises biométricas de número de nós, número de vagens e altura de plantas de soja realizada na pré-colheita da cultura. Safra 2018-2019, Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	Nós	Vagens	Altura de plantas
L ha <sup>-1</sup>	nº/planta	nº/planta	cm
0	12,8	37,7	84,0
2	14,1	43,5	82,3
4	13,1	40,2	77,6
6	13,0	43,5	83,9
CV (%)	3,81	12,02	4,80
Efeito	Q*	ns	ns

ns = não significativo e \* = significativo a  $P < 0,05$ .

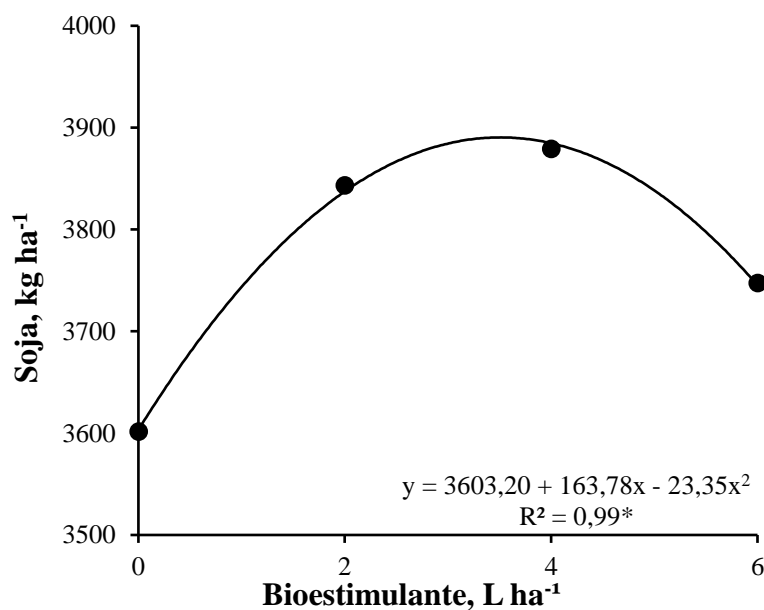


O rendimento de grãos de soja foi incrementado com o aumento das doses de BS, de acordo com o modelo quadrático (Figura 12). Conforme a equação de regressão ajustada, a máxima produtividade de grãos de soja ( $3890 \text{ kg ha}^{-1}$ ) seria alcançada com a aplicação de  $3,5 \text{ L ha}^{-1}$  de BS, ocasionando um aumento de 8% ( $287,2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) no rendimento de grãos em relação ao controle.

Esse incremento pode ter sido consequência do melhor desenvolvimento inicial da cultura em maior massa seca de raiz e massa seca total, conforme Tabela 5, proporcionando às plantas melhores condições de enfrentamento ao estresse abiótico que a cultura enfrentou pela falta de chuvas em diferentes momentos críticos e de determinação de potencial produtivo, como no início e no final do estágio vegetativo (determinação do número de nós por planta), se estendendo até o estágio de formação de vagens ( $R_3$ ).

Nesse sentido, o efeito de bioestimulantes aparenta ser mais pronunciado em condições de estresses, como em trabalhos reportados por Aroca e Ruiz-Lozano (2009) beneficiando o crescimento e conferindo resistência de plantas de tomate e pimenta sob condições de déficit hídrico em regiões do semiárido. Há relatos na literatura de que o efeito de microrganismos e/ou substâncias promotoras de crescimento é mais proeminente em condições ambientais mais restritas ao crescimento das plantas, principalmente sob estresses hídricos e nutricionais (SILVA; PIRES, 2017).

**FIGURA 12** - Rendimento de grãos de soja em função de doses de bioestimulante aplicadas em pré-semeadura. Ponta Grossa (PR), safra 2018-2019. \* = significativo a  $P < 0,05$ .





## 6.2. CULTURA DO TRIGO

Não houve interação significativa entre os tratamentos envolvendo as doses e a reaplicação de BS para as variáveis analisadas na cultura do trigo (extração de nutrientes, peso hectolítrico (PH), massa fresca total, massa seca total e produtividade de grãos). Sendo assim, os dados foram analisados considerando as médias das observações. A única variável analisada que apresentou interação significativa foi a extração de Ca pela cultura do trigo, sendo então realizado o seu desdobramento dentro de cada tratamento.

A massa fresca (MF) total da cultura do trigo ( $y$ , em  $\text{kg ha}^{-1}$ ) aumentou de forma linear com as doses do BS ( $x$ , em  $\text{L ha}^{-1}$ ) aplicadas ( $y = 18070 + 707,4x$   $R^2 = 0,59$ ) (Tabela 8). De acordo com a equação ajustada, houve um incremento aproximado de 707 kg de massa fresca para cada 1 L de BS aplicado. Já, a massa seca (MS) total não foi influenciada significativamente com o uso do BS.

A reaplicação do BS não influenciou significativamente a produção de massa fresca e seca de trigo (Tabela 8). Dessa forma, uma única aplicação do BS na cultura da soja foi tão eficaz quanto a sua reaplicação na cultura do trigo, indicando um provável efeito em longo prazo, como reportado por Hu e Qi (2013) na cultura do trigo. Esses autores conduziram um experimento por 13 anos com reaplicações de uma mistura microbiana complexa com metabolitos fermentados e reportaram incrementos na produtividade de trigo, nos teores de nutrientes nos grãos e de massa seca total.

**Tabela 8** – Valores de massa fresca (MF) total e massa seca (MS) total da cultura do trigo em estágio de florescimento em função de dose de bioestimulante e sua reaplicação na dessecação em pré-semeadura do trigo. Safra 2019, Ponta Grossa (PR).

Bioestimulante	MF	MS
L $\text{ha}^{-1}$	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----	
0	17521	3534
2	21200	4196
4	19118	3865
6	22931	4298
Efeito	L**	ns
CV (%)	13,4	19,1
Reaplicação		
Sem	20241	4075
Com	20094	3871
Valor de F	ns	ns
CV (%)	14,5	11,6

L = efeito linear por regressão polinomial. ns = não significativo, \* = significativo a  $P < 0,05$ ;

\*\* = significativo a  $P < 0,01$ .

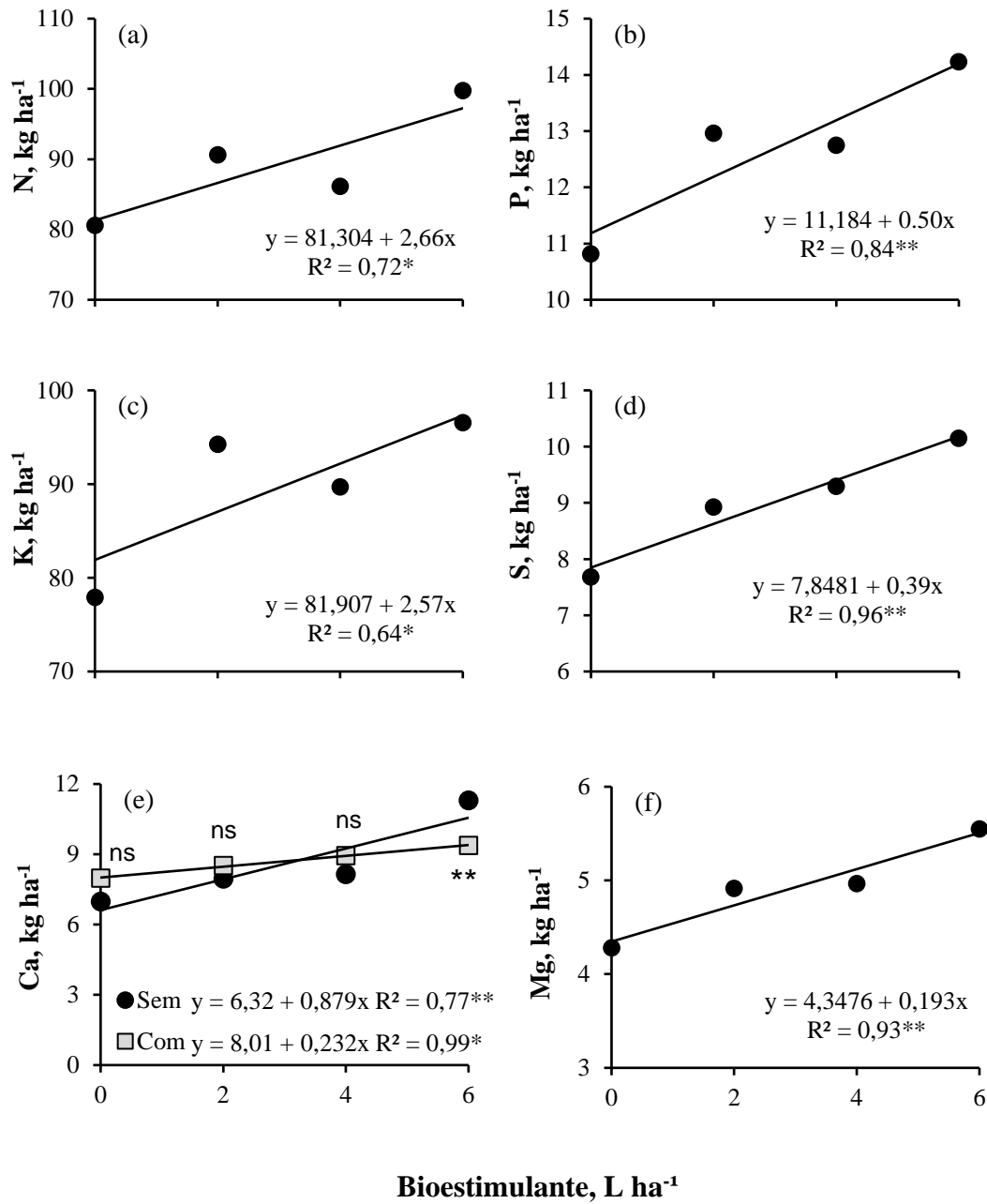
As doses de BS aumentaram de forma linear a extração de N, P, K, Mg e S pela cultura do trigo (Figura 13). Os incrementos na extração de nutrientes foram de 2,7 kg de N, 0,5 kg de P, 2,6 kg de K, 0,2 kg de Mg e 0,4 kg de S para cada 1 L ha<sup>-1</sup> de BS aplicado. Efeitos semelhantes ocasionados pela aplicação de microrganismos efetivos (substância obtida de forma semelhante ao bioestimulante utilizado no presente estudo, porém não pasteurizada, com microrganismos vivos) foram reportados por Javaid e Bajwa (2011) em alterações na absorção de N, P e K pelas culturas de trigo, milho e arroz. Resultados semelhantes para o aumento da absorção de P e no melhor desenvolvimento de plantas utilizando microrganismos solubilizadores de P também foram reportados por Peix et. al. (2001).

O aumento da extração de K corrobora com trabalho reportado Han e Lee (2005), utilizando duas espécies de *Bacillus*, resultando em incremento significativo na disponibilidade de K no solo e na absorção por raízes e parte aérea de berinjelas. Sheng e He (2006) atribuem essa melhoria na absorção de K sendo resultante da produção de ácidos orgânicos, como: (cítrico, oxálico, tartárico e succínico).

O BS utilizado neste experimento possui em sua constituição diferentes constituintes metabólitos, como enzimas e ácidos orgânicos e pode ter atuado diretamente na solubilização e/ou mineralização de P, bem como estimulando outros grupos microbianos em suas rotas específicas de ciclagem de nutrientes (OWEN et al., 2015). Mais estudos para explorar esse efeito na atividade biológica e química do solo devem ser conduzidos.

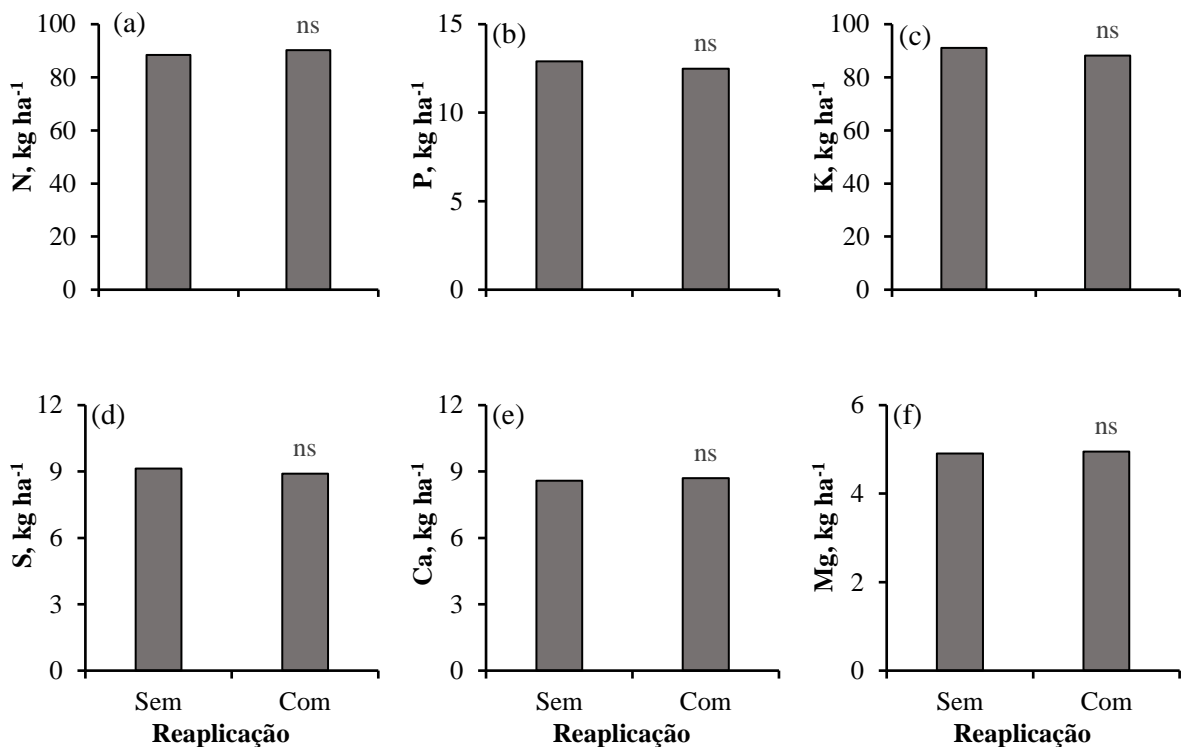
A extração de Ca pela cultura de trigo foi influenciada significativamente pela interação entre os tratamentos com doses e reaplicação do BS (Figura 13e). Independentemente da reaplicação do BS, houve incremento linear na extração de Ca em função das doses de BS. No entanto, o incremento na extração de Ca foi mais acentuado quando não foi realizada a sua reaplicação. O incremento na extração foi de 0,23 e 0,88 kg de Ca, respectivamente, com e sem a reaplicação de BS, para cada 1 L ha<sup>-1</sup> de BS aplicado anteriormente. Esse efeito ocorreu porque na dose de 6 L ha<sup>-1</sup> do BS, a extração de Ca pelas plantas foi menor sem do que com a sua reaplicação. Esse resultado é um indicativo de que a dose de 6 L ha<sup>-1</sup> do BS pode ter sido excessiva para a cultura do trigo.

**FIGURA 13** - Extração de N (a), P (b), K (c), S (d), Ca (e) e Mg (f) pela cultura do trigo em função de doses de bioestimulante. \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ . Safra 2019, Ponta Grossa (PR).



A reaplicação de BS não influenciou significativamente a extração de N, P, K, Ca, Mg e S pela cultura do trigo (Figura 14).

**FIGURA 14** - Extração de N (a), P (b), K (c), S (d), Ca (e) e Mg (f) pela cultura do trigo em função da reaplicação de bioestimulante. ns = não significativo \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ . Safra 2019, Ponta Grossa (PR).



Na figura 15 estão apresentados os resultados de PH dos grãos de trigo em função de doses e reaplicação do BS. As doses de BS aumentaram linearmente o PH do trigo, tendo ocorrido um incremento de 0,28 kg hL<sup>-1</sup> para cada 1L de BS aplicado (Figura 15a). A reaplicação de BS não alterou significativamente o PH do trigo (Figura 15b).

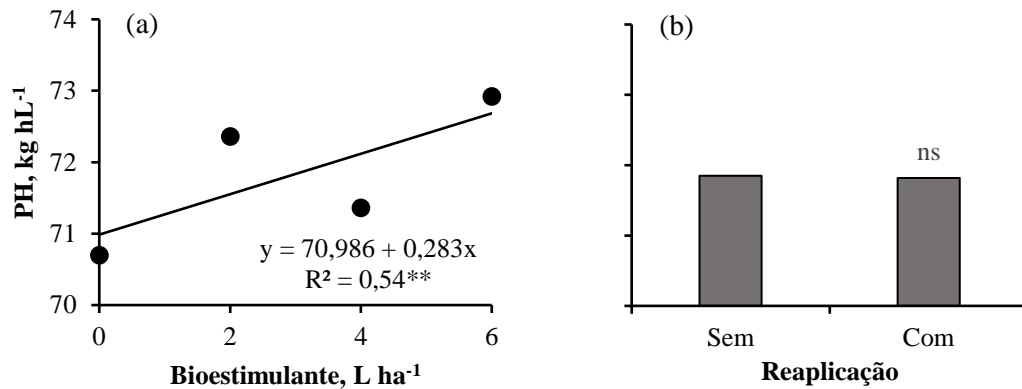
O PH é uma propriedade que apresenta grande importância na comercialização do trigo, uma vez que os preços praticados consideram este parâmetro como um indicativo de qualidade e rendimento na extração de farinha (CORRÊA et al., 2006). Seus valores são influenciados pelo estado nutricional da cultura do trigo, sendo o N o nutriente mais translocado para os grãos pela cultura (RAIJ et al. 1996).

Segundo Pereira et al. (2017), o PH é um indicativo de qualidade e rendimento do trigo, o qual apresenta elevada importância para efeito de comercialização. No Brasil, o PH igual ou superior a 78 kg hL<sup>-1</sup> para o grão limpo a 13% de umidade é considerado o valor de referência para o trigo de alta qualidade industrial. Neste trabalho, os valores de PH variaram de 70,3 a

73,0 kg hL<sup>-1</sup>, não atingindo o valor de referência de alta qualidade industrial. Mumbach et al. (2017) avaliaram componentes de rendimento de trigo submetidos a diferentes doses de N combinadas com a inoculação das sementes e encontraram valores de PH variando de 68,32 a 71,28 kg hL<sup>-1</sup>.

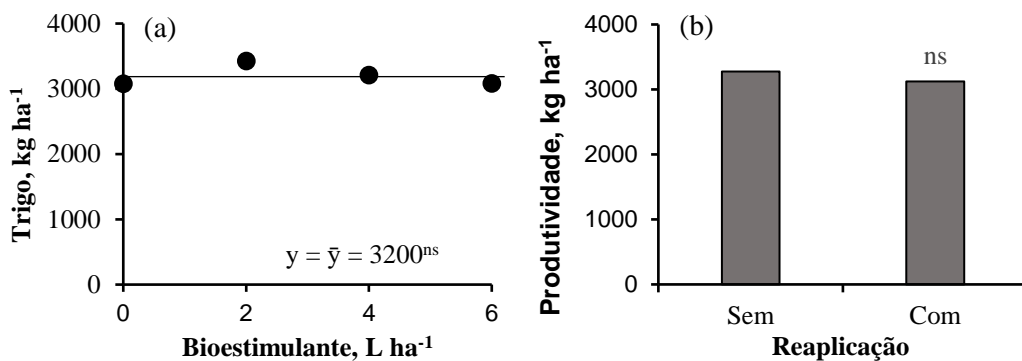
Embora o PH não tenha atingido o valor mínimo de qualidade industrial de acordo com a classificação nacional, o valor do PH aumentou com as doses de BS aplicadas. Com isso, acredita-se que a resposta do PH pode ter sido pelo fato de a aplicação do BS ter proporcionado melhoria no acúmulo de N pela cultura durante o ciclo.

**FIGURA 15** - Peso do hectolitro (PH) dos grãos de trigo em função da aplicação de doses (a) e da reaplicação (b) do bioestimulante. ns = não significativo \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ . Safra 2019, Ponta Grossa (PR).



A produtividade de grãos de trigo não foi influenciada significativamente pelas doses e pela reaplicação de BS (Figura 16). O rendimento médio de grãos de trigo do experimento foi de 3200 kg ha<sup>-1</sup>.

**FIGURA 16** - Rendimento de grãos de trigo em função de doses de bioestimulante na pré-semeadura da soja (a) e da reaplicação na dessecação em pré-semeadura da cultura do trigo (b). ns = não significativo \* = significativo a  $P < 0,05$  e \*\* = significativo a  $P < 0,01$ . Safra 2019, Ponta Grossa-(PR).



O principal fator que pode ter influenciado em grande parte estes resultados foi a condição climática após a semeadura do trigo (Figura 9). Nesta safra de trigo não foi registrado um volume de precipitação pluvial significativo após a semeadura, o que pode ter afetado a germinação e, conseqüentemente, a emergência das plantas. O aproveitamento da adubação nitrogenada de cobertura pela cultura também é dependente de umidade após a sua aplicação. Na sua limitação, o N-ureia pode ser volatilizado, não sendo aproveitado pelas plantas. Outra consequência da falta de umidade é que ela pode ter prejudicado o estabelecimento das bactérias na rizosfera do trigo. De acordo com Fartrigo (2019), até a fase de perfilhamento, a cultura do trigo necessita de aproximadamente 55 mm de precipitação pluvial ao mês, podendo variar de 30 a 80 mm. Considerando os dados da figura 9, um volume próximo a 30 mm de precipitação pluvial ocorreu somente um mês após a semeadura do trigo. Sala et al. (2007) afirmam que mesmo na presença de um genótipo promissor e de estirpes eficientes, caso as condições ambientais (temperatura, umidade, aeração, entre outros) não sejam favoráveis à sobrevivência e atividade bacteriana, é provável que não ocorram respostas satisfatórias.

## 7 CONCLUSÕES

1. A aplicação de BS na cultura da soja aumentou a massa seca de raiz e a massa seca total das plantas aos 30 dias após a semeadura, o número de nós na planta na pré-colheita e a produtividade de grãos.
2. Para a cultura do trigo em sucessão à soja, a aplicação de BS na pré-semeadura da soja proporcionou incremento na massa fresca total, na extração de N, P, K, Ca, Mg e S pelas plantas e no peso do hectolitro, mas não influenciou significativamente a produtividade de grãos.
3. A reaplicação do BS na cultura do trigo em sucessão à soja não melhorou a performance do trigo, evidenciando que apenas uma aplicação por ciclo seria suficiente.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em geral, o uso do BS apresentou benefícios para a cultura da soja, proporcionando aumento da massa seca de raiz e na massa seca total no início do seu desenvolvimento, bem como no aumento no número de nós, aliado ao incremento no rendimento de grãos, de aproximadamente 8%.

A nodulação não foi afetada pela aplicação do BS, independentemente da dose empregada, ponto importante para segurança em sua recomendação.

A reaplicação do BS não teve o efeito esperado na cultura do trigo. Resultados menos expressivos no trigo podem ter sido ocasionados pelo baixo volume de chuvas em momentos de definição de componentes de produtividade.

Por se tratar de um trabalho inicial, novos estudos são necessários, utilizando métodos de determinação de atividade microbológica, bem como avaliando diferentes culturas em diferentes locais, para que seja possível tirar conclusões mais consistentes a respeito dos benefícios dessa tecnologia.



## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). **Estatísticas**. Disponível em: <<http://anda.org.br>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

ARGENTA, G. *et al.* Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, v. 4, n. 1/2, p. 27-34, 2003.

ARKHIPOVA, T. N. *et al.* Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. **Plant and Soil**, v. 272 p. 201–209, 2005.

AROCA, R; RUIZ-LOZANO, J M. Induction of plant tolerance to semi-arid environments by beneficial soil microorganisms - a review. *In*: LICHTOUSE, E. (ed.). **Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms, sustainable agriculture reviews**. Springer, The Netherlands, v. 2, p.121–135, 2009.

BARROW, N. J. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil. **Journal Soil Science**, v. 34, p.733-750, 1983

BASHAN, Y.; DUBROVSKI, J. G. *Azospirillum* spp. Participation in dry matter partitioning in grasses at the whole plant level. **Biol. Fertil. Soils**, n. 23, p. 435–440. 1996.

BEAUDREAU, D. G. **Biostimulants in Agricultura: Their Current and Future Role in a Connected Agricultural Economy**. Disponível em: <http://www.biostimulantcoalition.org>. Acesso em: 26 nov 2020.

BERTRAND, H. *et al.* Isolation and identification of the most efficient plant growth-promoting bacteria associated with canola (*Brassica napus*). **Biol. Fertil. Soils**, n. 33, p. 152–156, 2001.  
BIOTRIGO. **Descrição do cultivar TBIO Audaz**. Disponível em: [http://biotrigo.com.br/cultivares/portfolio/tbio\\_audaz/47](http://biotrigo.com.br/cultivares/portfolio/tbio_audaz/47). Acesso em: 29 jul. 2019.

BORTOLON L. *et al.* Equipamento para coleta de amostras indeformadas de solo para estudos em condições controladas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1929-1934, 2009.

CÂMARA, G. M. S. **Bases de fisiologia da cultura da soja**. Piracicaba, SP, 2000. 15 p. Disponível em: [http://www.potafos.org/.../2364d9039475c837563b7/\\$file/Anais%20Gil%20%20Miguel%20de%20Souza%20Câmara.doc](http://www.potafos.org/.../2364d9039475c837563b7/$file/Anais%20Gil%20%20Miguel%20de%20Souza%20Câmara.doc). Acesso em: 19 out. 2018.

CARDOSO, E. J. B. N. Microbiologia do solo. Campinas, SP. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1992. **Biochemistry**, v. 74, p. 177-183, 2014.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

COLLARES, G. L. *et al.* Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, 2006.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 3, n. 11. Brasília: Conab, 2016.

CONAB. **Levantamento de safra**. 2017. Disponível em: [www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17\\_05\\_12\\_10\\_37\\_57\\_boletim\\_graos\\_mai\\_2017.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_12_10_37_57_boletim_graos_mai_2017.pdf). Acesso em: 13 mai. 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 6, n 11. Brasília: Conab, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 23 ago. 2019.

CONAB. **Produção de 246 milhões de toneladas garante o recorde da safra de grãos**. Conab, 2019. Disponível: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/3140-producao-de-246-milhoes-de-toneladas-garante-o-recorde-da-safra-de-graos>: Acesso em: 15 mar. 2020.

CONAB. **Soja Análise Mensal**. Brasília: Conab, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 13 out. 2020.

CORRÊA, P. C. *et al.* Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.665-670, 2006.

CORREIA, A. A. D. **Bioquímica nos solos, nas pastagens e forragens**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980.

COSTA, J. P. V. *et al.* Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

CUNHA, G. R. da.; PIRES, J. L. F. **Sistemas de cultivo para rendimento elevado em trigo e o desafio das correlações indesejadas**. Disponível em: [www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do48.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do48.htm). Acesso em: 24 mar. 2017.

DALL'AGNOL, A. The impact of soybeans on the Brazilian economy. *In: Technical information for agricultura*. São Paulo: Máquinas Agrícolas Jacto, 2000. p. 16-17.

DASTAGER, S. G.; DEEPA, C. K.; PANDEY, A. Isolation and characterization of novel plant growth promoting *Micrococcus* sp NII-0909 and its interaction with cowpea. **Plant Physiology and Biochemical**, v. 48, p. 987–992, 2010.

FREITAS, J. R. de.; BANERJEE, M. R.; GERMIDA., J. J. Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus*). **Biology Fertility Soils**, v. 36 p. 842–855, 1997.

DODD, R. J.; SHARPLEY, A. N. Recognizing the role of soil organic phosphorus in soil fertility and water quality. **Resources, Conservation and Recycling**, 105, p. 282-293, 2015.

EBIC. **Economic Overview of the Biostimulants Sector in Europe**. 2011. Disponível em: <http://www.biostimulants.eu>. Acesso: 26 nov 2020.

EBIC. **Economic Overview of the Biostimulants Sector in Europe**. 2013. Disponível em :<http://www.biostimulants.eu>. Acesso: 26 nov 2020.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1996/97**. Documentos, 97. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 187 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Dados econômicos (soja em números)**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 23 ago. 2019.

EMBRAPA MILHO e SORGO. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados**. 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados>. Acesso em: 22 jun. 2020.

ESTRADA, G. A. *et al.* Effect of phosphate-solubilizing bacteria on phosphorus dynamics and the bacterial Community during composition of sugar cane industry waste. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 40, p. 308-313, 2017.

FARTRIGO. **Trigo e seus aspectos**. Disponível em: <http://www.fartrigo.com.br/fartrigo/trigo/trigo-e-seus-aspectos>. Acesso em: 10 jan. 2019.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Special Report, 87. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p.

FERREIRA, D. F. **Sisvar**: Sistema de análise de variância. Versão 5.3. Lavras: UFLA, 2010.

FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. v. 1. São Paulo: Edusp, 1985.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 27, n. 5, p. 661-669, Brasília, 1992.

FROMMEL, M. I. *et al.* Growth enhancement and developmental modifications of in vitro grown potato (*Solanum tuberosum ssp. tuberosum*) as affected by a nonfluorescent *Pseudomonas* sp. **Plant Physiol.** n. 96, p. 928–936, 1991.

GASSEN, F.; BORGES, L. D. Importância econômica da soja. *In*: REIS, E. M. *et al.* **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, p. 11-13, 2004.

GHOLAMI, A.; SHAHSAVANI, S.; NEZARAT, S. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. Proceedings of World Academy of Science. **Engineering and Technology**, v. 37, 2009, 3740 p.

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

HAN, H. S.; LEE, K. D. Phosphate and potassium solubilizing bacteria effect on mineral uptake, soil availability, and growth of egg plant. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 1, p. 176-180, 2005.

HIRAKURI, M. H.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A. **Análise econômica de diferentes arranjos espaciais de plantas de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 8 p.

HU, C.; QI, Y. Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. **European Journal of Agronomy**, v. 43, p. 63-67, 2013.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**, 2016. Disponível em: [www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pluvio.xls](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/pluvio.xls). Acesso em: 05 ago. 2018.

JAVAID, A.; BAJWA, R. Field evaluation of effective microorganisms (EM) application for growth, nodulation, and nutrition of mung bean. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**. n. 35, p. 443–452, 2011.

KANNAPIRAN, E.; RAMKUMA, V. S. Isolation of phosphate solubilizing bacteria from sediments of Thondi coast, Palk Strait, Southeast Coast Indian. **Annual Research and Review in Biology**, v. 2, p.157-163, 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.

KLIRONOMOS, J. N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities. **Nature**. v. 417, n. 6884, p. 67-70, 2002.

KOHLER, J.; CARAVACA, F.; ROLDAN, A. Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. **Appl Soil Ecol**. v. 42, p. 160-165, 2009.

MA, Y.; RAJKUMAR, M.; FREITAS, H. Inoculation of plant growth promoting bacterium *Achromobacter xylosoxidans* strain Ax10 for the improvement of copper phyto extraction by *Brassica juncea*. **Journal Environment Management**, v. 90, p. 831–837, 2019.

MAKSIMOV, I.V.; ABIZGIL'DINA, R. R. & PUSENKOVA, L. I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review). **Applied Biochemical Microbiology**, v. 47, p. 333–345, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potássio e do Fósforo, 1997. 319 p.

MALBOOBI, M. A. *et. al.* Performance evaluation of potent phosphate solubilizing bacteria in potato rhizosphere. **World J. Microbiology Biotechnology**. v. 25, p 1479-1484. 2009.

MARIANO, R. L. R. *et al.* Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 1, p. 89-111, 2004.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Austrália: Elsevier, 2012, 651 p.

MAPA. **Soja**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>. Acesso em: 16 out. 2018.

MOTA, F. S. da. **Meteorologia Agrícola**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

MOURA, E. G.; ALBUQUERQUE, J. M.; AGUIAR, A. C. F. das. Growth and Productivity of Corn as Affected by Mulching and Tillage in Alley Cropping Systems. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v. 65, n. 2, p. 204-208, 2008.

MUMBACH, G. L. *et al.* Resposta da inoculação com *Azospirillum brasilense* nas culturas de trigo e milho safrinha. **Revista Scientia Agraria**. v. 18, n. 2, p. 97-103, 2017.

MUNDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2005. 31 p.

NEUMAIER, N. *et al.* Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (ed.). **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 254 p.

NIDERA SEMENTES. **Descrição do cultivar NS 5909**. Disponível em: <http://www.niderasementes.com.br/produto/na-5909-rg--sul.aspx> Acesso: 08 out. 2020.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 471-537, 2007.

OLIVEIRA, F. H. T. *et al.* Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p. 393-486, 2002.

ORHAN, E. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. **Scientia Horticulturae**, v. 111, n. 1, p. 38-43, 2006.

ORTZ, Á. *et al.* Production of biostimulants from okara through enzymatic hydrolysis and fermentation with *Bacillus licheniformis*: comparative effect on soil biological properties. **Environmental Technology**, United Kingdom, v. 40, n. 16, p. 2073–2084, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1436596>. Acesso em: 08 out.2020.

OWEN, D. *et al.* Use of comercial bio-inoculants to increase agricultural production throught improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

PAIVA. **Produto com tecnologia brasileira pode reverter dependência externa por adubos fosfatados.** EMBRAPA Milho e Sorgo, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/45773416/produto-com-tecnologia-brasileira-pode-reverter-dependencia-externa-por-adubos-fosfatados>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PAL, S. S. Interactions of an acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops. **Plant Soil**, v. 198, n. 2, p. 169-177, 1998.

PARK, K. H.; LEE, C. Y.; SON, H. J. Mechanism of insoluble phosphate solubilization by *Pseudomonas fluorescens* RAF15 isolated from ginseng rhizosphere and its plant growth promoting activities. **Letters in Applied Microbiology**, v. 49, p. 222-228. 2009.

PAUL, E. A.; CLARCK, F. E. **Soil Microbiology and Biochemistry.** Academic Press Limited. San Diego, California. 1988.

PEIX, A. et al. Growth promotion of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by a strain of *Burkholderia cepacia* under growth chamber conditions. **Soil Biol. Biochem**, v. 33, n. 14, p. 1927-1935, 2001.

PEIXOTO NETO, P. A. S.; AZEVEDO, J. L.; ARAÚJO, W. L. Microrganismos endofíticos. **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 29, p. 62-77, 2002.

PENCKOWSKI, L. H.; BORSATO, E. F. **Utilizando regulador de crescimento na cultura do Trigo.** Fundação: ABC, 2016. 11p.

PEREIRA, L. C. et al. Rendimento do trigo (*Triticum aestivum*) em resposta a diferentes modos de inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 105-113, 2017.

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 159-164, 1997.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Ceres, 1991.

REETZ, H. F. **Fertilizantes e seu uso eficiente.** Trad. Alfredo Scheid Lopes. São Paulo: ANDA. 2017. 178 p.

REICHARDT, K. Água: absorção e translocação. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal, v. 1, p. 3-24, 1985.

REIS, E. M. (ed.). **Doenças na cultura da soja.** Passo Fundo: Aldeia Norte, cap. 1. p. 11-19, 2004.

RODRÍGUEZ, H.; FRAGA, R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. **Biotechnol. Adv.**, v. 17, n. 4-5, p. 319-339, 1999.

RODRÍGUEZ, H.; GONZALEZ, T.; SELMAN, G. Expression of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola* in two rhizobacterial strains. **Journal of Biotechnology**, v. 84, p. 155–161, 2001.

RODRÍGUEZ, H. *et al.* Gluconic acid production and phosphate solubilization by the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* spp. **Naturwissenschaften**, v.91, p. 552-555, 2004.

ROSÁRIO, J. G. **Inoculação com *Azospirillum brasilense* associada à redução na adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de trigo.** 2013, 85 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2013.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. *In:* YAMADA, T. & ABDALLA, S. R. S. (ed). **Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira.** Piracicaba: Potafós, p. 201-222, 2004.

SAHARAN, B.; NEHRA, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. **Life Sci. Medic. Res.**, v. 21, p. 1-30, 2011.

SAHIN.; F, CAKMAKCI, R.; KANTAR, F. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N<sub>2</sub>-fixing and phosphate solubilizing bacteria. **Plant Soil**, v. 265, p.123–129, 2004.

SALA, V. M. R. *et al.* Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 833–842, 2007.

SANTOS, K. F. D. N. *et al.* Wheat colonization by an *Azospirillum brasilense* ammonium-excreting strain reveals upregulation of nitrogenase and superior plant growth promotion. **Plant and Soil**, v. 415, p. 245-255, 2017a.

SANTOS, A. R. S. *et al.* Label ed *Azospirillum brasilense* wild type and ammonium excretion-ammonium strains in association with barley roots. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 118, p. 422-426, 2017b.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. de. **Agrometeorologia dos Cultivos: O Fator Meteorológico na Produção Agrícola.** INMET, 2009. Disponível em: <http://www.improve-plant-growth-and-ecosystemsustainability>. Acesso em: 17 jan. 2019.

SHENG, H. E.; SHENG, L.Y. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 52, p. 66-72, 2006.

SILVA, F. C. *et al.* Characterization of putative plant growth promoting bacteria isolated from the maize rhizosphere. **Anais do 28º Congresso Brasileiro de Microbiologia**, Florianópolis, 2015.

SILVA, S. R.; PIRES, J. L. F. Resposta do trigo BRS Guamirim à aplicação de *Azospirillum*, nitrogênio e substâncias promotoras do crescimento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, p. 631-638, 2017.

SOUZA, A. M. **Isolamento e caracterização de bactérias diazotróficas de campos de milho.** 2013, 27 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2013.

SYLVIA, D. M. *et al.* **Principles and applications of soil microbiology.** 2.ed. Prentice Hall: Upper Saddle River, 2005. 640 p.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In:* R. W. Weaver *et al.* (ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties.** Soil Science Society of America. Part. 2, p. 778-835, 1994. (Special Publication, n. 5).

TAKEITI, C. Y. **Trigo.** Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2015. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia\\_de\\_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CONT000girlwnqt02wx5ok05vadr1qrnof0m.html). Acesso em: 21 dez. 2018.

TAIZ, L., ZEIGER, E. A água e as células vegetais. *In:* **Fisiologia Vegetal.** Artmed: Porto Alegre, 2006.

TAO, G. C. *et al.* **Phosphate-solubilizing and-mineralizing abilities of bacteria isolated from soils.** *Pedosphere*, v. 18, p. 515–523, 2018.

TEIXEIRA, M. F. *et al.* Linhagens de *Burkholderia* sp., promotoras de crescimento vegetal, submetidas a estresse hídrico e salino. **Ciência & Tecnologia-FATEC-JB**, v. 8, 2016, 10 p.

TIEN, T.; GASKINS, M.; HUBBELL, D. Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum Americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology**, v.37, p. 1016-1024, 1979.

TIMMUSK, S. *et al.* Drought-tolerance of wheat improved by rhizosphere bacteria from harsh environments: enhanced biomass production and reduced emissions of stress volatiles. **PLoS One**, v. 9, n. 5, p. e96086, 2014.

USDA. ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **USDA.gov–United States Department of Agricultural.** Disponível em: <http://www.usda.gov>. Acesso em: 13 out. 2020.

VACHERON, J. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1-19, 2013.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 703-707, 1987.

VERESOGLOU, S. D.; MENEXES, G. Impact of inoculation with *Azospirillum* spp. on growth properties and seed yield of wheat: A meta-analysis of studies in the ISI Web of Science from 1981 to 2008. **Plant and Soil**, v. 337, n. 1, p. 469-480, 2010.

VESSEY, J. K.; BUSS, T. J. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain legumes. Controlled-environment studies. *Can. J. Plant Sci.* v. 82, p. 282–290, 2002.



VICKI, L. T. Resistance to biotic and abiotic stress in triticeae. **Hereditas**, v.135, p. 239-242, 2001

WOLFE, B. E.; KLIRONOMOS, J. N. Breaking new ground: Soil communities and exotic plant invasion. **BioScience**, v. 55, n. 6, p. 477-487, 2005.

WANG, B.; QIU, Y. L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, n. 5, p. 299-363, 2006.

WOLFE, B. E.; KLIRONOMOS, J. N. Breaking new ground: Soil communities and exotic plant invasion. **BioScience**, v. 55, n. 6, p. 477-487, 2005.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T. T. & KONZAC, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974.

ZHANG, L. *et al.* Hyphosphere interactions between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate solubilizing bacterium promote phytate mineralization in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 74, p. 177-183, 2014.