



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

GIOVANNI FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO MILHO INOCULADO  
COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM  
SOLO COMPACTADO**

---

Londrina  
2021

GIOVANNI FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO MILHO INOCULADO  
COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM  
SOLO COMPACTADO**

Dissertação ao departamento de Pós-graduação em agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título mestre

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho

Co-orientador: Prof. Dr. André Luíz Martinez de Oliveira

Londrina  
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F383d Ferreira, Giovanni.  
DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO MILHO INOCULADO COM BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM SOLO COMPACTADO / Giovanni Ferreira. - Londrina, 2021.  
44 f.

Orientador: João Tavares Filho.  
Coorientador: André Luiz Martinez de Oliveira.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.  
Inclui bibliografia.

1. Compactação do solo - Tese. 2. Indicadores microbiológicos - Tese. 3. Azospirillum sp. - Tese. 4. Bacillus sp. - Tese. I. Filho, João Tavares. II. Oliveira, André Luiz Martinez de. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

GIOVANNI FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DO MILHO INOCULADO COM  
BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO EM SOLO  
COMPACTADO**

Dissertação ao departamento de Pós-graduação em agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título mestre

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. João Tavares Filho  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Marco Antonio Nogueira  
Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária - EMBRAPA

---

Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 26 de Fevereiro de 2021.

## AGRADECIMENTOS (opcional)

A Deus por proporcionar saúde e o caminho certo para o término desse trabalho.

Ao Prof. Dr. João Tavares Filho, meu orientador e amigo em que pude confiar todos os problemas decorrentes durante essa etapa, pelos ensinamentos, dicas, conselhos no decorrer do tempo.

Ao Prof. Dr. André Luiz Martinez de Oliveira, meu coorientador que aceitou o convite e se propôs em ajudar e ensinar em todas as etapas desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo, a Prof<sup>a</sup> Dra. Adriana Pereira da Silva e o Dr. Lucas Moraes pela amizade ajuda e ensinamentos repassados durante as dificuldades encontradas.

Aos demais professores da Universidade Estadual de Londrina (UEL) e pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que contribuíram com seu conhecimento e acompanharam minha caminhada até o momento.

Aos técnicos do laboratório de solos UEL Marcio Praxedes e João Machado pelo apoio técnico e ajuda para a conclusão desse trabalho.

A minha família, meu pai Valdomiro Sebastião Ferreira, minha mãe Ana Cristina Ferreira e minha irmã Dayane Cristina Ferreira, por todo apoio, amor e incentivo durante esses anos.

Aos amigos que nunca me deixaram desistir, me apoiando e aconselhando em todas as minhas decisões em especial o Prof. Dr. Antonio Augusto Lazarini Barboza e o amigo Rodolfo Ferrari Putti.

Agradeço a Universidade Estadual de Londrina e o seu corpo docente comprometido com a qualidade de ensino e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que financiou este trabalho.

## RESUMO

FERREIRA, Giovanni. **Desenvolvimento e nutrição do milho inoculado com bactérias promotoras de crescimento em solo compactado**. 2021. 44f. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

Em virtude do crescente aumento populacional e a busca de alternativas sustentáveis de produção, a utilização de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), dentre essas o gênero *Azospirillum* e *Bacillus*, surgiram como alternativa e ganharam destaque por contribuírem com a promoção de crescimento em plantas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento do milho inoculado com *Azospirillum* (Abv-5 – Abv-6) e *Bacillus* (estirpe ZK) via sementes, em duas densidades de solo e duas doses de adubação nitrogenada. Para isso, um Latossolo Vermelho muito argiloso foi coletado na camada 0 – 20 cm e acondicionado em vasos de PVC com 10cm de altura e volume 163,9 cm<sup>3</sup> com as seguintes condições: CP (solo compactado (Ds = 1,6Kg dm<sup>-3</sup>); NC (solo não compactado (Ds = 1,0Kg dm<sup>-3</sup>); IN (sementes inoculadas com as BPCV); NI (sementes não inoculadas); 100% (adubação completa de Nitrogênio); 50% (meia dose da adubação nitrogenada) constituindo oito tratamentos: 1) CP + IN + 100%; 2) NC + IN + 100%; 3) CP + IN + 50%; 4) NC + IN + 50%; 5) CP + NI + 100%; 6) NC + NI + 100%; 7) CP + NI + 50% e 8) NC + NI + 50%. Quando a cultura atingiu o estágio vegetativo (VT), foram realizadas análises físicas, microbiológicas, e químicas do solo e análise química do tecido foliar. Houve maior diâmetro de agregados e maior quantidade de argila dispersa no solo compactado, embora o índice de estabilidade de agregados não tenha diferido significativamente entre os tratamentos. Houve diferenças nos teores de proteínas relacionadas à glomalina (PSRG) de fácil extração no solo de menor densidade e nenhuma diferença para a PSRG de difícil extração. Dos indicadores da atividade microbiana do solo os tratamentos com o solo compactado apresentaram maior respiração basal diferindo estatisticamente do solo não compactado. Tratamentos com a compactação do solo apresentaram maiores qCO<sub>2</sub> caracterizado pelo distúrbio ecológico causado pela compactação. O teor de nutrientes do solo foi influenciado pela compactação devido a anaerobiose e posterior oxirredução para os micronutrientes Fe e Mn e para os mecanismos de contato íon raiz cujo tratamentos com o solo compactado obtiveram menor concentração de nutrientes no tecido foliar. Os tratamentos com a inoculação de BPCV foi capaz de suprir a necessidade de nitrogênio da cultura mesmo com 50% de redução da dose de adubação, inferindo assim a possibilidade de minimizar a utilização de fertilizantes nitrogenados na cultura quando associados com a inoculação de *A. brasilenses*. Para a solubilização de fósforo nada foi conclusivo necessitado de maior tempo de experimento para dados conclusivos.

**Palavras-chave:** Compactação do solo. Indicadores microbiológicos. *Azospirillum* sp. *Bacillus* sp..

## ABSTRACT

FERREIRA, Giovanni. **Use of plant bacteria in the cultivation of growth promoters of different soil densities**. 2021. 44f. Dissertação de Mestrado – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

Due to the growing population and the search for sustainable production alternatives, the use of plant growth-promoting bacteria (BPCV), among these the genus *Azospirillum* and *Bacillus*, emerged as an alternative and gained prominence for contributing to the promotion of growth in plants. Thus, the objective of this work was to evaluate the development of corn inoculated with *Azospirillum* (Abv-5 – Abv-6) and *Bacillus* (ZK strain) via seeds, in two soil densities and two doses of nitrogen fertilization. For this, a very clayey Red Latosol was collected in layer 0 – 20 cm and placed in PVC pots with a height of 10 cm and a volume of 163.9 cm<sup>3</sup> with the following conditions: CP (compacted soil (Ds = 1.6 kg dm<sup>-3</sup>); NC (uncompacted soil (Ds = 1.0Kg dm<sup>-3</sup>); IN (seeds inoculated with BPCV); NI (non-inoculated seeds); 100% (complete nitrogen fertilization); 50% (half dose of nitrogen fertilization) constituting eight treatments: 1) CP + IN + 100%, 2) NC + IN + 100%; 3) CP + IN + 50%; 4) NC + IN + 50%; 5) CP + NI + 100%; 6) NC + NI + 100%; 7) CP + NI + 50% and 8) NC + NI + 50%. When the culture reached the vegetative stage (VT), physical, microbiological, and chemical analyzes of the soil and chemical analysis of the leaf tissue were performed. There was a greater diameter of aggregates and a greater amount of clay dispersed in the compacted soil, although the aggregate stability index did not differ significantly between treatments. There were differences in the content of easily extracted glomalin-related proteins (PSRG) in the lower density soil and no difference for the difficult-to-extract PSRG. Of the soil microbial activity indicators, the treatments with compacted soil showed higher basal respiration, differing statistically from the non-compacted soil. Treatments with soil compaction showed higher qCO<sub>2</sub> characterized by the ecological disturbance caused by compaction. Soil nutrient content was influenced by compaction due to anaerobiosis and subsequent oxidation-reduction for Fe and Mn micronutrients and for root ion contact mechanisms whose treatments with compacted soil obtained lower nutrient concentration in leaf tissue. The treatments with the inoculation of BPCV were able to supply the need of nitrogen of the culture even with 50% of reduction of the dose of fertilization, thus inferring the possibility of minimizing the use of nitrogen fertilizers in the culture when associated with the inoculation of *A. brasilenses*. For phosphorus solubilization nothing was conclusive, requiring longer experiment time for conclusive data.

**Key-words:** Soil Compaction. Microbiological Indicators. *Azospirillum* sp. *Bacillus* sp.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Atributos físicos, avaliados após a coleta do solo contido nos cilindros de PVC ao término do experimento 15
- Tabela 2** – Médias dos tratamentos para os teores de Proteína do Solo Relacionada a Glomalina de difícil extração (PSRG-GT) em  $\text{mg g}^{-1}$  e o teor de Carbono Orgânico Total (COT) em  $\text{g Kg}^{-1}$  obtidos após coleta de solo em cilindros de PVC no término do experimento 16
- Tabela 3** – Médias dos indicadores biológicos de qualidade do solo para cada tratamento, obtidas após a avaliação do solo coletado ao término do experimento. 17
- Tabela 4** – Médias obtidas após a análise química do solo para macronutrientes e micronutrientes utilizado solo após coleta no término do experimento 17
- Tabela 5** – Valores médios de uma planta quanto a sua altura (cm), peso seco da parte aérea (g) e peso seco da raiz (g) 18
- Tabela 6** - Médias obtidas após a análise química do tecido foliar para macronutrientes e micronutrientes utilizado folhas coletadas no terço médio da planta.....19



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
$\mu\text{g C-CO}_2\text{g}$	Micrograma de Carbono por grama de Gás Carbônico Emitido
ADA	Argila Dispersa em Água
$\text{Al}^{3+}$	Alumínio
$\text{BaCl}_2$	Cloreto de Bário
BPCV	Bactérias Promotoras de Crescimento Vegetal
$\text{Ca}^{2+}$	Cálcio
$\text{CaCl}_2$	Cloreto de Calcio
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
cm	Centímetro
$\text{cmolc dm}^{-3}$	Centimol de carga por decímetro cúbico
$\text{CO}_2$	Dióxido de Carbono
COT	Carbono Orgânico Total
CP	Solo compactado densidade $1,6\text{kg dm}^{-3}$
Cu	Cobre
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
DMP	Diâmetro Médio Ponderado
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
Fe	Ferro
$\text{g cm}^{-3}$	Gramas por Centímetro Cúbico
$\text{g dm}^{-3}$	Gramas por Decímetro Cúbico
g	Gramas
$\text{g Kg}^{-1}$	Gramas por Quilo
$\text{gL}^{-1}$	Gramas por Litro
$\text{H}_2\text{O}$	Água
$\text{H}_3\text{PO}_4$	Ácido Fosfórico
IEA	Índice de Estabilidade de Agregados
IN	Sementes Inoculadas com BPCV
$\text{K}^+$	Potássio
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Dicromato de Potássio
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	Difosfato de Potássio

KCl	Cloreto de Potássio
kg dm <sup>-3</sup>	Quilo por Decímetro Cúbico
Kg há <sup>-1</sup>	Quilo por Hectare
m/v	Massa por Volume
mg C-CO <sub>2</sub> g	Miligrama de Carbono por grama de Gás Carbônico Emitido
mg dm <sup>-3</sup>	Miligrama por Decímetro Cúbico
mg g <sup>-1</sup>	Miligrama por Grama
Mg	Magnésio
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de Magnésio
mL kg <sup>-1</sup>	Mililitro por Quilo
mm	Milímetro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Disódio de Potássio
NaCl	Cloreto de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
NBM	Nitrogênio da Biomassa Microbiana
NC	Tratamento de Solo não Compactado
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
NI	Tratamento de sementes não inoculadas
nm	Nanômetro
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NT	Nitrogênio Total
P	Fósforo
PSRG-FE	Proteína do Solo Relacionada a Glomalina de Facil Extração
PSRG-G	Proteína do Solo Relacionada a Glomalina Total
PVC	Polyvinyl Chloride
qCO <sub>2</sub>	Quociente Metabólico
qMIC	Quociente Microbiano
RBS	Respiração Basal do Solo
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
2.1	CULTURA DO MILHO	3
2.2	MANEJO DO SOLO	5
2.3	BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL	6
2.3.1	<i>Azospirillum brasilenses</i>	7
2.3.2	<i>Bacillus</i>	8
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>23</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O constante crescimento populacional traz um novo desafio para a humanidade. Como aumentar a produção de forma sustentável e garantir alimento suficiente para suprir essa demanda. Nesse enfoque, podemos destacar o milho. Uma gramínea anual originária da América Central, utilizada na alimentação animal e humana, sendo o Brasil o terceiro maior produtor desse grão.

Para garantir a produção agrícola, a disponibilidade de nutrientes no solo é torna se essencial. Esses nutrientes são dependentes da quantidade de água presente no perfil do solo e como serão transportados e absorvidos pela planta. Portanto a presença do nutriente não condiciona a sua disponibilidade para a planta, em conjunto espécies vegetais possuem maior afinidade e resposta para determinados elementos.

Dentre esses, o nitrogênio (N), elemento mais absorvido pela cultura do milho, possui influência positiva na produção desse grão, embora o uso de fertilizantes nitrogenados onera o custo de produção e afeta o meio ambiente como a poluição de rios e emissão de gases do efeito estufa. Assim sendo, o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) vem ganhando destaque no conceito de produção sustentável e uso eficiente desse nutriente.

Essas bactérias se associam às plantas ou são de caráter de vida livre no solo. Elas, trazem benefícios através da produção de fitohormônios, solubilização de fosfatos e utilização de nitrogênio para incrementar o potencial produtivo. Dentre essas bactérias, pode se destacar os gêneros *Azospirillum* e *Bacillus*, uma relacionada ao ciclo do nitrogênio e outra ao ciclo de fósforo respectivamente. O Brasil é pioneiro no uso de BPCV e dedica muitos recursos para aprimorar a utilização desses microrganismos na agricultura, já tendo inclusive, lançado inoculantes comerciais de *Azospirillum*.

Para que o desempenho da bactéria e da cultura seja pleno, as condições físicas do solo tornam se essenciais. Um dos principais empecilhos são solos compactados cujo apresentam redução do espaço poroso, o qual afeta a dinâmica da água e ar influenciando negativamente no fluxo de nutrientes, e na vida do solo.

A maior densidade do solo afeta negativamente as relações ecológicas benéficas existentes entre vegetais solo e microrganismos. Dentre essas

à colonização intra e extracelular do vegetal para a promoção de crescimento e o desenvolvimento de microrganismos benéficos que atuam na solubilização de fosfatos e complexação de metais pesados.

Dessa forma, a hipótese do presente estudo é que a compactação do solo limita o fornecimento de nitrogênio às plantas de milho e afetam a colonização de microrganismos. Logo, o objetivo foi avaliar se a compactação do solo afeta o desenvolvimento do milho associado com *Azospirillum* e *Bacillus* e interferem na comunidade microbiana do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma Poaceae originária da América Central e vem sendo domesticado há mais de sete mil anos. Portanto, há grande diversificação genética desta espécie (MURPHY, 2007). Seu grão é utilizado para o consumo *in natura*, alimentação animal e humana sendo entregue em diversas formas como farinhas, amidos, xaropes etc. (SILVEIRA *et al.*, 2015).

Sabendo dos diversos usos dessa gramínea, é a cultura mais produzida no mundo ultrapassando 1,15 bilhões de toneladas abrangendo uma área de 193 milhões de hectares. Nesse cenário produtivo, destacamos países como Estados Unidos (294,268 milhões de toneladas), China (164,730 milhões de toneladas) e Brasil (52,199 milhões de toneladas) (FAOSTAT, 2020). No Brasil, os estados do Mato Grosso, Paraná e Mato Grosso do Sul, são os maiores produtores nacionais, respectivamente (IBGE, 2020).

O crescimento e produção do milho são limitados pela disponibilidade de água, temperatura, fertilidade do solo e radiação solar (PEREIRA FILHO *et al.*, 2010). Também a genética de cada cultivar proporciona diferentes potenciais produtivos devido a diferenças climáticas e diferentes potenciais em absorver e incorporar nutrientes.

Para a cultura do milho, o nitrogênio é o nutriente mais exigido e sua falta limita o crescimento e rendimento de grãos (SILVA; DA SILVA; LIBADI, 2013). A alta exigência da cultura por esse nutriente, onera a produção devido a necessidade de elevadas doses de fertilizantes minerais (MELO; CORÁ; CARDOSO, 2011). Dentre os fertilizantes nitrogenados, a ureia possui alto teor de nitrogênio e menor custo. Porém, seu aproveitamento é baixo devido a perdas principalmente por volatilização pois sua aplicação é na superfície do solo (BONO *et al.*, 2008)

O nitrogênio é 100% absorvido pelo processo de fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980) na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou como amônio ( $\text{NH}_4^+$ ). Quando ocorre o consumo de luxo desse nutriente, a planta fica susceptível ao ataque de patógenos e insetos devido ao estiolamento (HAWKESFORD *et al.*, 2012). Assim, quando ocorrem impedimentos para o crescimento radicular e a absorção do nutriente por fluxo de massa, as perdas de nitrogênio do solo para a atmosfera é

maior.

A cultura necessita de valores entre 40 e 80 Kg ha<sup>-1</sup> mas devido à baixa eficiência de uso do nutriente, oriunda dos processos de perda, é aplicado doses elevadas chegando a 100 a 200 Kg ha<sup>-1</sup> (MARTIN; CUNHA; BUCÃO, 2014). Portanto, a maior aplicação desse nutriente favorece as perdas por volatilização e lixiviação após a saturação dos sítios de absorção na planta.

Também, o fósforo é adicionado em grandes quantias via adubação em números maiores que o extraído pelas plantas devido a capacidade de adsorção dos solos tropicais (SILVA *et al.*, 2017). A falta desse nutriente, acarreta deficiências e alterações morfofisiológicas na raiz reduzindo a interação do sistema com o solo (BUCHER, 2007).

Nesse cenário, o fornecimento de nitrogênio afim de favorecer o crescimento de plantas e suas raízes, permitem o aumento de exsudados, ácidos orgânicos sintetizados, esses, que estão ligados à ciclagem de fósforo (CASALI *et al.*, 2017).

Em contrapartida, considerando que altas doses de nitrogênio aplicados a cultura afeta positivamente os componentes produtivos, a eficiência da adubação nitrogenada é dependente da concentração de fósforo no solo (CIARELLI *et al.*, 1998)

É fato portanto que a concentração de fósforo auxilia na maior absorção de nitrato e que a maior concentração de nitrogênio auxilia na maior solubilização de fosfatos. Portanto métodos alternativos para a utilização desses dois nutrientes são cada dia mais estudadas para incrementar a produção de milho no globo.

Dentre os métodos alternativos, o uso de bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) ganha destaque como a utilização de cepas de *Azospirillum brasilense* e *Bacillus* uma promotora de crescimento vegetal, auxiliando no uso do nitrogênio e outra solubilizadora de fosfatos respectivamente.

Portanto, proporcionar condições ideais para o crescimento microbiano no solo, pode auxiliar na dinâmica de nitrogênio e fósforo no solo afim de agregar positivamente a disponibilidade desses nutrientes reflexando em ganhos produtivos.

## 2.2 MANEJO DO SOLO

A substituição de ambientes naturais para a utilização agropecuária, causa um forte impacto nos atributos do solo, resultando na perda de ecossistemas complexos em áreas degradadas (SAMBUICHI *et al.*, 2012). Essa degradação, repercute em perdas econômicas na região além de impactar os atributos físico-químicos e biológicos do solo.

A degradação física do solo em sistemas agrícolas leva ao aumento da densidade, redução da matéria orgânica, da porosidade e da movimentação de água no solo. Isso eleva a resistência à penetração das raízes (REIS *et al.*, 2009; AQUINO *et al.*, 2014; SOARES *et al.*, 2016) afeta a disponibilidade de nutrientes e, conseqüentemente, a fertilidade do solo (BÜNEMANN *et al.*, 2018; PORTUGAL *et al.*, 2015; SALTON *et al.*, 2008). Adicionalmente, afeta negativamente a atividade microbiana do solo (PAZ LIMA *et al.*, 2018), o estoque de carbono e a ciclagem de nutrientes (LI *et al.*, 2018; JEANBILLE *et al.*, 2016; MOOSHAMMER *et al.*, 2014).

A biota do solo é altamente suscetível a alterações ambientais. Nela, está incluída a macrofauna como insetos e minhocas e os microrganismos como fungos, bactérias, oomicetos, actinobactérias, microalgas e protozoários que atuam de forma benéfica ou patogênica na planta e influenciam a dinâmica do solo pois atuam na disponibilidade de nutrientes, processos de agregação do solo e estabelecem relações benéficas com os vegetais.

A microbiota do solo é altamente influenciada pela rizosfera devido à cobertura vegetal e aos exsudados liberados pelo sistema radicular (BERENDSEN; PIETERSE; BAKKER, 2012), que estimulam a proliferação da comunidade bacteriana. A microbiota, contudo, auxilia na cimentação das partículas de solo, sequestro de carbono, mineralização de nitrogênio e disponibilização de nutrientes para as plantas através de processos de solubilização.

Sabendo dos impactos causados pela transformação de ambientes naturais para agricultáveis e a inevitável degradação do solo, o uso de microrganismos inoculados via semente ou aplicados em sulco de plantio visam a mitigação desses impactos. Dessa forma, seguindo os preceitos de conservação do solo e sustentabilidade os processos biológicos introduzidos no sistema agrícola apresentam grande potencial de restauração de ambientes degradados (BURAK *et al.*, 2021).



Portanto a utilização de técnicas biotecnológicas como o uso de microrganismos promotores de crescimento vegetal, torna se uma prática economicamente viável para a recuperação de áreas degradadas. Assim estes atuam em processos

Assim os microrganismos envolvidos devido ao envolvimento de processos ecológicos que priorizam processos microbiológicos, ciclagem de nutrientes (OLIVARES *et al.*, 2017; CANFORA *et al.*, 2021).

### 2.3 BACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL

Na busca de produções com o mínimo de impacto possível, o uso de manejos com a utilização de bioinsumos ganha destaque no âmbito sustentável. Assim a utilização de bactérias na agricultura proporciona estimular o crescimento vegetal em vários estádios do seu ciclo (VELLOSO *et al.*, 2019).

Bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV) são caracterizadas por serem um grupo de microrganismos que estabelecem relações ecológicas benéficas a fim de atuar no melhor desenvolvimento da planta pela síntese de fitormônios, promovendo resistência a patógenos e a estresses bióticos e abióticos, atenuando o emprego de pesticidas e fertilizantes (KLOEPPER; LIFSHITZ; ZABLOTOWICZ, 1989; ALORI, BABALOLA, 2018; SINGH *et al.*, 2016).

Fertilizantes minerais comumente elevam o custo de produção e são exigidos em grandes proporções como os nitrogenados e fosfatados. Na cultura do milho, a adubação nitrogenada e fosfatada onera a produção devido à alta exigência da cultura por esse elemento, gastos com importação e decorrentes as perdas por volatilização (N) e complexação do nutriente no solo (P) (ROSA, 2017).

Nesse cenário, o Brasil vem desde a década de 50 isolando potenciais cepas que atuam como promotoras de crescimento vegetal, principalmente para o aporte de nitrogênio (BALDANI; BALDANI, 2005; DÖBEREINER, 1966; HUNGRIA *et al.*, 2010). Em um cenário mais atual, a utilização de bactérias do gênero *Bacillus* atuam na solubilização e mineralização de fósforo maximizando o aproveitamento do nutriente (BINI *et al.*, 2021).

O uso dessas BPCV permite que a planta aumente a superfície de absorção radicular devido a alterações morfológicas na raiz e metabólicas na planta, fixação biológica de nitrogênio (FBN), solubilização de fosfatos nos solos, produção

de fitormônios, modulação da atividade patogênica, tolerância a estresse hídrico, salinidade, metais pesados e agroquímicos (AHEMAD; KIBRET, 2014; BASHAN *et al.*, 2008; COMPANT; CLÉMENT; SESSITSCH, 2010; GLICK, 2012; IKEDA, 2010; KASIM *et al.*, 2013).

Os processos benéficos do uso de BPCV para as plantas são influenciados pelas interações biológicas e ambientais. A comunidade microbiana do solo afeta a colonização das BPCV devido à competição entre as bactérias benéficas e outros microrganismos presentes no solo e características físico-químicas do solo que influenciam na comunidade microbiana e interferem no efeito de BPCV (SOUZA; AMBROSINI; PASSAGLIA, 2015). Também o genótipo da planta interfere no modo de ação das BPCV (GARCÍA-FRAILE; MENÉNDEZ; RIVAS, 2015; VACHERON *et al.*, 2013). Portanto, a interação BPCV é altamente influenciada pelo clima, uso do solo e genótipo utilizado.

Os dados sobre a utilização dessas bactérias são inconsistentes devido a variação de dados de acordo com a cultivar, condições edafoclimáticas e a metodologia de condução da pesquisa (FIORI *et al.*, 2011; REPKE *et al.*, 2013). Portanto, trabalhos trazem os benefícios da utilização desses microrganismos para as diversas funções biológicas promovidas por essas bactérias. Santos *et al.*, (2013) observaram o efeito positivo do uso de microrganismos promotores de crescimento no crescimento vegetal, principalmente para atributos radiculares.

Dentre os diversos gêneros de BPCV descritos, destaca-se os *Acetobacter*, *Achromobacter*, *Anabaena*, *Arthrobacter*, *Azoarcus*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Burkholderia*, *Clostridium*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Frankia*, *Hydrogenophaga*, *Kluyvera*, *Microcoleus*, *Phyllobacterium*, *Pseudomonas*, *Serratia*, *Staphylococcus*, *Streptomyces* e *Vibrio* (BASHAN *et al.*, 2008).

### 2.3.1 *Azospirillum brasilenses*

O gênero *Azospirillum* engloba espécies amplamente utilizadas na agricultura que são caracterizadas por serem de vida livre gram-negativas, aeróbicas, vibróides e atuam como promotoras de crescimento de plantas através da fixação de nitrogênio, produção de fitormônios, produção de sideróforos e melhoram a eficiência do uso de nutrientes (REIS; PEDRAZA; TEIXEIRA, 2010).

O gênero *Azospirillum* ganha destaque desde sua descoberta pela

doutora Johanna Döbereiner em 1976 (DÖBEREINE, MARRIEL, NERY, 1976; DÖBEREINE; DAY 1976; HUNGRIA *et al.*, 2011) e vem sendo pesquisado seus benefícios para o rendimento das culturas e suas causas fisiológicas (GARCIA-OLIVARES *et al.*, 2007) onde em até 2010, 15 cepas desse gênero foram descritas (REIS *et al.*, 2010). Atualmente mais de 25 gêneros foram descritos.

O grande interesse na utilização desse gênero de bactérias é pelo complexo da dinitrogenase que realiza a conversão de nitrogênio atmosférico em amônia. Cabe salientar que apenas uma parte do nitrogênio assimilado é secretado pelas bactérias para a utilização da planta (HUNGRIA *et al.*, 2007; HUNGRIA, 2011).

Além do maior aporte de nitrogênio disponibilizado por *Azospirillum*, a produção de fitohormônios estimulam o crescimento de raízes implicando na maior absorção de água e nutrientes e resistência a estresse hídrico e salinidade (HUNGRIA *et al.*, 2011; BASHAN *et al.*, 2004). Esses efeitos ainda refletem em uma maior resistência a patógenos (CORREA *et al.*, 2008).

O uso desse gênero torna se imprescindível para o aumento de produção visto os benéficos decorrentes de sua utilização. Hungria, (2011) menciona os benefícios da inoculação via semente de *A. brasilenses*, reduzindo o uso de fertilizantes nitrogenados e mitigando a emissão de gases do efeito estufa. No geral, aumenta o ganho líquido do produtor e contribui para a agricultura mais sustentável.

### 2.3.2 *Bacillus*

*Bacillus* spp. são bactérias gram positivas, formadoras de endósporos e apresentam diversos tamanhos e formas seguindo um padrão de extremidades arredondadas (MELLO, 1998). São amplamente diversas no solo e se reproduzem em diversos ambientes, ou seja, na rizosfera, filoplano e em tecidos internos possuindo como característica uma ampla resistência a extremos de pH e temperatura (SILVA *et al.*, 2008; BALBINOT, 2018).

Dessa forma, são promissoras na produção de inoculantes microbianos, pois amenizam ou até mesmo eliminam os efeitos do estresse salino, hídrico e oxidativo. Também atuam como promotores de crescimento vegetal, pois desenvolvem o sistema morfofisiológico e as interações bioquímicas da planta (GHYSELINCK *et al.*, 2013; TIWARI, PRASAD, LATA, 2019). Outro uso de *Bacillus* na agricultura ainda abrange o controle biológico de pragas e doenças devido a

produção de proteínas, antibióticos e compostos secundários (BUCHELT *et al.*, 2019).

Dentre os benefícios referentes a esse gênero, destaca se também a solubilização/mineralização de fósforo no solo. Essas atuam em processos que podem suprir parcialmente a demanda da cultura pelo nutriente. Para isso, algumas espécies do gênero *Bacillus* liberam ácidos orgânicos e inorgânicos capazes de liberar P contido em óxidos e ou pela liberação de enzimas liberando fósforo presente na matéria orgânica (BINI *et al.*, 2021).

Outro potencial benéfico do gênero *Bacillus* é demonstrado por Hashem, Tabassum, Abd Allah, (2019) que verificaram um aumento da fixação biológica de nitrogênio, indução de genes de resposta a stress hídrico e aumento de fitohormônios e sideróforos responsáveis pelo crescimento de plantas. Esse papel confere maior resistência da planta colonizada por esses microrganismos a condições de estresse biótico e abiótico.

Essas por sua vez são estáveis no solo devido a capacidade da formação de endósporos quando submetidas a condições adversas (temperatura, umidade e produtos químicos) (BAHADIR *et al.*, 2018). Além dessa capacidade, é atribuído a esse gênero uma alta capacidade de colonização da rizosfera do milho, agregando conseqüentemente no desenvolvimento da parte aérea e radicular conferindo maior capacidade de produção do vegetal (SOUSA *et al.*, 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (23°20'36"S 51°13'02"O), no município de Londrina, Paraná, Brasil.

Para o experimento, foram utilizados cilindros de PVC, preenchidos com material seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm, coletado na camada de 0 – 20 cm em um Latossolo Vermelho muito argiloso (62% Argila – 29,5% Silte – 8,5% Areia). O solo coletado foi submetido a análises físicas biológicas e químicas antes da confecção dos vasos cujo as análises físicas estudadas foram: Índice de estabilidade de agregados (IEA)=77,2%; Diâmetro Médio Ponderado (DMP)=1,25mm; Diâmetro Médio Geométrico (DMG)=1,3mm; Argila Dispersa em Água(ADA)=148,2g kg<sup>-1</sup>; Densidade de Partícula (DP)= 2,44g cm<sup>-3</sup> (CLAESSEN, 1997). Biológicas: Proteína do Solo Relacionada a Glomalina total e facilmente extraível (PSRG – T/FE) = 3,39mg g<sup>-1</sup>, 0,78mg g<sup>-1</sup> respectivamente; Carbono Orgânico Total (COT)= 21,19 g dm<sup>-3</sup>; Respiração Basal do Solo (RBS) = 10,86 µg C-CO<sub>2</sub>g solo seco<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>; Quociente microbiano (qMic)= 1,75%; Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)= 0,03 mg C-CO<sub>2</sub>g<sup>-1</sup> CBM dia<sup>-1</sup>; Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)= 371,59 mg kg<sup>-1</sup>; Nitrogênio da Biomassa Microbiana (NBM)= 28,98 mg kg<sup>-1</sup>. Químicas: Fósforo (P)= 14,92 mg dm<sup>-3</sup>; Alumínio (Al)= 0,03 cmolc dm<sup>-3</sup>; Hidrogênio + Alumínio (H+Al)= 9,98 cmolc dm<sup>-3</sup>; Calcio (Ca) 5,91 cmolc dm<sup>-3</sup>; Magnésio (Mg) 2,3 cmolc dm<sup>-3</sup> e Potássio (K) 0,14 cmolc dm<sup>-3</sup>

Esse solo foi acondicionado em cilindros de PVC cujo as medidas são: 10cm de altura e 14,4cm de diâmetro. Posteriormente, 2400g de solo seco foi despejado em cada vaso e com auxílio de um bastão de madeira foi compactado para a densidade 1,6 kg dm<sup>-3</sup> e para o tratamento não compactado o solo foi apenas despejado nos cilindros com a mesma massa utilizada para os cilindros com maior densidade. Para atingir a densidade de 1,6 kg dm<sup>-3</sup>, foi utilizada a seguinte expressão: Densidade desejada=M/(Vol (h.π.r<sup>2</sup>))→Densidade desejada=(2400g (Solo seco))/(h\*3,15\*7,20<sup>2</sup>).

Para atingir a massa seca, determinou-se, inicialmente a umidade do solo para conhecer a massa de água existente e, posteriormente ser descontado do valor final de “M” (massa solo seco). Com a massa de solo seco e a densidade desejada conhecidas, utilizamos a variável altura como parâmetro indicativo da

quantidade de solo a ser adicionado e compactado em cada cilindro até atingir a densidade desejada.

Os inoculantes utilizados foram preparados no Laboratório de Fermentações da Universidade Estadual de Londrina e aplicados diretamente sobre as sementes de milho (AG1051), na concentração de 5mL kg<sup>-1</sup> de semente, 12 horas antes da semeadura. Para o preparo do inoculante, foram utilizadas bactérias promotoras do crescimento de plantas. O inoculante foi preparado com a mistura de três bactérias sendo essas: *Bacillus* sp. estirpe ZK (não diazotrófica) e estirpes Ab-V5 e Ab-V6 de *Azospirillum brasilense*, ambas com capacidade diazotrófica e registradas para uso comercial em milho. Essas linhagens estão depositadas na “Coleção de Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal da Universidade Estadual de Londrina/CBPCV-UEL”, Londrina, Paraná, Brasil.

Os inoculantes foram preparados a partir de células criopreservadas, crescidas em pré-inóculo de 5ml em meio líquido Dygs (gL<sup>-1</sup>: glicose, 2,0; ácido málico, 2,0; extrato de levedura, 2,0; ácido glutâmico, 1,5; peptona, 1,5; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0,5; MgSO<sub>4</sub>, 0,5; pH 6,8) cultivado sob agitação orbital de 180 rpm por 24 horas a 28 ± 2°C. A partir do pré inóculo, foram preparados os cultivos para formulação dos inoculantes em meio de cultivo MCA4 (patente depositada no INPI pela UEL sob número BR1020140171746), em volume de 50 ml e mantidas sob agitação orbital de 180 rpm por 72 horas a 28 ± 2°C. Os inoculantes foram preparados a partir dos cultivos produzidos em meio MCA4, por diluição em solução de sacarose e glicerol em tampão fosfato (NaCl, 5gL<sup>-1</sup>; KCl, 0,2 gL<sup>-1</sup>; Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 1,15 gL<sup>-1</sup>; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,2 gL<sup>-1</sup>; sacarose, 50 gL<sup>-1</sup> glicerol, 10 gL<sup>-1</sup>; pH 7,3), para uma concentração final de células de 1x10<sup>8</sup> células de cada estirpe utilizada, conforme o inoculante produzido.

Para a manutenção de nutrientes em todos os vasos, foi adicionado 20mL de uma solução nutritiva a cada três dias durante os primeiros quinze dias e posteriormente com intervalo de 5 dias até o término do experimento. Essa solução foi preparada a partir de soluções a 1N, todas sem nitrogênio em sua composição para podermos aplicar duas doses de nitrogênio. As soluções foram compostas por 1mL KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2 mL MgSO<sub>4</sub>, 5mL KCl, 5mL CaCl<sub>2</sub>, 1mL micronutrientes 1mL de Fe-EDTA e 1mL de ureia dissolvida (2,22g de ureia por 1ml de água destilada). Para a meia dose de nitrogênio foi adicionado 0,5ml de ureia dissolvida.

O experimento foi disposto em um delineamento inteiramente casualizado com dois níveis de densidade do solo, sementes inoculadas e não

inoculadas e adubação completa e meia dose de nitrogênio onde: CP: Solo compactado densidade  $1,6\text{kg dm}^{-3}$ ; NC: Solo não compactado; IN: Sementes inoculadas com BPCV; NI: Sementes sem inoculação; 100%N: Adubação completa de nitrogênio; 50%N: Meia dose da adubação nitrogenada. Dessa forma foi composto os 8 tratamentos possíveis onde: 1: CP+IN+100%N; 2: NC+IN+100%N; 3: CP+IN+50%N; 4: NC+IN+50%N; 5: CP+NI+100%N; 6: NC+NI+100%N; 7: CP+NI+50%N; 8: NC+NI+50%N.

No início do estágio reprodutivo, o experimento foi encerrado. A parte aérea e radicular foram separadas para análise de tecido foliar coletadas no terço médio da planta e obtido o peso seco de ambas. Também foi coletado solo para as análises químicas físicas e biológicas.

As análises físicas do solo foram feitas de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa, (CLAESSEN, 1997) O índice de estabilidade de agregados foi obtido através da metodologia de tamisagem úmida com determinação de agregados retidos em cada peneira, expresso na seguinte ordem: 4-2mm; 2-1mm; 1-0,50mm; 0,50-0,25mm. A análise granulométrica foi feita com o método da pipeta com agitação lenta, onde 50 g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) foi transferida para um recipiente de agitação e acrescido 90 ml de água destilada e 10 ml de hidróxido de sódio (NaOH 1N), agitando-se por 16 horas. Posteriormente, o solo e a solução foram transferidos para provetas de 1000mL e o volume foi completado com água destilada, submetendo a agitação por 30 segundos e em repouso por 4 minutos para a sedimentação da areia, retirando 10mL da solução a 10cm de profundidade para obtenção da fração silte. Após 4 horas de repouso é retirada uma alíquota de 10mL a 5cm de profundidade para obter a fração argila. Ambas as amostras foram colocadas para secar em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas e posteriormente pesadas.

Para a determinação de argila dispersa em água, utilizou-se a mesma metodologia descrita acima, porém sem adição de NaOH 1N retirando uma alíquota de 10mL apenas após 4 horas de repouso a 5cm de profundidade e colocada para secagem conforme acima.

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico que consiste em alocar 20g de TFSA em um balão volumétrico e adicionar 25mL de álcool etílico  $96^{\circ}\text{GL}$ , agitar suavemente por aproximadamente 1 minuto para a eliminação de bolhas e deixar em repouso por 24 horas.

Posteriormente, completar com álcool até o menisco do balão e anotar o volume de álcool consumido.

Das análises químicas, o carbono orgânico total (COT) foi obtido através da redução do dicromato, descrita por Walkley & Black (1934), utilizando um Erlenmeyer contendo 0,5g de solo de cada tratamento e um sem solo como testemunha branco, adicionando 10ml de  $K_2Cr_2O_7$  1N e 10mL de  $H_2SO_4$  concentrado e deixado em repouso por 30 minutos; Após essa etapa foi adicionado 50mL de  $H_2O$  destilada e 3mL de  $H_3PO_4$ . Antes da titulação, foi adicionado três gotas do indicador difenilamina 1%, e tituladas com sulfato ferroso amoniacal  $0,4mol L^{-1}$ .

A determinação de Glomalina, quantificada como proteína do solo relacionada a Glomalina (PSRG), constitui-se de duas frações: PSRG facilmente extraível (PSRG-GFE) e Glomalina total (PSRG-GT), diferenciadas pelo método de extração ambos utilizando 1g de solo em tubos falcon. Para a fração facilmente extraída (PSRG-GFE), foi adicionado 8ml de citrato de sódio 20mM – pH 7,4, autoclavado a  $121^\circ C$  por 30 minutos e retirado o sobrenadante após a centrifugação a 5000rpm durante 20 minutos. Para obtenção da Glomalina total (PSRG-GT) foi adicionado 8mL de citrato de sódio 50mM – pH 8,0, autoclavado a  $121^\circ C$  por 60 minutos e, posteriormente, centrifugado a 5000rpm durante 20 minutos, necessitando de mais ciclos de autoclavagem para a extração total. A extração total é caracterizada pela cor amarelo claro do sobrenadante. Após cada ciclo, o sobrenadante foi guardado e homogeneizado. Para o solo estudado, foram necessários 4 ciclos de extração. A quantificação foi feita de acordo com o método de determinação de proteínas de Bradford (1976) e a leitura realizada em espectrofotômetro (595nm).

Para a respiração basal do solo (RBS) o solo coletado, foi umedecido até atingir mais de 60% da capacidade de campo e transferido 50g de solo para um recipiente vedado, onde o solo ficou incubado no escuro junto com um outro recipiente contendo 10mL de NaOH 1M durante cinco dias, frascos sem solo foi utilizado como o branco. Após a incubação, foi adicionado 2mL de  $BaCl_2$  10% para a completa precipitação do  $CO_2$  e já adicionado 2 gotas de fenolftaleína 1%(m/v) e titulado sob agitação com ácido clorídrico 0,5M fazendo com que a solução rosa, torne-se translúcida.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi obtido seguindo o método de fumigação-extração (VANCE; BROOKES; JENKINSON, 1987), obtendo



os teores de carbono através de análise colorimétrica em espectrofotômetro a 495nm e obtendo o valor de CBM através da diferença do carbono lábil das amostras fumigadas subtraído pelo valor lábil das amostras não fumigadas.

O nitrogênio da biomassa microbiana (NBM) também foi obtido pelo método de fumigação-extração. os teores do NBM foram obtidos pela relação da quantidade de nitrogênio determinada nas amostras fumigadas, subtraído pela quantidade de nitrogênio presente avaliado através de análise colorimétrica em espectrofotômetro a 630nm.

O quociente metabólico foi determinado pela relação do Carbono da Biomassa Microbiana pelo Carbono Orgânico Total  $CBM/COT$  e o quociente microbiano foi determinado pela relação da Respiração Basal do Solo pelo Carbono da Biomassa Microbiana  $RBS/CBM$ .

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A degradação física do solo decorrente da compactação exercida nos tratamentos 1 – 3 – 5 e 7 causou distúrbios na geometria e distribuição dos agregados e, portanto, os maiores valores de DMP e DMG. Estes tratamentos apresentaram os maiores índices de ADA conforme a tabela 1.

Tabela 1: Atributos físicos, avaliados após a coleta do solo contido nos cilindros de PVC ao término do experimento

<b>Tratamento</b>	<b>ADA</b> g kg <sup>-1</sup>	<b>IEA</b> %	<b>DMP</b> mm	<b>DMG</b> mm
1. CP+IN+100%N	182,9 a*	83,4 a	2,9 a	2,5 a
2. NC+IN+100%N	152,8 b	86,1 a	1,7 b	1,8 b
3. CP+IN+50%N	178,5 a	83,7 a	2,8 a	2,4 a
4. NC+IN+50%N	152,7 b	85,1 a	1,5 b	1,6 b
5. CP+NI+100%N	173,8 a	84,4 a	3,1 a	2,9 a
6. NC+NI+100%N	146,0 b	85,0 a	1,6 b	1,7 b
7. CP+NI+50%N	176,6 a	85,0 a	2,9 a	2,4 a
8. NC+NI+50%N	148,1 b	86,5 a	1,6 b	1,7 b
CV%	2,64	1,75	6,77	8,32

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey 5%. ADA: Argila Dispersa em Água, IEA: Índice de Estabilidade de Agregados, DMP: Diâmetro Médio Ponderado, DMG: Diâmetro Médio Geométrico.

O maior diâmetro de agregados e acúmulo de argila dispersa eleva a resistência mecânica do solo, reduz a porosidade e a continuação dos mesmos afetando o desenvolvimento radicular de plantas (BOUWMAN; ARTS, 2000; CORTEZ *et al.*, 2011; HICKMANN *et al.*, 2011). A elevada compactação do solo além de afetar a qualidade física do solo, influencia diretamente em sua qualidade biológica e química.

Portanto os atributos biológicos estudados sofreram alterações após a compactação do solo nos vasos. Dentre esses, a proteína do solo relacionada a glomalina de fácil extração (PSRG-FE) foi menor nos tratamentos cujo solo foi compactado (Tabela 2). Essa proteína é constantemente produzida no solo por

microrganismos (KOIDE; PEOPLES, 2013), assim pode se atribuir a baixa concentração de PSRG-FE devido a redução da porosidade oriunda da compactação e a baixa atuação dos microrganismos.

Tabela 2: Médias dos tratamentos para os teores de Proteína do Solo Relacionada a Glomalina de difícil extração (PSRG-GT) em  $\text{mg g}^{-1}$  e o teor de Carbono Orgânico Total (COT) em  $\text{g Kg}^{-1}$  obtidos após coleta de solo em cilindros de PVC no término do experimento

<b>Tratamento</b>	<b>PSRG-FE</b> $\text{mg g}^{-1}$	<b>PSRG-GT</b> $\text{mg g}^{-1}$
1. CP+IN+100%N	0,46 d*	3,5 a
2. NC+IN+100%N	0,82 a	3,7 a
3. CP+IN+50%N	0,70 ab	3,6 a
4. NC+IN+50%N	0,65 abc	3,6 a
5. CP+NI+100%N	0,59 bcd	3,5 a
6. NC+NI+100%N	0,48 cd	3,6 a
7. CP+NI+50%N	0,4 cd	3,6 a
8. NC+NI+50%N	0,56 bcd	3,7 a
<b>CV%</b>	4,86	7,01

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey 5%.

Na tabela 2 foi encontrado diferença estatística para a respiração basal do solo (RBS) nos tratamentos com solo compactado e não compactado. Islam; Weil (2000), mencionam que a RBS indica alterações ecológicas como perturbações no ambiente. Assim, o estresse ecológico causado pela compactação é evidenciado pela RBS e quando avaliado o  $\text{qCO}_2$ , cujo tratamentos que possuíam maior densidade apresentaram maior  $\text{qCO}_2$ .

Dessa forma quanto menos  $\text{CO}_2$  é perdido para a atmosfera, mais carbono é incorporado a biomassa microbiana. Não foi observado diferença estatística entre os tratamentos para  $\text{qCO}_2$  e carbono da biomassa microbiana (CBM), entretanto nota se um decréscimo da incorporação de carbono na biomassa microbiana nos tratamentos com maior densidade do solo, comprovado pelo maior  $\text{qCO}_2$ . Não houve diferença estatística para o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM). Portanto sugere que para dados mais conclusivos um maior tempo de

experimento é necessário.

Tabela 3: Médias dos indicadores biológicos de qualidade do solo para cada tratamento, obtidas após a avaliação do solo coletado ao término do experimento.

Tratamento	CBM	NBM	RBS	COT	qMic	qCO <sub>2</sub>
	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	µg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%	µg C-CO <sub>2</sub> g <sup>-1</sup>
1. CP+IN+100%N	350,9 a*	27,4 a	13,6 a	23,1 a	1,52 a	0,04 a
2. NC+IN+100%N	380,1 a	29,5 a	10,2 b	23,6 a	1,61 a	0,03 a
3. CP+IN+50%N	365,6 a	27,5 a	13,8 a	24,3 a	1,51 a	0,04 a
4. NC+IN+50%N	378,1 a	31,2 a	10,2 b	25,5 a	1,49 a	0,03 a
5. CP+NI+100%N	344,6 a	28,5 a	13,4 a	23,1 a	1,99 a	0,04 a
6. NC+NI+100%N	366,9 a	30,0 a	10,1 b	23,3 a	1,58 a	0,03 a
7. CP+NI+50%N	346,5 a	28,5 a	12,6 a	22,8 a	1,51 a	0,04 a
8. NC+NI+50%N	379,1 a	30,4 a	10,1 b	23,6 a	1,61 a	0,03 a
CV%	7,79	5,13	4,82	7,41	11,89	9,17

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey 5%.

A redução do espaço poroso do solo oriunda da compactação e consequente redução de oxigênio no perfil desses tratamentos, favoreceu a formação de íons reduzidos na solução do solo. Nesse processo pode se destacar o manganês e o ferro (Tabela 4) que são utilizados como receptores de eletros em solos em anaerobiose devido à falta de oxigênio presente no perfil dos tratamentos estudados. Ponnampuruma (1972) comenta que microrganismos utilizam outros receptores de elétrons na falta de oxigênio durante sua respiração e ou fermentação indisponibilizando para plantas.

Assim, o processo de oxirredução aumentou a concentração de Fe e Mn no solo devido a sua redução e indisponibilidade para a planta (MIYAZAWA *et al.*, 1993; VALICHESKI *et al.*, 2011).

Tabela 4: Médias obtidas após a análise química do solo para macronutrientes e micronutrientes utilizado solo após coleta no término do experimento

Trat.	NT	P	pH	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Fe	Cu	Mn	Zn
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	cmolc dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
1	0,8 ab*	22,7 a	6,4 ab	3,95 a	0,05 a	1,8 a	0,7 a	9,3 bc	1,3 ab	59,3 a	1,93a
2	0,9 abc	22,6 a	6,5 ab	4,10 a	0,05 a	1,8 a	0,3 b	7,6 cd	1,1 b	18,6 b	1,8 a

3	0,9 abc	21,0 a	6,1 b	4,14 a	0,04 a	1,7 a	0,6 a	10,1 b	1,4 a	64,4 a	1,5 a
4	0,9 abc	21,9 a	6,1 b	4,10 a	0,05 a	1,7 a	0,4 b	7,5 cd	1,1 b	19,1 b	1,8 a
5	0,9 abc	20,3 ab	6,1 b	3,88 a	0,04 a	1,8 a	0,6 a	11,0 b	1,4 a	48,4 a	2,0 a
6	0,8 c	21,4 a	6,1 b	4,12 a	0,05 a	1,7 a	0,2 b	7,43 d	1,1 b	18,4 b	1,91a
7	1,0 a	17,0 b	6,6 a	4,21 a	0,04 a	1,7 a	0,7 a	13,4 a	1,5 a	55,8 a	1,8a
8	0,9 bc	22,8 a	6,4 ab	4,17 a	0,05 a	1,7 a	0,3 b	7,1 d	1,1 b	18,7 b	1,9 a
CV%	7,84	8,37	2,51	4,87	29,61	21,42	21,43	9,77	9,98	29,47	17,70

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey 5%. **Tratamentos:** 1: CP+IN+100%N; 2: NC+IN+100%N; 3: CP+IN+50%N; 4: NC+IN+50%N; 5: CP+NI+100%N; 6: NC+NI+100%N; 7: CP+NI+50%N; 8: NC+NI+50%N; onde: **CP:** Solo compactado densidade 1,6kg dm<sup>-3</sup>; **NC:** Solo não compactado densidade 1,0kg dm<sup>-3</sup>; **IN:** Sementes inoculadas com *Azospirillum* e *Bacillus*; **NI:** Sementes sem inoculação; **100%N:** Adubação completa de nitrogênio; **50%N:** Meia dose da adubação nitrogenada.

A compactação do solo também altera a eficiência dos mecanismos de contato íon-raiz, impedindo a melhor eficiência de absorção de nutrientes. Nota se na tabela 5 que quanto maior a área explorada pela raiz (maior peso seco da raiz), maior será a quantidade de nutrientes absorvidos (Tabela 6) e assim repercutindo no desenvolvimento vegetal.

Tabela 5: Valores médios de uma planta quanto a sua altura (cm), peso seco da parte aérea (g) e peso seco da raiz (g).

Tratamento	Altura de planta (cm)	Peso Seco PA (g)	Peso seco Raiz (g)
1. CP+IN+100%N	68,18 b*	74,71 e	26,45 a
2. NC+IN+100%N	147,2 a	549,76 c	126,22 b
3. CP+IN+50%N	73,26 b	61,19 ef	22,49 a
4. NC+IN+50%N	151,44 a	634,03 b	144,78 bc
5. CP+NI+100%N	58,52 b	48,21 f	37,10 a
6. NC+NI+100%N	146,61 a	516,00 d	133,43 b
7. CP+NI+50%N	59,13 b	51,44 ef	25,20 a
8. NC+NI+50%N	156,53 a	689,92 a	167,76 c
CV%	7,37	2,78	10,16

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey 5%.

Na tabela 6 é apresentado os dados da análise química do tecido foliar, pode se relacionar essa tabela com os dados obtidos da análise química do

solo (Tabela 5). Os tratamentos sem compactação do solo (2 – 4 – 6 – 8) apresentaram os maiores teores de nutrientes no tecido foliar, ao passo que na análise química do solo, esses tratamentos apresentam os menores teores.

Quando não existe impedimento físico para que as rotas de absorção se concretizem e que haja o crescimento radicular, se espera a maior absorção de nutrientes do solo e melhor desenvolvimento vegetal. Assim pode se observar na Tabela 6 que os tratamentos cujo houve a compactação, apresentaram menor concentração de nutrientes nas folhas devido ao impedimento de crescimento radicular e posterior absorção.

Tabela 6: Médias obtidas após a análise química do tecido foliar para macronutrientes e micronutrientes utilizado folhas coletadas no terço médio da planta.

Trat	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
1	16,6 ab*	3,4 bc	11,8 a	12,7 cd	2,6 a	209,9 c	38,9 e	0,2 d	23,0 b
2	34,2 a	3,2 bc	10,5 a	25,3 b	2,3 a	521,1 b	115,0 c	1,2 ab	32,0 a
3	17,9 ab	4,1 a	8,7 a	7,8 d	2,2 a	152,0 c	18,3 f	0,2 d	21,7 b
4	34,9 a	3,1 c	12,7 a	31,4 a	2,9 a	575,3 b	148,9 b	1,1 b	20,4 b
5	13,7 b	3,7 ab	12,8 a	14,9 c	2,7 a	508,1 b	86,2 d	0,4 d	19,9 b
6	28,2 ab	3,4 bc	13,2 a	21,5 b	2,6 a	499,7 b	169,9 a	1,2 ab	22,8 b
7	20,9 ab	3,6 ab	12,7 a	11,5 cd	2,6 a	915,3 a	135,9 b	0,7 c	22,5 b
8	27,6 ab	3,4 bc	12,2 a	27,0 ab	2,9 a	492,6 b	181,6 a	1,4 a	23,0 b
CV%	27,07	4,95	20,96	11,21	14,82	15,23	4,32	12,18	6,27

\*Médias seguidas das mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de tukey 5%. **Tratamentos:** 1: CP+IN+100%N; 2: NC+IN+100%N; 3: CP+IN+50%N; 4: NC+IN+50%N; 5: CP+NI+100%N; 6: NC+NI+100%N; 7: CP+NI+50%N; 8: NC+NI+50%N; onde: **CP:** Solo compactado densidade 1,6kg dm<sup>-3</sup>; **NC:** Solo não compactado densidade 1,0kg dmc<sup>-3</sup>; **IN:** Sementes inoculadas com *Azospirillum* e *Bacillus*; **NI:** Sementes sem inoculação; **100%N:** Adubação completa de nitrogênio; **50%N:** Meia dose da adubação nitrogenada.

A concentração de nitrogênio foliar nos diferentes tratamentos entrega que a inoculação associada à 50% da dose de N foi capaz de fornecer tanto nitrogênio quanto 100% da dose sem inoculante. Entretanto, o benefício da inoculação no fornecimento de N também depende de condições físicas favoráveis ao desenvolvimento das raízes.

Sabendo que a compactação do solo constitui um fator limitante para o desenvolvimento vegetativo, Carneiro *et al*, (2018) verificaram que o aumento da

densidade do solo ( $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$ ) reduz o desenvolvimento radicular e a produção de matéria seca total devido a menor área de solo explorada pelo sistema radicular. A compactação e conseqüente redução da porosidade do solo está relacionada ao desenvolvimento e estabelecimento das culturas, interferindo nas condições químicas e biológica do solo (TOKURA *et al.*, 2021)

A baixa concentração de oxigênio no solo oriunda da compactação gera a formação de formas reduzidas de ferro e manganês o deixando indisponível para a absorção de plantas (MARTINEZ; MAROTTA; MANGAS, 2021). O potencial de transferência de elétrons do ferro e manganês promove a sua oxidação e posterior precipitação na forma de óxidos, hidróxidos e oxihidróxidos influenciando em sua solubilidade e disponibilidade para a planta (NUNES; RESENDE, 2015; LIVERA *et al.*, 2011).

Os atributos biológicos de qualidade do solo indicam a perturbação decorrente da compactação do solo. Embora não tenha diferença significativa entre na concentração de carbono da biomassa microbiana, a respiração basal e o quociente metabólico do solo indiciam a redução de incorporação de carbono na biomassa microbiana devido as maiores perdas de  $\text{CO}_2$  por respiração (FRANCO *et al.*, 2020). A qualidade microbiana do solo portanto depende de processos decorrentes da transformação da matéria orgânica, portanto sugere se um maior tempo de experimento para elucidar os verdadeiros danos da compactação nas condições do experimento visto que não houve diferença significativa do carbono orgânico total.

A concentração de nutrientes nas folhas foi influenciada pelos mecanismos de contato íon-raiz, disponibilidade de nutrientes e inoculação. Quanto aos micronutrientes, a compactação do solo indisponibilizou Fe e Mn devido a sua redução no solo e indisponibilidade para a planta e pela menor superfície radicular explorada.

Os macronutrientes pouco oscilaram dentre os tratamentos visto da adição de solução nutritiva durante os dias do experimento. Entretanto a concentração de nitrogênio foliar confirmou a hipótese de que as bactérias inoculadas são capazes de fornecer nitrogênio, fornecendo nitrogênio mesmo quando reduzida a dose do nutriente em 50%. Hungria (2011) comenta que altas doses de nitrogênio podem inibir o efeito da inoculação com *Azospirillum*, corroborando com o dado obtido.

Os benefícios da utilização de *Azospirillum brasilensis* são relatados por diversos autores que trazem resultados positivos quanto ao teor de nitrogênio foliar, acúmulo de matéria seca e desenvolvimento radicular entre outros benefícios que vão além da fixação de nitrogênio (FUKAMI; CERZINI; HUNGRIA, 2018).

*Bacillus* sp. Para a solubilização de P foram pouco eminentes, necessitando de um maior tempo de experimento para determinada solubilização.



## 5 CONCLUSÃO

No caso estudado, a compactação do solo foi prejudicial pois causou efeitos danosos à matéria orgânica do solo devido a perdas de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana. Outros indicadores como quociente metabólico, respiração basal, diâmetro de agregados, argila dispersa e índice de flocculação sugerem a perda da qualidade física e biológica do solo, necessitando de maior tempo para dados conclusivos.

A inoculação com *Azospirillum brasilense* foi capaz de suprir a necessidade de nitrogênio mesmo com 50% da adubação nitrogenada, assim, possibilitando a redução de fertilizantes nitrogenados afim de garantir uma agricultura mais sustentável. Não houve indícios de solubilização de fosfato no solo, indicando a necessidade de maior tempo de experimento para dados conc



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHEMAD, M; KIBRET, M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. **Journal of King saud University-science**, v. 26, n. 1, p. 1-20, 2014.
- ALORI, E. T.; BABALOLA, O. O. Microbial inoculants for improving crop quality and human health in Africa. *Frontiers*. in **Microbiology**, v. 9, p. 2213, 2018.
- AQUINO, R. E; *et al.* Geoestatística na avaliação dos atributos físicos em Latossolo sob floresta nativa e pastagem na região de Manicoré, Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, p. 397-406, 2014.
- BAHADIR, P. S.; LIAQAT, F.; ELTEM, R. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. **Turkish Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 183-196, 2018.
- BALDANI, J. I.; BALDANI, V. L. D. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; DE-BASHAN, L. E. *Azospirillum* - plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian journal of microbiology**, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.
- BASHAN, Y. *et al.* Environmental uses of plant growth-promoting bacteria. **Plant-microbe interactions**, v. 661, n. 2, p. 69-93, 2008.
- BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C. M. J.; BAKKER, P. A. The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends in plant science**, v. 17, n. 8, p. 478- 486, 2012.
- BINI, D. *et al.* Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. Comunicado Técnico. **Embrapa Milho e Sorgo** – Sete Lagoas – MG. 2021
- BONO, J. A. M. *et al.* Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 91-102, 2008.

BOUWMAN, L. A.; ARTS, W. B. M. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. **Applied Soil Ecology**, v. 14, n. 3, p. 213-222, 2000.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976

BUCHELT, A. C. *et al.* Aplicação de bioestimulantes e *Bacillus subtilis* na germinação e desenvolvimento inicial da cultura do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 6, n. 4, p. 69-74, 2019.

BUCHER, M. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. **New Phytologist**, v. 173, n. 1, p. 11-26, 2007.

BÜNEMANN, E. K. *et al.* Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105-125, 2018.

BURAK, D. L. *et al.* Insumos biológicos na recuperação de pastagens degradadas da região sul do estado do Espírito Santo. **Sistemas Integrados de Produção: Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias**. Guarujá: Científica Digital, 2021.

CANFORA, L. *et al.* Trends in soil microbial inoculants research: a science mapping approach to unravel strengths and weaknesses of their application. **Agriculture**, v. 11, n. 2, p. 158, 2021.

CARNEIRO, K. A. A. *et al.* Influência da compactação do solo no crescimento de milho (*Zea mays* L.) em latossolo vermelho-amarelo. In: **Colloquium Agrariae**. p. 88-98. 2018.

CASALI, C. A. *et al.* Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água [recurso eletrônico]**. Cap. 2, p. 23-33, 2016.

CLAESSEN, M. E. C. Manual de métodos de análise de solo. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E), 1997

CIARELLI, D. M. *et al.* Genetic variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution. **Journal of plant nutrition**, v. 21, n. 10, p. 2219-2229, 1998.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo-and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 5, p. 669-678, 2010.

CORREA, O. S. *et al.* *Azospirillum brasilense*-plant genotype interactions modify tomato response to bacterial diseases, and root and foliar microbial communities. *Azospirillum* sp.: cell physiology, plant interactions and agronomic research in Argentina. Buenos Aires: **Asociación Argentina de Microbiología**, 87-95. 2008.

CORTEZ, J. W. *et al.* Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1207-1216, 2011.

DÖBEREINER, J.; DAY, J. M. Associative symbioses in tropical grasses: characterization of microorganisms and dinitrogen-fixing sites. In: Proceedings of the 1st international symposium on nitrogen fixation. Washington State University Press Pullman, 1976. p. 518-538.

DOBEREINER, J.; MARRIEL, I. E.; NERY, M. Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck. Canadian **Journal of Microbiology**, v. 22, n. 10, p. 1464-1473, 1976.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp. n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 1, n. 1, p. 357-365, 1966.

FIORI, C. C. L. *et al.* Efeito da inoculação de *Azospirillum brasiliense* na produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L). **Campo Digital**, v. 5, n. 1, 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Production quantities of maize by country** (2020)  
<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

FRANCO, A. L. C. *et al.* Linking soil engineers, structural stability, and organic matter allocation to unravel soil carbon responses to land-use change. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 150, p. 107998, 2020.

FUKAMI, J.; CERZINI, P.; HUNGRIA, M. *Azospirillum*: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. **Amb Express**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018.

GARCÍA OLIVARES, J. G. *et al.* Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. **Revista Fitotecnia Mexicana**, 2007.

GARCÍA-FRAILE, P.; MENÉNDEZ, E.; RIVAS, R. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. **AIMS Bioengineering**, v. 2, n. 3, p. 183, 2015.

GHYSELINCK, J. *et al.* Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. **Systematic and applied microbiology**, v. 36, n. 2, p. 116-127, 2013.

GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. **Scientifica**, v. 2012, 2012.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD\_ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi journal of biological sciences**, v. 26, n. 6, p. 1291-1297, 2019.

HAWKESFORD, M. H. *et al.* Function of macronutrients. In: MARSCHNER, P. (Ed.), Marschner's **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Elsevier, pg. 135–189. London, 2012.

HICKMANN, C. *et al.* Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um argissolo vermelho-amarelo sob diferentes manejos de longa duração e mata atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 6, p. 2191-2198, 2011.

HUNGRIA, M. *et al.* Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 143–154, 2010.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a

competitividade do produto brasileiro. **Embrapa Soja-Documents (INFOTECA-E)**, 2007.

HUNGRIA, M. Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Embrapa Soja-Documents (**INFOTECA-E**), 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção agrícola Municipal-**Sistema IBGE de recuperação automática** -Sidra- 2020  
<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612#resultado>

IKEDA, A. C. *et al.* **Caracterização morfofisiológica e genética de bactérias endofíticas isoladas de raízes de diferentes genótipos de milho (*Zea mays* L.)**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. 100p. Curitiba. 2010

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

JEANBILLE, M. *et al.* Soil parameters drive the structure, diversity and metabolic potentials of the bacterial communities across temperate beech forest soil sequences. **Microbial ecology**, v. 71, n. 2, p. 482-493, 2016.

KLOEPPER, J. W.; LIFSHITZ, R.; ZABLOTOWICZ, R. M. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. **Trends in biotechnology**, v. 7, n. 2, p. 39-44, 1989.

KOIDE, R. T.; PEOPLES, M. S. Behavior of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. **Applied Soil Ecology**, v. 63, p. 8-14, 2013.

LI, Z. *et al.* Contributions of residue-C and-N to plant growth and soil organic matter pools under planted and unplanted conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 91-104, 2018.

LIVERA, J. *et al.* Cadmium solubility in paddy soils: effects of soil oxidation, metal sulfides and competitive ions. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 8, p. 1489-1497, 2011.

MALAVOLTA, E. *et al.* **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MARTIN, T. N.; CUNHA, V. S.; BULCÃO, F. P. Manejo da adubação nitrogenada no milho. Grandes culturas – **Cultivar**, 173. pg.36-38. Sete Lagoas, 2014.

MARTINEZ, H. E. P.; MAROTTA, J. J. Lu.; MANGAS, I. B. **Relações solo-planta: Bases para a nutrição e produção vegetal**. Editora UFV, 2021.

MELO, F. de B.; CORÁ, J. E.; CARDOSO, M. J. Fertilização nitrogenada, densidade de plantas e rendimento de milho cultivado no sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 27-31, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; NETO, L. M. Provável mecanismo de liberação do manganês no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 6, p. 725-731, 1993

MOOSHAMMER, M. *et al.*, Adjustment of microbial nitrogen use efficiency to carbon: nitrogen imbalances regulates soil nitrogen cycling. **Nature communications**, v. 5, p. 3694, 2014.

MURPHY, D. J. **People, plants, and genes: the story of crops and humanity**. New York: Oxford University Press, 2007.

NUNES, R. R.; REZENDE, M. O. O. **Recursos do solo: propriedades e usos**. 1. ed São Carlos: Editora Cubo, 2015

OLIVARES, F. L. *et al.* Plant growth promoting bacteria and humic substances: crop promotion and mechanisms of action. **Chemical and biological technologies in agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2017.

PAZ-LIMA, M. L. *et al.* Quantificação da microbiota e diversidade ecológica da meso e macrofauna do solo sob diferentes usos no município de Urutaí (região Sudeste Goiano). **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 4, p. 12-18, 2018.

PEREIRA FILHO, I. A. *et al.* **Cultivo do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

PONNAMPERUMA, F. N. The chemistry of submerged soils. **Advances in agronomy**, v. 24, p. 29-96, 1972.

PORTUGAL, A. F. *et al.* Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes



usos, comparado com mata. **Ceres**, v. 57, n. 4, 2015.

REIS, S. M. *et al.* Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. **Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 52, n. 1, p. 37-47, 2009.

REIS, V. M.; PEDRAZA, R. O.; TEIXEIRA, KR dos S. O gênero *Azospirillum*: diversidade e relação filogenética das espécies. Embrapa Agrobiologia-Documents (INFOTECA-E), 2010.

REPKE, R. A. *et al.* Eficiência de *Azospirillum brasilense* combinada com doses de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, p. 214-226, 2013.

ROSA, P. A. L. **Acúmulo de matéria seca, extração e exportação de nutrientes por híbridos de milho inoculados com *Azospirillum brasilense***. Dissertação de Mestrado. UNESP ilha Solteira 2017.

SALTON, J. C. *et al.* Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista brasileira de ciência do solo**. Campinas. Vol. 32, n. 1 (jan./fev. 2008), p. 11-21, 2008.

SAMBUICHI, Regina Helena Rosa *et al.* **A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Texto para Discussão, 2012.

SANTOS, V. M. *et al.* uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307-318, 2013.

SILVA, G. F. *et al.* Doses de nitrogênio e de fósforo recomendadas para produção econômica de milho verde em Mossoró-RN." **Magistra** 26, n. 4. p. 467-481. 2017

SILVA, F. C.; DA SILVA, M. M.; LIBADI, P. L. Aplicação de nitrogênio no cultivo de milho, sob sistema plantio direto: efeitos na qualidade física do solo e características agrônômicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 34, p. 3513-3527, 2013.

SILVEIRA, D. C. *et al.* Caracterização agromorfológica de variedades de milho crioulo (*Zea mays* L.) na região noroeste do Rio Grande do Sul. **Ciência & Tecnologia**, v. 1,

n. 1, p. 01-11, 2015.

SINGH, J. S. *et al.* Book review: microbial inoculants in sustainable agricultural productivity-Vol. II: functional application. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 2105, 2016.

SOARES, M. D. R. *et al.*, Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

SOUZA, R.; AMBROSINI, A.; PASSAGLIA, L. M. P. Plant growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. **Genetics and molecular biology**, v. 38, n. 4, p. 401-419, 2015.

SOUZA, S. M. *et al.* Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, n. 2, p. 867-877, 2021.

TIWARI, S.; PRASAD, V.; LATA, C. *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: New and Future Developments in **Microbial Biotechnology and Bioengineering**. Elsevier, p. 43-55. 2019.

TOKURA, L. K. *et al.* Use of cover crops in Oxisol and its effects on yield and soybean oil content. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e353101220514-e353101220514, 2021.

VACHERON, J. *et al.* Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. **Frontiers in plant science**, v. 4, p. 356, 2013.

VALICHESKI, R. R. *et al.* Estado nutricional do coqueiro cultivado em solos submetidos a diferentes níveis de compactação e umidade. **Revista Brasileira. Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1152-1160, 2011.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703-707, 1987.

VELLOSO, C. C. V. *et al.* Resposta diferencial de genótipos de milho à inoculação

com bactérias promotoras do crescimento de plantas. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, 2019.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil science**, v. 37, n. 1, p. 29-38, 1934.