



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FRANCINE CONCEIÇÃO DE ANDRADE

**ENRIQUECIMENTO DE COMPOSTO ORGÂNICO
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM
MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE
PLANTAS**

Londrina
2018

FRANCINE CONCEIÇÃO DE ANDRADE

**ENRIQUECIMENTO DE COMPOSTO ORGÂNICO
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM
MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE
PLANTAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes
Coorientador: Prof. Dr. Marco Antonio Nogueira

Londrina
2018

FRANCINE CONCEIÇÃO DE ANDRADE

**ENRIQUECIMENTO DE COMPOSTO ORGÂNICO
PROVENIENTE DE RESÍDUOS SÓLIDOS COM MICRORGANISMOS
PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Marco Antonio Nogueira
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
Embrapa Soja

Dr. Artur Berbel Lirio Rondina
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária -
Embrapa Soja

Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Londrina, 29 de Maio de 2018.

*Dedico ao meu Deus por me fazer crer
de que sou capaz e ao seu lado posso
transformar sonhos em realidade.*

AGRADECIMENTOS

É com imensa satisfação com que venho glorificar o Senhor meu Deus, por me permitir alcançar mais esta vitória em minha vida, pois “sem Ele nada sou”...

Agradeço às pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, Shirley e Jaime, por toda a compreensão e amor incondicional. Ao meu querido Vinicius, por suas eternas palavras de incentivos que me fizeram sentir segura, confortável e feliz sempre ao seu lado e aos meus queridos irmãos e avós, por me manterem em seus corações e em suas preces. Quero agradecer também aos meus amigos e aos que fiz nesta jornada, dias de trabalho, aprendizagem e alegria, obrigada pelo companheirismo.

Gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento e aos professores, em especial ao Prof. Dr. Fernando Fernandes, pela orientação, oportunidade cedida, ajuda e todo seu empenho. Este trabalho não seria possível sem a contribuição e oportunidade cedida pela Embrapa Soja. Agradeço ao Prof. Dr. Marco Antonio Nogueira, parte fundamental deste estudo, obrigada pela proposta do tema, sua orientação, ensinamentos, ajuda, confiança e principalmente pela sua disposição e dedicação depositadas neste trabalho. Agradeço também ao Prof. Dr. Claudio F. Soares da UFSC pelo fornecimento do isolado de fungo micorrízico. Não poderia ainda deixar de agradecer aos funcionários, pesquisadores, técnicos, estagiários, colegas de bancada dos laboratórios de Biotecnologia do Solo e Análise de Solo e Tecido Vegetal da Embrapa Soja que me ajudaram na montagem dos experimentos, no acompanhamento, preparação e análises das amostras, obrigada pela incansável ajuda, paciência, conversas e ensinamentos ao longo deste trabalho. Experiências vividas nesta instituição que levarei para o resto da vida. Gostaria ainda de agradecer aos professores da banca pelas contribuições científicas, Dra. Tatiane C. Dal Bosco e seus ensinamentos desde a graduação, obrigada pela amizade e companheirismo e ao Dr. Artur B. Lirio Rondina por sempre se mostrar prestativo durante este estudo.

E por fim, agradeço a todos por possibilitarem esta grande oportunidade que vivenciei e me proporcionaram, além de um crescimento acadêmico-científico, mais uma experiência de vida.

Obrigada!

*“O papel dos infinitamente pequenos é
infinitamente grande”*

Louis Pasteur

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Características químicas iniciais do composto orgânico não enriquecido com microrganismos e concentrações mínimas exigidas pela Instrução Normativa nº 25:2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos.....	29
Tabela 2 -	Características químicas e frações granulométricas do solo (profundidades 0-20 e 20-40 cm) das áreas experimentais, cultivadas com milho segunda safra e trigo no ano de 2017.....	36
Tabela 3 -	Concentrações de N mineral, N-amônio e N-nitrato no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.....	40
Tabela 4 -	Teores totais de P, K, Ca, Mg e S no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.....	41
Tabela 5 -	Teores totais de micronutrientes no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.....	42
Tabela 6 -	Colonização micorrízica da braquiária e teores de P disponível no composto orgânico no início e final do experimento.....	45
Tabela 7 -	Massa seca acumulada na parte aérea da braquiária e os respectivos teores de N e P ao longo de seis cortes durante o período de crescimento.....	46
Tabela 8 -	Massa seca da parte aérea (MSPA), colonização micorrízica, teores foliares de N e P e produtividade do milho segunda safra 2017 em experimento realizado a campo.	50
Tabela 9 -	Massa seca da parte área (MSPA) aos 25 DAE, colonização micorrízica, N e P foliar, produtividade e peso hectolitro (PH) do trigo na safra 2017 em experimento realizado a campo.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
BPCP	Bactérias promotoras de crescimento de plantas
C/N	Relação carbono/nitrogênio
CTC	Capacidade de troca de cátions
DAE	Dias após a emergência
DAS	Dias após a semeadura
DBC	Delineamento em Blocos Casualizados
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAA	Formaldeído, Ácido acético e Álcool etílico
FBN	Fixação biológica do nitrogênio
FMA	Fungo micorrízico arbuscular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MHB	<i>Mycorrhizal helper bacteria</i>
MSPA	Massa seca da parte aérea
NH ₃	Gás amônia
NH ₄ ⁺	Íon amônio
NO ₃ ⁻	Íon nitrato
PH	Peso hectolitro
pH	Potencial de hidrogênio
rpm	Rotações por minuto
RSU	Resíduos sólidos urbanos

ANDRADE, Francine Conceição de. **Enriquecimento de composto orgânico proveniente de resíduos sólidos com microrganismos promotores de crescimento de plantas**. 2018. 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018.

RESUMO

A compostagem de resíduos sólidos resulta na produção de composto orgânico que pode ser empregado na agricultura como fonte de nutrientes. O uso de microrganismos capazes de promover o crescimento e desenvolvimento de plantas pode aumentar a produtividade de culturas. O objetivo desse trabalho foi enriquecer um composto orgânico proveniente de resíduos sólidos com microrganismos promotores de crescimento de plantas e verificar seu efeito nas culturas de milho e trigo. Os experimentos foram realizados em duas fases na Embrapa Soja, Londrina-PR, de 2016 a 2017. Em casa de vegetação, o composto foi inoculado com quatro bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) (*Azorhizobium*, *Azoarcus*, *Bacillus subtilis* ou *Azotobacter*) em combinação com uma espécie de fungo micorrízico arbuscular (FMA), *Rhizophagus clarus*. Utilizou-se a braquiária (*Urochloa brizantha*) como planta hospedeira para a produção de propágulos do FMA no composto. Os tratamentos foram: composto sem braquiária e sem inoculação de microrganismos; apenas braquiária; braquiária + FMA; e braquiária + FMA + cada uma das quatro BPCP isoladamente, totalizando 7 tratamentos. Foram avaliados no composto o pH, teores de N total e mineral, C total, P disponível, macro e micronutrientes, bem como a colonização micorrízica na braquiária, a produção de biomassa aérea e os respectivos teores e acúmulo de N e P em cortes realizados ao longo de 183 dias. Posteriormente, o composto foi testado a campo nas culturas de milho segunda safra e trigo, em Londrina, em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso em delineamento em blocos casualizados (DBC). Foram aplicados 815 e 787 kg ha⁻¹ de cada composto ao milho e ao trigo, respectivamente, no momento da semeadura, além de um tratamento controle com adubação convencional sem composto. Foram analisados a massa seca da parte aérea, colonização micorrízica, teores foliares de N e P aos 30 e 25 dias após a emergência do milho e trigo, respectivamente, e a produtividade de grãos. Não houve efeito da inoculação dos microrganismos no composto quanto ao pH, N total, P, Ca, Mg e S. Mesmo com altos teores de P disponível, entre 951 a 2927 mg kg⁻¹ no composto, a braquiária apresentou colonização micorrízica variando entre 30 a 53%. O teor de P na parte aérea da braquiária foi 3,55 g kg⁻¹ e houve decréscimo ao longo do tempo nos teores de N na biomassa de 27 para 10 g kg⁻¹, independentemente da coinoculação bactéria-FMA. A braquiária absorveu e imobilizou em sua biomassa o N mineral, de forma que os teores diminuíram no composto ao longo do experimento. Em campo, o composto enriquecido com microrganismos não influenciou a massa da parte aérea das culturas, mas o composto enriquecido com FMA aumentou a colonização micorrízica, cerca de 20% a mais que o composto sem FMA. Entretanto, esse aumento não alterou os teores de N e P nas folhas das culturas e na produtividade de grãos do trigo, cuja média foi 3090 kg ha⁻¹. No milho, o composto enriquecido apenas com FMA (5576 kg ha⁻¹) aumentou a produtividade em relação aos tratamentos com FMA + *Azoarcus*, FMA + *B. subtilis* (4366 e 4633 kg ha⁻¹) e controle.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento de plantas. Milho. Mycorrhizal helper bactéria. *Rhizophagus clarus*. Trigo.

ANDRADE, Francine Conceição de. **Enrichment of organic compost from solid waste with plant growth-promoting microorganisms**. 2018. 68 p. (Master in Building Engineering and Sanitation) - State University of Londrina, Londrina, 2018.

ABSTRACT

Composting of solid wastes generates the organic compost, which can be used in agriculture as source of nutrients. The use of microorganisms capable of promoting plant growth and development can increase crop yields. The objective of this work was to enrich an organic compost from solid residues with plant growth-promoting microorganisms and to verify its effect on corn and wheat crops. The experiments were carried-out in two stages at Embrapa Soja, Londrina, from 2016 to 2017. In greenhouse, an organic compost was inoculated with four plant growth-promoting bacteria (PGPBs) (*Azorhizobium*, *Azoarcus*, *Bacillus subtilis* or *Azotobacter*) in combination with a species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), *Rhizophagus clarus*. Brachiaria (*Urochloa brizantha*) was used as host plant for the production of AMF propagules in the compost. The treatments were: compost without brachiaria and without inoculation of microorganisms; only brachiaria; brachiaria + AMF; and brachiaria + AMF + one of each four PGPB, totaling 7 treatments. Assessment in the compost comprised pH, concentrations of total and mineral N, total C, available P, macro and micronutrients and mycorrhizal colonization in the brachiaria, shoot biomass and the respective concentrations and accumulation of N in cuttings performed along 183 days. Subsequently, the compost was tested in the field in the second-season corn crop and wheat, in Londrina, in a very clayey Oxisol in a randomized block design. At sowing, 815 and 787 kg ha⁻¹ of each organic compost were applied to corn and wheat, respectively, in addition to a control with conventional fertilization, without compost. Plants were assessed for shoot dry weight, mycorrhizal colonization, leaf concentrations of N and P at 30 and 25 days after emergence of corn and wheat, respectively, and grain yields. There was no effect of inoculation of microorganisms in the compost for pH, total N, P, Ca, Mg, and S. Even under high concentration of available P, between 951 and 2927 mg kg⁻¹ in the compost, brachiaria presented mycorrhizal colonization ranging from 30 to 53%. The average P concentration in the brachiaria biomass was 3,55 g kg⁻¹ and there was a decrease over time in the shoot N concentrations from 27 to 10 g kg⁻¹, independently of the co-inoculation of bacteria-AMF. The brachiaria absorbed and immobilized the mineral N in its biomass, so that the concentrations decreased in the compost along the experiment. In the field, the compost enriched with microorganisms did not affect the shoot biomass of the crops, but the compost enriched with AMF increased the mycorrhizal colonization, about 20% more than the compost without AMF. However, this increase did not change the leaf concentrations of N and P of both crops and the yield of wheat, which average was 3090 kg ha⁻¹. For corn, the compost enriched with compost enriched with AMF (5576 kg ha⁻¹) showed higher yield compared with treatments AMF + *Azoarcus*, AMF + *B. subtilis* (4366 and 4633 kg ha⁻¹) and the control.

Keywords: Plant growth-promoting bacteria. Corn. Mycorrhizal helper bacteria. *Rhizophagus clarus*. Wheat.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.2	PROCESSO DE COMPOSTAGEM	16
3.3	MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS	19
3.3.1	Bactérias promotoras de crescimento de plantas.....	20
3.3.2	Simbiose micorrízica arbuscular.....	22
3.3.3	Interação entre FMAs e bactérias promotoras de crescimentos de plantas.....	25
3.4	CULTIVO DO MILHO	26
3.5	CULTIVO DO TRIGO	27
4	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO.....	29
4.2	CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	30
4.2.1	Experimento em casa de vegetação	30
4.2.1.1	Inóculo das bactérias promotoras de crescimento de plantas.....	31
4.2.1.2	Enriquecimento do composto com propágulos de fungo micorrízico arbuscular.....	31
4.2.1.3	Monitoramento, amostragem e análises químicas	32
4.2.2	Experimentos a campo.....	35
4.2.2.1	Delineamento experimental e tratamentos	36
4.2.2.2	Amostragem e avaliações	37
4.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO ORGÂNICO ENRIQUECIDO.....	39
5.1.1	Crescimento da braquiária no composto para multiplicação do FMA.....	44
5.2	EFEITO NAS CULTURAS DO MILHO E DO TRIGO A CAMPO.....	50
6	CONCLUSÕES	54
7	CONSIDERAÇÕES	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência do crescimento populacional e da ampliação da produção agrícola para suprir a demanda por alimentos, a geração de resíduos sólidos orgânicos se torna inevitável e expressiva. A compostagem é uma técnica ambientalmente adequada para destinação final dos resíduos orgânicos de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). As vantagens do processo vão desde a estabilização da matéria orgânica, com eliminação de agentes patogênicos, transformando os resíduos em composto orgânico que pode ser utilizado na agricultura, até a redução de volume e massa de resíduos a serem encaminhados aos aterros, o que aumenta sua vida útil.

A qualidade do composto orgânico pode variar de acordo com os resíduos orgânicos e o manejo utilizados. Em razão do conteúdo de nutrientes, pode ser usado na agricultura ou paisagismo como fertilizante orgânico, o que pode trazer vantagens sobre os fertilizantes químicos. O processo de produção de fertilizantes químicos, sobretudo os nitrogenados, demanda alto custo energético em termos de combustíveis fósseis, além dos potenciais problemas ambientais que podem acarretar, pois, parte do N é perdida por processos como volatilização, lixiviação e desnitrificação, que chegam a contabilizar mais de 50% do N fornecido pelo fertilizante mineral. Portanto, se faz necessário estudar alternativas explorando o potencial biotecnológico do composto orgânico para seu uso na agricultura, de modo a diminuir o impacto ambiental dos resíduos sólidos e a exploração dos recursos naturais.

Apesar das características benéficas do composto orgânico em termos de conteúdos minerais, a possibilidade de enriquecê-lo com microrganismos capazes de promover o crescimento e desenvolvimento de plantas pode aumentar ainda mais seus benefícios do ponto de vista agroambiental, uma vez que esses microrganismos podem aumentar a produtividade de culturas e aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Os cereais constituem a base alimentar mais importante para a população humana e ocupam em torno de 50% dos solos cultivados (SALA et al., 2005). A interação com microrganismos benéficos, além de promover aumento da produtividade das culturas, possibilita redução dos custos de produção ao diminuir a

necessidade de aporte externo de certos nutrientes, como o N, e conseqüentemente, melhorar a eficiência do sistema de produção.

As bactérias diazotróficas e os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são microrganismos benéficos que interagem com raízes de plantas e promovem, por meio de mecanismos diversos, aumento significativo no crescimento vegetativo, convertendo o N₂ para forma mineral pelas bactérias no sistema planta-solo, ou até potencializando a absorção de nutrientes pelas plantas, como é o caso dos FMAs na absorção de nutrientes pouco móveis no solo, como o fósforo.

Sendo assim o estudo teve como objetivo enriquecer um composto orgânico com microrganismos promotores de crescimento de plantas e verificar seu efeito como inóculo nas culturas de milho e trigo cultivadas a campo.

2 OBJETIVO

Enriquecer um composto orgânico com microrganismos promotores de crescimento de plantas e verificar seu efeito como inóculo nas culturas de milho e trigo cultivadas a campo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quimicamente o composto orgânico;
- Multiplicar o fungo micorrízico arbuscular (FMA) no composto orgânico, utilizando *Urochloa brizantha* (braquiária) como planta hospedeira, em combinação com quatro espécies de bactérias promotoras de crescimento de plantas;
- Avaliar as características químicas do composto orgânico durante o crescimento da braquiária;
- Determinar a taxa de colonização micorrízica, a produção de massa seca da parte aérea e absorção de P e N pela braquiária cultivada no composto orgânico;
- Avaliar o efeito do composto orgânico enriquecido com microrganismos nas culturas de milho de segunda safra e trigo quanto à produtividade de grãos e teores foliares de N e P.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) oficializou a responsabilidade compartilhada de todos no gerenciamento dos resíduos sólidos, visando uma sociedade sustentável, por meio da hierarquia das ações estipuladas no art. 9º da Lei nº 12.305/2010. Nas ações deve-se evitar a geração nas diversas atividades (não geração); caso não seja possível, é necessário diminuir a geração destes resíduos (redução), bem como reaproveitá-los e reprocessá-los, servindo como fonte de matéria-prima para outras atividades produtivas (reutilização e reciclagem); e então aplicar técnicas e tecnologias limpas para o tratamento adequado dos resíduos (tratamento adequado dos resíduos sólidos). Por último, os resíduos que não possuem tecnologias economicamente viáveis para tratamento, denominados de rejeitos, terão como disposição final os aterros sanitários (BRASIL, 2010).

No país, a geração de resíduos sólidos urbanos apresentou um montante de 78,3 milhões de toneladas em 2016, das quais 42% foram destinadas de maneira inadequada a lixões ou aterros controlados, mesmo com a proibição dos lixões desde 1981 e do prazo estabelecido pela PNRS ter se encerrado em 2014 (ABRELPE, 2016). Metade dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em massa constitui-se de resíduos orgânicos, principalmente restos de alimentos (IPEA, 2012), divergindo da escala de prioridades de gerenciamento adotada pela PNRS, em que a maioria das cidades acaba por encaminhar os resíduos sólidos orgânicos para o último nível – disposição em aterros sanitários.

A geração de resíduos orgânicos na agricultura varia conforme a cultura, o fim a que se destina, as condições climáticas e a fertilidade do solo. No entanto, é mais expressiva quando consideradas todas as etapas do processo, que vão desde a produção até o consumidor final. Nas agroindústrias primárias associadas ao setor agrícola, com importância tanto no abastecimento interno quanto na exportação, a geração de resíduos orgânicos foi de 291 milhões de toneladas associadas às treze culturas de maior área cultivada no Brasil, sendo a cultura que mais gerou resíduos foi a de cana-de-açúcar, com um montante de 201 milhões de toneladas de resíduos

(torta de filtro e bagaço); as demais culturas totalizaram cerca de 90 milhões de toneladas de resíduos (IPEA, 2012).

A geração dos resíduos orgânicos é inevitável, o que demanda seu gerenciamento, buscando alternativas de uso ou aplicando métodos de tratamento para o seu reaproveitamento, objetivando a recuperação de matérias-primas, a reciclagem da matéria orgânica, a geração de energia e a minimização dos impactos ambientais (INÁCIO; MILLER, 2009). Há um grande potencial para a implementação da compostagem em todo território nacional, uma vez que essa tecnologia como destinação final dos resíduos sólidos orgânicos, prevista em lei pela PNRS, art. 3º, inciso VII, é uma forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012) estimou que 1,61% do total de resíduos orgânicos coletado em todo o país foi destinado a compostagem, e ainda mostrou o baixo investimento do poder público no tratamento de resíduos orgânicos via compostagem, pois apenas 211 municípios apresentaram sistemas de compostagem implementado, sendo os Estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul os que mais usam a técnica, com 78 e 66 unidades, respectivamente.

3.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é uma técnica de reciclagem de nutrientes que permite transformar resíduos orgânicos de diferentes origens em um produto descaracterizado e biologicamente estável, o composto orgânico. A transformação é um processo biológico, aeróbico e exotérmico, promovido por diversos microrganismos que utilizam matéria orgânica *in natura* como fonte de energia, oxidando-a de forma a promover sua mineralização e humificação (KIEHL, 2004; BROWN et al., 2008; DORES-SILVA et al., 2013; HECK et al., 2013).

O processo de compostagem se caracteriza por três fases principais: a termofílica, com intensa atividade microbiológica e reações bioquímicas que resultam em temperaturas elevadas e permite a eliminação de patógenos e sementes; fase mesofílica, com temperaturas menores que a anterior; e a última, fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação (KIEHL, 2004; ORRICO JÚNIOR et al., 2009; FIALHO et al., 2010; ANDRADE et al., 2018).

De forma geral, a técnica requer uma mistura de resíduos ricos em N (como lodo de esgoto, esterco, borras, tortas, fração orgânica do RSU) com materiais que possuem elevada relação C/N (como serragem, podas de árvores e palhadas), além de alguns fatores que favoreçam a atividade microbiana para que o processo ocorra de maneira eficiente (BROWN et al., 2008; FIALHO et al., 2010; ORRICO JÚNIOR et al., 2010; LEAL et al., 2013; PEDROSA et al., 2013). Quando o sistema acontece nas condições ideais de temperatura, umidade, aeração, o tempo de estabilização da matéria orgânica diminui (ANDRADE et al., 2018) e não há produção de chorume e odores, ao contrário do que ocorre nos aterros sanitários, onde o resíduo é confinado e a degradação é anaeróbia com produção de gases de efeito estufa e grande quantidade de lixiviado (PIRES et al., 2011; SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Na compostagem, a decomposição pelos microrganismos permite a mineralização de complexos inassimiláveis constituintes dos resíduos orgânicos, promovendo a ciclagem de vários elementos, como o C e o N, de importância essencial para a vida. Os sólidos biodegradáveis presentes nos resíduos são convertidos a um estado estável, resultando em um composto final com macro e micronutrientes nas formas assimiláveis pelas plantas e microrganismos, que poderá ser manejado, estocado, aplicado como fertilizante na agricultura e/ou utilizado como condicionador de propriedades físico-químicas em solos de áreas degradadas (ORRICO JÚNIOR et al., 2010; SARTORI et al., 2011; HECK et al., 2013).

A adição de matéria orgânica ao solo melhora suas propriedades físicas, químicas e biológicas, com o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC), aumento do poder tamponante, tendendo a estabilizar o pH próximo à neutralidade, além do fornecimento de nutrientes às plantas. Em consequência, aumenta a capacidade produtiva dos solos, em particular, em solos tropicais (SANTOS et al., 2002; PRIMO et al., 2011).

Em sistemas agrícolas com solos ácidos e de baixa fertilidade natural, o aporte de nutrientes de fontes externas é necessário (TIESSEN et al., 2001). O uso de matéria orgânica como fonte alternativa de nutrientes pode se dar pelo uso de compostos orgânicos estabilizados ou via resíduos vegetais.

O decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 e dispõe sobre a inspeção e fiscalização da

produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura, define:

... III - fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas;

a) fertilizante mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido pro processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas;

b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;

l) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; e

o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (BRASIL, 2004).

Na compostagem para a produção de fertilizantes orgânicos, a fase de maturação do composto orgânico é fundamental. Com a maturação, o composto deve apresentar temperatura próxima a do ambiente, relação C/N média de 10/1 e pH próximo a 7, uma vez que o uso de um composto não apropriadamente maturado poderá ocasionar poluição difusa, como a liberação excessiva de amônia no solo, a qual pode danificar as raízes das culturas, e produção de moléculas que inibem a germinação de sementes e o crescimento das plantas (PEREIRA NETO, 2007; VALENTE et al., 2009).

Para a comercialização do composto orgânico, o teor de N encontrado no composto orgânico precisa atender aos limites mínimos estabelecidos para comercialização pela Instrução Normativa nº 25 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2009). Para se adequar à legislação, uma das alternativas é a escolha de misturas de matérias-primas com maiores teores de N e condução adequada do processo de compostagem visando produzir compostos que atendam às exigências (PEDROSA et al., 2013).

O fertilizante orgânico, apesar de apresentar menores concentrações de nutrientes que os minerais, é uma alternativa viável na substituição total ou parcial de fertilizantes minerais por apresentar maior diversidade de nutrientes, que, quando em baixos teores no solo, limitam a produção vegetal (VALENTE et al., 2009; RODRIGUES et al., 2011). Portanto, fontes alternativas de nutrientes para as culturas devem ser exploradas, não somente por razões econômicas, mas também ecológicas e de sustentabilidade.

Além do fornecimento de nutrientes às plantas, a aplicação do composto orgânico ao solo fornece matéria orgânica, que auxilia na retenção de água e melhora a estrutura física do solo. O composto orgânico, especialmente enriquecido com microrganismos benéficos, pode ainda promover o crescimento vegetal em sistemas de produção agrícola.

3.3 MICRORGANISMOS PROMOTORES DE CRESCIMENTO DE PLANTAS

A microbiota do solo possui importantes funções para a sustentabilidade dos ecossistemas naturais e agrícolas (CARDOSO; ANDREOTE, 2016). Na região da rizosfera das plantas, há um amplo grupo de microrganismos em constante interação com as plantas, devido à presença de nutrientes liberados pelas raízes, como lisados e exsudatos radiculares (SALA et al., 2007). Interações positivas entre organismos e a planta hospedeira podem resultar em uma variedade de efeitos benéficos para o vegetal (OLIVEIRA et al., 2003).

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs) encontradas, em sua maioria, na rizosfera são importantes para o desenvolvimento dos vegetais (HUNGRIA et al., 2010) e apresentam alta diversidade morfológica, fisiológica, genética e filogenética, o que possibilita associações com diversos outros organismos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), outro grupo de microrganismos promotores de crescimento em plantas, interagem com uma ampla gama de outros (micr)organismos do solo, incluindo as rizobactérias promotoras de crescimento de plantas, bactérias auxiliares de fungos micorrízicos (*mycorrhizal helper bacteria* - MHB), entre outros (MIRANSARI, 2011).

Essa interação entre microrganismos pode beneficiar várias plantas cultivadas por meio de mecanismos como o aumento da disponibilidade de nutrientes no solo,

maior absorção desses nutrientes, ou ainda a indução do crescimento vegetativo por meio de mecanismos hormonais (ARTURSSON et al., 2006). O estudo das interações entre FMA, bactérias e plantas se torna de grande relevância, uma vez que microrganismos benéficos podem atuar de forma sinérgica para promover o crescimento vegetal (PEREIRA et al., 2013).

3.3.1 Bactérias promotoras de crescimento de plantas

As BPCPs podem habitar o interior de plantas e/ou a região da rizosfera (MARIANO et al., 2004) e estimulam o crescimento e desenvolvimento vegetal por meio de diferentes mecanismos (KRAVECHENCKO et al. 2002; COOK, 2007; MOREIRA et al., 2010), que diferem de um hospedeiro para outro e provavelmente mais de um mecanismo esteja envolvido nas interações entre plantas e BPCP (OLIVEIRA et al., 2003).

Os mecanismos de promoção de crescimento utilizados por este grupo de bactérias podem ser diretos, como a solubilização de fosfatos (KUSS et al., 2007), fixação biológica do N (HUNGRIA et al., 2010), ciclagem de nutrientes orgânicos no sistema solo-planta (MOREIRA et al., 2010), produção de hormônios vegetais (auxinas, giberelinas e citocininas) (EL-KHAWAS; ADACHI, 1999), ou ainda indiretos, pela produção de substâncias (ácido cianídrico, bacteriocinas, antibióticos, sideróforos, enzimas e outras moléculas) que suprimem fitopatógenos ou outros mecanismos de biocontrole, como a indução de resistência sistêmica e proteção cruzada (MARIANO et al., 2004; GRAY; SMITH, 2005; KUSS et al., 2007). Como muitas BPCPs atuam por meio destes mecanismos, uma espécie em particular pode utilizar diferentes modos de ação durante o ciclo da planta, e o seu impacto no crescimento do vegetal irá depender das propriedades físico-químico-biológicas do solo aonde está crescendo e do estágio de desenvolvimento da planta (OLIVEIRA et al., 2003).

Um modelo com BPCPs proposto por Costa et al. (2014) para explicar o crescimento vegetativo indicou que as plantas se beneficiam da interação pela produção de hormônios de crescimento sob condições de alta disponibilidade de nutrientes, enquanto que em condições de baixa disponibilidade os benefícios se dão

por mecanismos de solubilização ou mineralização de nutrientes. Diferentes espécies de bactérias foram identificadas como capazes de solubilizar compostos fosfatados inorgânicos, dentre essas as dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* (OLIVEIRA et al., 2003).

As principais BPCPs pertencem aos gêneros *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azorhizobium*, *Azoarcus*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Acetobacter*, *Herbaspirillum*, *Agrobacterium*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, entre outras. Os efeitos benéficos sobre as plantas compreendem aumentos na área foliar, altura, diâmetro do caule, matéria seca, absorção de nutrientes, além de mecanismos envolvidos no controle de doenças, que resultam em aumento da produtividade (KENNEDY et al., 2004; MARIANO et al., 2004).

Dentro do grupo das rizobactérias, as classificadas como diazotróficas podem interagir de maneira associativa, endofítica ou simbiótica com diversas plantas em diferentes graus de especificidade, fixando o nitrogênio atmosférico (HUNGRIA et al., 2007). O processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre por meio de um complexo enzimático, a nitrogenase, capaz de reduzir o nitrogênio atmosférico (N_2) a amônia (NH_3), que na sequência é convertida em íon amônio (NH_4^+), forma assimilável pelas plantas. Nesse caso, o N necessário à planta é fornecido pelas bactérias e, em troca, as plantas fornecem fotoassimilados essenciais para a manutenção do metabolismo bacteriano (GRAHAM; ABBOTT, 2000; ARORA et al., 2016). Pesquisas realizadas por Moreira et al. (2010) em pastagem com gramíneas e cana-de-açúcar cultivadas sem aplicação de fertilizantes apresentaram níveis plausíveis de produtividade, indicando a contribuição deste grupo de microrganismos para fixação do N no desenvolvimento da cultura.

As bactérias associativas presentes na rizosfera podem fixar N_2 em ambiente microaerofílico, sem formação de estruturas específicas, e apresentam importante função na entrada do N na biosfera (FRANCHE et al., 2009). A eficiência de FBN por esse tipo de bactéria pode chegar de 10 a 13 mg de N por grama de glicose consumida em meio sem N (BECKING, 1991). Em gramíneas, o cálculo de contribuição de N fixado pelas bactérias associativas chega de 25 a 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, o que pode representar até 17% das demandas de algumas culturas. Os números são pequenos se comparados com bactérias simbiotes de leguminosas. Entretanto, a contribuição da associação gramínea-diazotróficas na incorporação de N ao solo frente à dimensão

territorial coberta por elas é aproximadamente cinco vezes maior que a de leguminosas (SALA et al., 2005; MOREIRA et al., 2010).

As rizobactérias interagem com plantas tanto de metabolismo C3, quanto C4, como o trigo e o milho e a inoculação com espécies de bactérias *Acetobacter diazotrophicus*, *Azorhizobium*, *Azoarcus*, *Azotobacter*, *Burkholderia* e *Herbaspirillum seropedicae* permitiu aumentar o crescimento vegetativo e o rendimento de grãos de culturas com esse tipo de metabolismo (KENNEDY et al., 2004).

A especificidade do gênero *Azotobacter* sugere interações mais restritas entre planta e bactéria do que as conhecidas nas outras espécies de diazotróficas associativas, sendo as espécies mais comuns *A. chroococcum*, *A. vinelandii* e *A. paspali* (DÖBEREINER et al., 1995). Estima-se que as bactérias desse gênero podem fornecer cerca de 7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N (GALLO, 2013). Estudos conduzidos por Arora et al. (2016) concluíram que a inoculação de *A. chroococcum* aumentou a produtividade de *Artemisia annua* L.

As espécies dos gêneros *Bacillus* e *Paenibacillus* podem contribuir benéficamente como agentes de controle biológico de fitopatógenos (SIDDIQUI; MAHMOOD, 1999; LACEY et al., 2001). Algumas espécies do gênero *Bacillus* possuem atividade da nitrogenase, indicando potencial de fixação de N, como *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. cereus*, *B. licheniformis*, *B. pumilus*, *B. circulans*, *B. brevis*, *B. firmus*, *B. marisflavi* e *B. alkalidiazotrophicus* (XIE et al., 1998; DING et al., 2005; SOROKIN et al., 2008).

Alguns gêneros ainda são capazes de viver dentro da planta sem causar nenhuma alteração fisiológica no hospedeiro, como é o caso de *Azoarcus*, classificada como bactéria diazotrófica endofítica, cuja ocorrência praticamente é restrita aos tecidos vegetais (KENNEDY et al., 2004). As bactérias do gênero *Azorhizobium* também fixam N em vida livre ou em estado simbiótico em nódulos nas raízes de leguminosas (NAKAJIMA et al., 2012). Estudos de Moreira et al. (2010) concluíram que as condições de manejo podem maximizar os processos que as bactérias realizam, o que é um desafio à pesquisa atual.

3.3.2 Simbiose micorrízica arbuscular

Os FMAs pertencem ao filo Glomeromycota e são simbiotróficos obrigatórios que não completam seu ciclo de vida se não houver colonização em raízes vivas (CORDAZZO; STÜRMER, 2007). Estes fungos se desenvolvem no interior e no exterior das raízes, expandindo-se através das hifas para além da região da rizosfera (PEREIRA et al., 2013) e desempenham grande importância tanto no aspecto nutricional quanto ecológico, pois são capazes de formar simbiose com mais de 90% das plantas terrestres (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Devido à ausência de especificidade hospedeira e à susceptibilidade generalizada das plantas à micorrização, a seleção de isolados eficientes para a aplicação em processos biotecnológicos de interesse agrícola ou ambiental se torna atrativa. Alguns exemplos de espécies aplicadas na agricultura e no reflorestamento são *Rhizophagus clarus*, *Gigaspora margarita*, *Rhizophagus intraradices*, *Rhizophagus fasciculatum*, *Acaulospora morrowiae*, *Entrophospora colombiana*. A inoculação pode ser efetuada no solo durante a semeadura de plantas anuais e de pastagens, na repicagem de mudas de plantas olerícolas, ou na formação de mudas de espécies com finalidades agrônômica, florestal, de recuperação ambiental e de ornamentação (SIQUEIRA et al., 2002).

A simbiose entre FMAs e as raízes das plantas é baseada na troca de nutrientes entre os parceiros, em que a planta fornece energia na forma de carboidratos e, em troca, os fungos auxiliam na absorção de nutrientes do solo, sobretudo os de baixa mobilidade, como o P. Estima-se que cerca de 4 a 20% do C fixado pela fotossíntese sejam deslocados para a sobrevivência e multiplicação dos fungos micorrízicos (LYNCH; HO, 2005; SOLÍS-DOMÍNGUEZ et al., 2011). Os fungos colonizam o córtex radicular, enquanto as hifas externas se estendem pelo solo e auxiliam na absorção de nutrientes e água, transferindo-os para as hifas internas no córtex radicular, chegando até os arbúsculos, região na qual acontece a troca de recursos por fotoassimilados (MARINHO et al., 2004; MILLER et al., 2010; KOC et al., 2016).

Os FMA associados às raízes potencializam o sistema radicular, ou seja, promovem uma maior absorção de nutrientes, pois as hifas externas são mais compridas e mais finas do que os pelos absorventes das raízes, o que facilita a

exploração de regiões do solo onde o sistema radicular da planta não atinge (SMITH et al. 2011). Estima-se que os FMA sejam capazes de fornecer cerca de 80% do P, 25% do N, 10% do K, 25% do Zn e 60% do Cu absorvidos do solo pelas plantas (MARSCHNER; DELL, 1994). Um estudo com inoculação de FMA em mudas de paricá (*Achizolobium amazonicum*) demonstrou que a espécie *Rhizophagus clarus* aumentou a concentração de P, Mg, e Ca na parte aérea de plantas inoculadas (BRITO et al., 2017).

O P é um dos elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas, sendo que apenas cerca de 5% do fosfato total do solo está disponível para absorção pelas raízes. A adubação com fertilizantes fosfáticos se tornou uma prática comum em solos agrícolas, porém, parte do P aplicado se torna indisponível, pois é rapidamente imobilizado por óxidos de Fe e Al em solos ácidos e por íons Ca em solos alcalinos (MOREIRA et al., 2010).

Os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn exigidos em menores quantidades em relação aos macronutrientes (LUDWIG et al., 2012), podem ser tóxicos às plantas em altas concentrações (LIMA FILHO, 2016). Os FMAs podem contribuir para aumentar a absorção desses nutrientes quando em baixa concentração no solo, mas também podem aliviar a toxicidade caso estes micronutrientes apresentem alta disponibilidade, uma vez que pode ocorrer adsorção em suas hifas. Em estudos da interação solo-FMA-planta não foram detectados sintomas de toxicidade de Mn nas plantas cultivadas em solo com alta disponibilidade deste elemento, mesmo com aumento da concentração foliar. Esta atenuação da toxicidade tem sido atribuída ao efeito de diluição no tecido da planta, devido ao aumento no crescimento proporcionado pelos FMA, mas também pode ocorrer pela formação de complexos P-Mn no interior da planta (NOGUEIRA; CARDOSO, 2003).

A associação micorrízica proporciona efeitos benéficos à planta hospedeira não apenas pelo aumento da capacidade de absorção de nutrientes, mas também permite maior tolerância ao estresse hídrico, melhoria na agregação do solo, produção e acúmulo de substâncias de crescimento e de substâncias bioativas e imobiliza no micélio elementos metálicos, diminuindo o potencial de toxicidade às plantas (NOGUEIRA; CARDOSO, 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SOARES et al., 2007). Saboya et al. (2012), trabalhando com mudas de pinhão-mansinho inoculadas com FMAs (*Scutellospora calospora*, *Glomus clarum*, *Gigaspora margarita*, *Acaulospora*

morrowiae) após 65 dias de emergência das plantas, detectaram aumento significativo na massa seca de raízes, parte aérea e massa total em relação às mudas sem inoculação. Coelho et al. (2012) afirmam que a inoculação de fungos micorrízicos ao substrato é benéfica na produção de mudas, especialmente em solo não adubado, podendo auxiliar no desenvolvimento das plantas no campo.

A resposta à micorrização pode variar ao longo do ciclo da planta, e em alguns casos, o FMA pode apresentar uma fase de colonização lenta, em que o efeito sobre o crescimento da planta é pouco evidente ou nulo (NOGUEIRA; CARDOSO, 2003). As plantas cultivadas em ambientes deficientes em fósforo produzem exsudatos mais estimulantes aos fungos micorrízicos do que aquelas bem supridas em P, o que indica mecanismos para atração dos fungos benéficos pelas plantas deficientes (NAIR et al., 1991).

Os teores de nutrientes no solo, principalmente P e N, podem influenciar na colonização micorrízica. Em contrapartida, o aumento do fornecimento de N para a planta mediado por bactérias diazotróficas pode aumentar o vigor e a taxa fotossintética do vegetal e favorecer os FMA pela maior oferta de fotoassimilados (MORTIMER et al., 2013). Como os FMA possuem eficiência variável com o hospedeiro, cada espécie de planta poderá apresentar uma resposta variável à micorrização. Por isso, recomenda-se que a inoculação seja realizada com espécies eficientes previamente selecionadas para aumentar as chances de benefícios ao desenvolvimento da planta hospedeira (BALOTA et al., 2011).

3.3.3 Interação entre FMAs e bactérias promotoras de crescimentos de plantas

Os FMAs também interagem com outros organismos do solo, tais como os rizóbios (XAVIER; GERMIDA, 2002) e outras rizobactérias. Há relatos de efeitos benéficos proporcionados pela interação FMA-bactérias diazotróficas (MIRANSARI, 2011), uma vez que a fixação biológica de nitrogênio por leguminosas pode ser aumentada pela coinoculação com fungos micorrízicos. Os benefícios da interação FMA-bactéria diazotrófica podem ocorrer em razão do incremento da absorção de P pelas plantas micorrizadas, o que proporciona melhores condições para o estabelecimento da associação com as diazotróficas (ARTURSSON et al., 2006).

Os FMAs dos gêneros *Rhizophagus* e *Acaulospora* são eficientes na coinoculação com outros microrganismos e são abundantes nos solos agrícolas (GRAHAM; ABBOTT, 2000). Entre as bactérias que interagem de forma sinérgica (*mycorrhiza helper bacteria* - MHB) com os FMAs, estão as Gram-negativas *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Rhizobium*, *Firmicutes*, e algumas Gram-positivas como *Bacillus*, *Brevibacillus* e *Paenibacillus* (FREY-KLETT et al., 2007).

A inoculação de *Bacillus coagulans* aumentou a colonização micorrízica nas plantas de amora (*Morus alba*) e mamão (*Carica papaya*) inoculadas com o FMA *Rhizophagus fasciculatum*, indicando interação sinérgica desses microrganismos na associação com as plantas (MAMATHA et al., 2002). Na cultura de trigo (*Triticum aestivum*) houve efeito sinérgico da coinoculação na colonização pelo fungo micorrízico do gênero *Acaulospora*, estimulado por bactérias diazotróficas (*Achromobacter insolitus* e *Zoogloea ramigera*). O fungo micorrízico do gênero *Rhizophagus* foi mais eficiente em aumentar o crescimento e acúmulo de N e P nas plantas de trigo que o fungo *Acaulospora* sp. quando coinoculados com bactérias diazotróficas (SALA et al., 2007).

Em estudos de coinoculação em que foram observados efeitos sinérgicos entre FMAs e isolados de *Streptomyces* e de rizóbios, houve influência significativa no aumento da biomassa da parte aérea e raízes, na quantidade de nódulos e na densidade de actinobactérias presentes na rizosfera da soja (PEREIRA et al., 2013).

3.4 CULTIVO DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma monocotiledônea da família Poaceae (SCHUH et al., 2011), cuja domesticação é estimada em mais de 8 mil anos atrás, na América Central, mais especificamente no México e na Guatemala (BARROS; CALADO, 2014). Com o desenvolvimento de variedades e híbridos a partir da segunda metade do século XX (PATERNIANI; CAMPOS, 1999), houve melhorias de produtividade e qualidade que permitiram o milho ser cultivado sob diferentes sistemas de produção e manejos de solo pelo mundo, tornando-se uma das culturas de maior importância devido à variedade de uso na alimentação animal e humana, com grande importância socioeconômica e cultural (BARROS; CALADO, 2014; PEREIRA FILHO, 2015).

As maiores exigências nutricionais da cultura de milho se referem ao N, seguindo-se de K, Ca, Mg e P. As concentrações requeridas de micronutrientes pelas plantas de milho são baixas, mas a deficiência de um desses elementos pode ter efeito na desorganização de processos metabólicos, levando à redução na produtividade. Os nutrientes absorvidos têm diferentes taxas de translocação entre os tecidos do milho (colmos, folhas e grãos), o P é quase todo transferido para os grãos (77 a 86%), seguido por N (70 a 77%), S (60%), Mg (47 a 69%), K (26 a 43%) e Ca (3 a 7%) (COELHO; RESENDE, 2008).

No Brasil, o milho é cultivado em duas épocas: a primeira safra, onde a semeadura é realizada no início da estação chuvosa nos meses de verão, em todas as regiões do país; e a segunda safra, conhecida como safrinha, que é estabelecida no final da estação chuvosa, em áreas menos propensas a geadas, como na região Centro-Oeste e Estados do Paraná, São Paulo e Minas Gerais (ALVARENGA et al., 2010; CRUZ et al., 2011).

Nos últimos anos, houve decréscimo da área cultivada na primeira safra, a qual foi compensada pelo aumento da área de segunda safra, de forma que atualmente a área com milho de segunda safra é maior que a de primeira safra, com aumento de produtividade de grãos no total das safras comparadas com as do ano anterior (PEREIRA FILHO, 2015). A primeira safra de 2017/2018 foi 13,8% inferior à da safra anterior, com uma produção de grãos de 26 milhões de toneladas, produzidas em 5,1 milhões de hectares. Já o milho de segunda safra apresentou produção total de 63 milhões de toneladas em 11,6 milhões de hectares. A produtividade da cultura do milho segunda safra no território nacional foi de 5.443 kg ha⁻¹, 2,2% inferior à safra 2016/17 (CONAB, 2018).

O aumento da produção e produtividade de milho no Brasil nos últimos anos acontece devido ao desenvolvimento de tecnologias que permitem aumentar a viabilidade do cultivo em áreas até então consideradas marginais. No entanto, as buscas por alternativas em sistemas sustentáveis de produção requerem novas pesquisas para que se mantenha ou se aumente a produção e produtividade com menores impactos ao meio ambiente.

3.5 CULTIVO DO TRIGO

O trigo pertence ao gênero *Triticum*, da família Poaceae, com várias espécies, principalmente a *Triticum aestivum* L. (PIANA; CARVALHO, 2008). Originada no sudoeste da Ásia e domesticada há cerca de 10 mil anos (CAIERÃO et al., 2016), tornou-se a cultura de maior disseminação global, ocupando o segundo lugar de produção mundial de grãos (MORI et al., 2016). A relevância desta cultura para a economia agrícola está associada às diversas destinações de uso e integração com numerosas cadeias produtivas, sobretudo no setor de alimentos (FARIAS et al., 2016).

O trigo se enquadra como cultura exigente em nutrientes, especialmente o nitrogênio (VIOLA et al., 2013), com respostas diferenciadas à adubação dependendo do genótipo, apresentando incrementos em várias características que influenciam a produtividade final (PRANDO et al., 2013). As quantidades de fertilizante nitrogenado a serem aplicadas variam em função do teor de matéria orgânica do solo, do genótipo, da cultura precedente e da expectativa de rendimento de grãos da cultura, a qual é função da interação de vários fatores de produção e das condições climáticas (SILVA et al., 2017).

No Brasil o trigo é cultivado no inverno, principalmente, na região Sul do país (VIOLA et al., 2013). Nos últimos 30 anos a produtividade média triplicou, crescimento advindo de fatores como componente genético, tolerância à acidez, resistência às principais doenças e a melhoria tecnológica da qualidade dos grãos para diversos usos (CAIERÃO et al., 2016). No entanto, na safra de 2017, houve redução de 29,9% na produtividade, que foi de 2.225 kg ha⁻¹, principalmente em decorrência de condições meteorológicas adversas, como a ocorrência de geadas em setembro, estiagem entre julho e setembro, nos estágios reprodutivos da cultura, e chuvas intensas em outubro e novembro, no período de colheita, que resultaram em perdas significativas às lavouras brasileiras (CONAB, 2018).

O trigo é cultivado em sistema de semeadura direta, geralmente após soja ou milho no verão. Nesse sistema, a palhada pode reduzir o contato do fertilizante nitrogenado aplicado em cobertura com o solo, favorecendo as perdas pela volatilização da amônia (CANTARELLA et al., 2008). O cultivo desse cereal apresenta peculiaridades e riscos por se tratar de uma cultura de inverno. Contudo, a aplicação de tecnologias adequadas para cada região (MORI et al., 2016) e manejos que

maximizem a produtividade com sustentabilidade podem propiciar uma atividade economicamente rentável (CAIERÃO et al., 2016).

Dessa forma, as práticas de manejo disponíveis para a cultura do trigo, como o uso de microrganismos promotores de crescimento de plantas (PICCININ et al., 2013) e/ou adubação verde (NUNES et al., 2011) se tornam alternativas ao uso total ou parcial dos fertilizantes nitrogenados químicos (PRANDO et al., 2013), reduzindo custos de importação, que podem atenuar os custos financeiros com as perdas ocasionadas pelas adversidades climáticas, além de reduzir perdas de N por volatilização, o que reduz os impactos no ambiente sem diminuir a produtividade da cultura.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO

Foi utilizado um composto orgânico maturado proveniente do processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos (restos de alimentos, refeições, cascas de verduras e frutas, resíduos vegetais como grãos, poda de árvores, palhas de trigo e soja, o que se assemelha à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos) da Embrapa Soja, Londrina-PR (ANDRADE et al., 2018).

A caracterização química do composto orgânico revelou valor inicial de pH próximo à neutralidade (Tabela 1), na faixa favorável de 5 a 8 (GUERRA-RODRÍGUEZ et al., 2003) e na tolerância admissível ($\text{pH} > 6$) para fertilizantes orgânicos conforme a Instrução Normativa nº 25 do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2009). O composto apresentou ainda 16 g kg^{-1} de N total com apenas 1,65% desse valor na forma mineral.

Tabela 1 - Características químicas iniciais do composto orgânico não enriquecido com microrganismos e concentrações mínimas exigidas pela Instrução Normativa nº 25:2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para fertilizantes orgânicos.

Variáveis	Características do composto orgânico utilizado	Limites mínimos IN nº 25/2009
pH	7,3	6
Relação C:N	10,9	Até 20
N total	$16,1 \text{ g kg}^{-1}$	5 g kg^{-1}
N mineral	$0,265 \text{ g kg}^{-1}$	-
P	$7,25 \text{ g kg}^{-1}$	Teor total
P disponível	$0,951 \text{ g kg}^{-1}$	-
K	$3,74 \text{ g kg}^{-1}$	Teor total
Ca	$17,2 \text{ g kg}^{-1}$	10 g kg^{-1}
Mg	$5,44 \text{ g kg}^{-1}$	10 g kg^{-1}
S	$1,86 \text{ g kg}^{-1}$	10 g kg^{-1}
B	$0,303 \text{ g kg}^{-1}$	$0,3 \text{ g kg}^{-1}$
Cu	$0,154 \text{ g kg}^{-1}$	$0,5 \text{ g kg}^{-1}$
Mn	$1,25 \text{ g kg}^{-1}$	$0,5 \text{ g kg}^{-1}$
Zn	$0,155 \text{ g kg}^{-1}$	1 g kg^{-1}

A quantidade de P total do composto orgânico foi de $7,25 \text{ g kg}^{-1}$, dos quais 13% encontravam-se na forma disponível para as plantas, com base na extração com solução de Mehlich-I. Os teores de macro e micronutrientes, exceto Mg, S, Cu e Zn, encontram-se dentro dos limites mínimos do MAPA (2009) para comercialização de fertilizantes orgânicos.

4.2 CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O estudo se dividiu em duas fases, primeiramente em casa de vegetação com enriquecimento do composto orgânico com microrganismos promotores de crescimento de plantas e, em seguida, em campo, com a aplicação do composto enriquecido com microrganismos nas culturas de milho e trigo.

4.2.1 Experimento em casa de vegetação

A primeira fase foi conduzida em casa de vegetação na Embrapa Soja, Londrina, PR, no período de agosto de 2016 a março de 2017, totalizando 183 dias. O composto orgânico maturado foi peneirado, homogeneizado e acondicionado em 40 L em bandejas com dimensões de 18 x 40 x 60 cm. O delineamento foi inteiramente casualizado em sete tratamentos com três repetições. Quatro tratamentos foram infestados com bactérias diazotróficas não simbióticas e após 30 dias da aplicação das bactérias ao composto orgânico, foram transplantadas mudas de braquiária (*Urochloa brizantha*) com cerca de 30 dias, previamente colonizadas pelo FMA *Rhizophagus clarus*. Foram mantidos tratamentos controle sem bactéria, sem braquiária, ou sem FMA. Dessa maneira, os tratamentos estudados foram:

- T1: Composto orgânico;
- T2: Composto orgânico + braquiária;
- T3: Composto orgânico + braquiária + *Rhizophagus clarus*;
- T4: Composto orgânico + braquiária + *Rhizophagus clarus* + *Azorhizobium* sp.;
- T5: Composto orgânico + braquiária + *Rhizophagus clarus* + *Azoarcus* sp.;
- T6: Composto orgânico + braquiária + *Rhizophagus clarus* + *Bacillus subtilis*;
- T7: Composto orgânico + braquiária + *Rhizophagus clarus* + *Azotobacter* sp.

4.2.1.1 *Inóculo das bactérias promotoras de crescimento de plantas*

Foram escolhidas quatro bactérias pertencentes à coleção de cultura de microrganismos do laboratório de Biotecnologia do Solo da Embrapa Soja, com base na sua capacidade de fixação de N em vida livre.

As bactérias *Azorhizobium* sp. (CNPSO 1168), *Azoarcus* sp. (CNPSO 2541) e *Bacillus subtilis* (CNPSO 2723) foram inoculadas previamente em 10 mL de meio de cultura TY, enquanto que *Azotobacter* sp. (CNPSO 3151) foi inoculada em 10 mL de meio de cultura LG + CaCO₃ conforme Döbereiner et al. (1999). Todos os isolados foram incubados durante 3 dias a 28 °C no escuro sob agitação a 100 rpm. Os frascos com crescimento típico das bactérias foram utilizados para a preparação do inóculo pela transferência de 1 mL do pré-inóculo de cada bactéria em 0,5 L do respectivo meio de cultura, incubadas novamente nas mesmas condições por 7 dias.

Antes da inoculação do composto com as respectivas bactérias, a umidade foi corrigida para 60% da capacidade de retenção de água. Cada bandeja recebeu 0,5 L de inóculo bacteriano homogeneizando o composto.

4.2.1.2 *Enriquecimento do composto com propágulos de fungo micorrízico arbuscular*

Para o enriquecimento do composto com propágulos de fungo micorrízico utilizaram-se mudas de capim braquiária (*Urochloa brizantha*) pré inoculadas com *Rhizophagus clarus*. Inicialmente, as sementes de braquiária foram limpas com água destilada, colocadas em papel Germitest umedecido e levados ao germinador à temperatura de 25 °C e umidade relativa de 40% até a emissão das radículas (7 dias), segundo método adaptado de Hungria et al. (1994).

As plântulas foram transferidas para bandeja de mudas com alvéolos de 0,035 L preenchidos com substrato de areia e carvão moído (1:1, v:v) esterilizado em autoclave. Cada alvéolo das bandejas recebeu 1 g de uma mistura de solo, raízes e esporos de *Rhizophagus clarus* no momento do transplante das plântulas. O inóculo do fungo micorrízico (> 50 esporos g⁻¹) foi cedido pelo Prof. Dr. Cláudio Fonseca Soares, da Universidade Federal de Santa Catarina. Paralelamente, mantiveram-se

plântulas de braquiária não inoculadas com fungo micorrízico para serem usadas como controle.

As mudas de braquiária foram cultivadas por 30 dias em sistema hidropônico com solução nutritiva modificada de Broughton e Dilworth (1971), com teor de P reduzido a 1/5 na forma de fosfato de potássio monobásico (KH_2PO_4) e redução a 1/3 do teor de N na forma de nitrato de potássio (KNO_3), visando estimular a micorrização (NAIR et al., 1991).

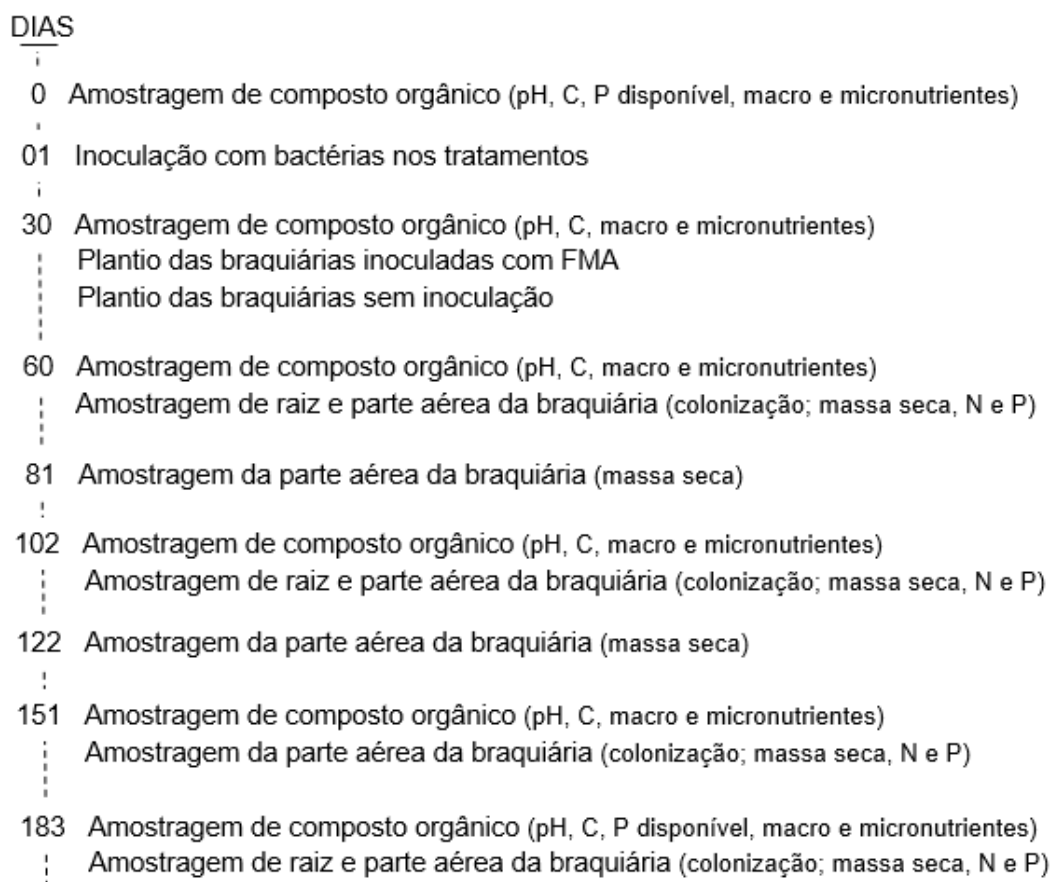
Após os 30 dias de inoculação das bactérias, foram transplantadas 9 mudas de braquiária com raízes inoculadas por bandeja contendo composto orgânico previamente enriquecido com as bactérias diazotróficas, bem como no controle sem enriquecimento bacteriano. Manteve-se ainda um controle que recebeu 9 mudas de braquiária não inoculada. Após o transplante, as plantas de braquiária foram cultivadas por 153 dias no composto e avaliadas periodicamente, conforme descrito a seguir.

4.2.1.3 Monitoramento, amostragem e análises químicas

Ao longo dos 183 dias de enriquecimento com os microrganismos promotores de crescimento de plantas, as bandejas foram irrigadas três vezes por semana com água destilada, de acordo com a necessidade das plantas ou para manter umidade similar nas bandejas sem plantas.

Durante o experimento (Figura 1) foram realizadas 6 coletas do composto orgânico para análises de pH, teores de N total e mineral, carbono total, macro e micronutrientes totais e teor de P disponível. Na braquiária plantada no composto orgânico realizaram-se 4 coletas de raízes no intervalo médio de 40 dias para determinação da colonização micorrízica e 6 coletas da parte aérea para determinar massa seca e os teores de N e P. O conteúdo de N e P acumulados na parte aérea da braquiária foram baseados na biomassa produzida e na respectiva concentração do nutriente. Para as amostragens aos 81, 122 e 151 dias, empregaram-se os teores médios obtidos na amostragem anterior e posterior para o cálculo estimado do conteúdo acumulado de N e P.

Figura 1 – Etapas do experimento realizado em casa de vegetação e amostragem ao longo dos 183 dias.



A coleta da parte aérea da braquiária foi realizada pelo corte a 5 cm de altura do composto. O composto orgânico e as raízes da braquiária foram amostrados em cinco pontos da bandeja com um trado calador com diâmetro de 2,5 cm, a 5 cm de profundidade. As raízes finas presentes na amostra foram retiradas, limpas em água corrente e armazenadas em solução FAA (5% de formaldeído, 5% de ácido acético e 90% de álcool etílico 70%) para posterior análise da colonização micorrízica; já as amostras do composto orgânico foram armazenadas sob refrigeração (temperatura de 4 °C) para as análises químicas.

As amostras de raízes foram clarificadas em KOH a 10%, acidificadas em HCl 1% e coradas com azul de tripano 0,05% (BRUNDRETT et al., 1996). A taxa de colonização micorrízica foi quantificada pelo método de interceptação de quadrantes (MCGONIGLE, 1990).

O N mineral foi extraído do composto orgânico com uma solução de KCl 2 mol L⁻¹, sob agitação a 170 rpm por 2 h e filtração em papel de filtro quantitativo

(SCHUSTER; SCHRODER, 1990). A quantificação do amônio (N-NH_4^+) foi realizada pelo método colorimétrico verde de salicilato, com adição dos reagentes para desenvolvimento da cor e leitura a 697 nm em leitor de microplacas (SEARLE, 1984). O nitrato (N-NO_3^-) foi determinado por método colorimétrico com reagente de Griess utilizando microplacas pela metodologia adaptada de Miranda et al. (2001) com leitura em leitor de microplacas a 540 nm.

Para a determinação dos teores totais de nutrientes no composto orgânico e na parte aérea da braquiária, as amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C por 48 h e moídas (< 1 mm).

As amostras do composto orgânico foram maceradas em almofariz para determinação do carbono orgânico total pelo método da combustão seca em um analisador de carbono orgânico total (TOC) (adaptado de CARMO; SILVA, 2012).

No composto orgânico foram determinados os teores totais de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, e Zn, e na parte aérea da braquiária foi determinado o teor de P. As amostras passaram por digestão nitro-perclórica sob aquecimento por micro-ondas e os teores dos elementos no extrato foram determinados por espectrometria de emissão ótica por plasma induzido (ICP-OES) conforme método adaptado de SW 846-3051 da US-EPA (2007).

A determinação do teor total de N no composto orgânico e na parte aérea da braquiária foi realizada após digestão sulfúrica das amostras, seguida por destilação pelo método semi-micro Kjeldahl (CARMO et al., 2000).

O P disponível no composto orgânico foi extraído com solução Mehlich-I. As amostras foram agitadas por 30 min a 150 rpm e após decantação por 16 h, às alíquotas do sobrenadante foram adicionados reagentes para desenvolvimento da cor e determinação da concentração de P por espectrofotometria de absorção molecular (DONAGEMA et al., 2011).

O pH foi obtido em água segundo metodologia de Tedesco et al. (1995). O teor de água do composto orgânico foi determinado pela diferença de massas seca e úmida após secagem em estufa a 105 °C por 24 h (SILVA, 2009).

4.2.2 Experimentos a campo

Foram conduzidos dois experimentos na Fazenda Experimental da Embrapa Soja, Londrina, Paraná entre março e agosto de 2017 (23° 11' 2,75" S e 51° 10' 29,71" W). O clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen, sendo a temperatura média anual de 21 °C, com média máxima de 30 °C em fevereiro (mês mais quente) e média mínima de 12 °C em julho (mês mais frio). A precipitação média anual é de 1635 mm, com média de 220 mm em janeiro (mês mais chuvoso) e 50 mm em agosto (mês mais seco) (IAPAR, 2017). Os dados de precipitação pluvial e temperaturas máxima, mínima e média diárias durante os experimentos de campo foram obtidos na estação climatológica da Embrapa Soja (Figura 2). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso (784 g kg⁻¹ de argila) com características físico-químicas descritas na Tabela 2.

Figura 2 - Dados climáticos diários de precipitação, temperaturas mínima, média e máxima diárias do ar entre os meses de março a agosto de 2017, correspondente ao período dos cultivos de milho segunda safra e trigo.

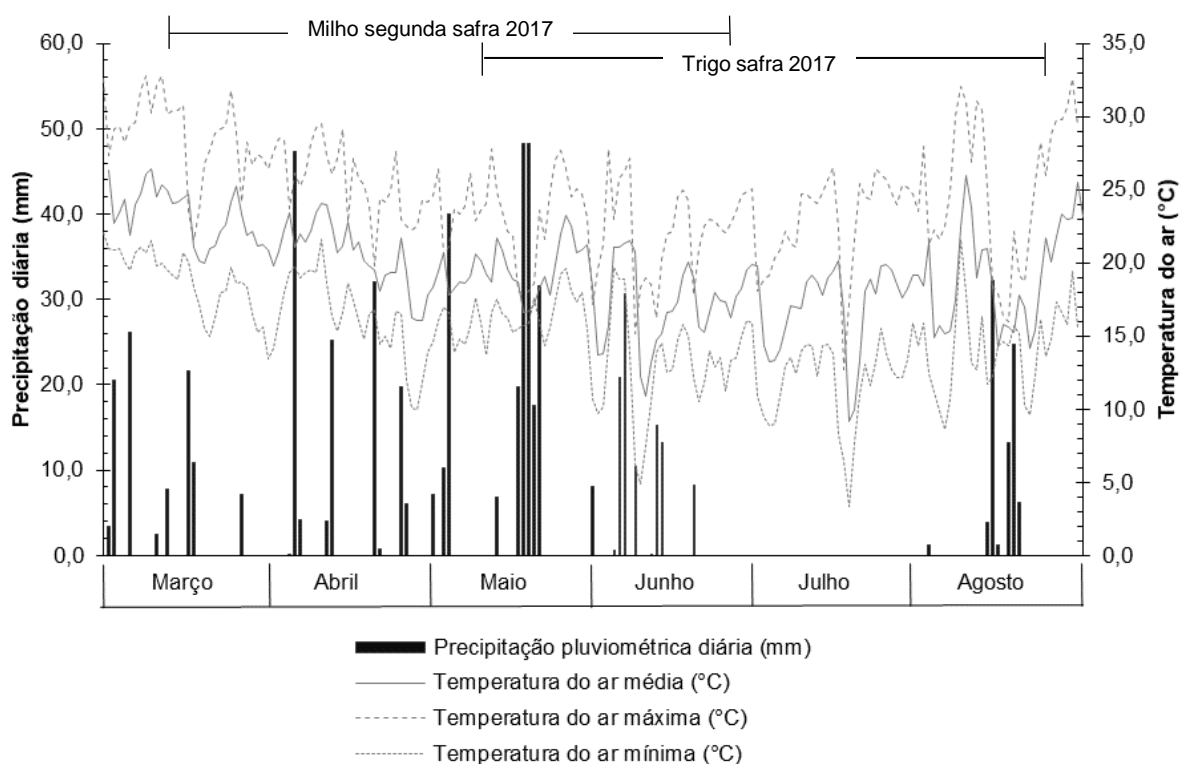


Tabela 2 - Características químicas e frações granulométricas do solo (profundidades 0-20 e 20-40 cm) das áreas experimentais, cultivadas com milho segunda safra e trigo no ano de 2017.

Prof.	pH	Argila	Silte	Areia	CTC	Ca	Mg	K	Na	P	Cu	Fe	Mn	Zn
<i>Milho</i>														
cm		----- % -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----			
0-20	5,32	74,2	19,0	6,8	12,3	5,63	2,47	0,41	0,03	19,7	7,8	112,8	108,7	0,9
20-40	5,36	77,7	16,2	6,1	10,9	4,09	1,78	0,36	0,01	5,1	12,6	107,0	442,8	2,4
<i>Trigo</i>														
		----- % -----				----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----			
0-20	5,11	74,2	16,5	9,4	12,3	4,16	1,78	0,9	0,01	10,0	14,2	100,9	522,7	2,6
20-40	5,19	77,0	15,6	7,4	10,9	4,05	1,53	0,56	0,01	5,7	12,7	103,3	452,2	1,5

pH em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ por potenciometria; Ca, Mg, K e Na Mehlich-III por ICP-OES; P Mehlich-I por espectrofotometria (SILVA, 2009).

4.2.2.1 Delineamento experimental e tratamentos

As culturas de milho e trigo foram semeadas em sistema de semeadura direta em área previamente cultivada com soja no verão, em delineamento em blocos casualizados, com 7 tratamentos (conforme descrito no item 4.2.1), além de um controle sem adição de composto orgânico, totalizando 8 tratamentos, em 6 repetições.

A cultura de milho segunda safra (outono/inverno) foi semeada em 15 de março de 2017, empregando-se o híbrido BM 709 PRO2, com 300 kg ha⁻¹ de adubação de base (08-20-20). As parcelas tinham 5 linhas de 5,5 m, espaçadas de 0,90 m, área de 24,75 m². Os tratamentos com composto receberam 2 kg do respectivo tratamento por parcela, distribuídos nas linhas na semeadura, correspondente a 815 kg ha⁻¹. Foi realizada adubação nitrogenada em cobertura correspondente a 90 kg ha⁻¹ de N (ureia) aos 30 DAE.

O trigo foi semeado no dia 09 de maio de 2017, empregando-se a cultivar BRS Gralha Azul, com 250 kg ha⁻¹ de adubação de base (08-20-20). As parcelas tinham 19 linhas de 6,5 m, espaçadas de 0,17 m, totalizando 22,75 m² que receberam 1,8 kg de composto orgânico de cada tratamento distribuídos na superfície da parcela, correspondente a 787 kg ha⁻¹. Foi realizada adubação nitrogenada em cobertura correspondente a 30 kg ha⁻¹ de N (ureia) aos 25 DAE.

4.2.2.2 Amostragem e avaliações

Para o milho coletou-se a parte aérea de 5 plantas por parcela aos 30 DAE e para o trigo coletaram-se todas as plantas em duas linhas de 50 cm por parcela aos 25 DAE. As partes aéreas das plantas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar a 65 °C até atingir massa constante para determinação de massa da parte aérea seca.

Durante a floração plena de ambas culturas, foram coletadas amostras de folhas e raízes finas. Coletaram-se 15 amostras foliares do milho por parcela, do terço médio da terceira folha sem a nervura principal, sendo a folha do cartucho considerada folha zero; do trigo foram coletadas 30 folhas bandeira por parcela (MALAVOLTA, 1997). Após secas a 48 °C por 48 h e moídas em moinho com malha < 1 mm, foram analisadas quimicamente quanto aos teores de N e P. Para o N, foram digeridas com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio e a determinação realizada pelo método verde de salicilato em espectrofotômetro UV - VIS com leitura a 697 nm (Searle, 1984). O P foi determinado em extrato nítrico-perclórico conforme descrito no item 4.2.1.3.

Amostras de raízes finas foram coletadas escavando-se o solo próximo aos caules das plantas e a cerca de 10 cm de profundidade. As amostras foram lavadas em água corrente, clarificadas e coradas conforme metodologia para determinação da colonização micorrízica descrita no item 4.2.1.3.

A colheita do milho ocorreu no dia 29 de junho de 2017 e a produtividade de grãos foi estimada com umidade ajustada a 13%. A colheita do trigo ocorreu no dia 21 de agosto de 2017, determinando-se o peso hectolitro (PH) e a produtividade com umidade ajustada a 13%.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O conjunto de dados foi submetido à análise de normalidade e homocedasticidade pelos testes de Shapiro-Wilk e de Hartley, respectivamente. Após cumpridos os pressupostos estatísticos, os dados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e comparadas as médias a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey por meio do software SISVAR® (FERREIRA, 2014) para

os dados de casa de vegetação, e o teste de Duncan por meio do software Statistica para os dados de campo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO ORGÂNICO ENRIQUECIDO

Os valores de pH variaram de 7,1 a 7,5 entre os tratamentos ao longo dos 183 dias de acompanhamento, sem efeito significativo de tratamentos. O mesmo ocorreu para a relação C:N que variou de 9,68 a 11,9, também sem efeitos de tratamentos. O N total do composto orgânico também não variou com os tratamentos ao longo do experimento, oscilando 14,3 a 17,5 g kg⁻¹.

O N mineral no composto orgânico aos 60 dias diferiu entre os tratamentos que receberam a braquiária, independentemente da coinoculação dos microrganismos (Tabela 3). A maior diferença foi em relação ao tratamento controle, que apresentou as maiores médias em relação aos demais, com aumento dos teores ao longo do tempo, exceto aos 102 dias. O N-amônio no período de 30 dias apresentou as maiores médias, 94 e 80 mg kg⁻¹, nos compostos orgânicos que receberam as bactérias *Bacillus subtilis* e *Azotobacter*, respectivamente, enquanto o teor de nitrato, neste mesmo período, não variou. Aos 60 dias, não houve efeito dos microrganismos no teor de N-amônio. No entanto, aos 102 dias houve uma diminuição nos teores, e os compostos com *Bacillus subtilis* e *Azotobacter* tiveram as maiores médias com comportamento semelhante ao observado aos 30 dias. Após 102 dias, o teor de N-amônio diminuiu ao longo do tempo, sendo que aos 151 dias foi menor em todos os tratamentos com braquiária em relação ao controle sem braquiária. Aos 183 dias, o composto orgânico enriquecido com *Azotobacter* apresentou o maior teor de N-amônio em relação aos demais tratamentos.

Após o transplante da braquiária no composto, o teor de N-nitrato diminuiu nos tratamentos com braquiária após 60 dias (Tabela 3), enquanto aumentou ao longo do tempo no composto controle sem braquiária. Considerando apenas os tratamentos com braquiária no composto enriquecido ou não enriquecido com bactérias promotoras de crescimento, também houve variação nos teores de N-nitrato a partir dos 60 dias.

Tabela 3 - Concentrações de N mineral, N-amônio e N-nitrato no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dias após a inoculação das bactérias					
	0	30	60	102	151	183
	N mineral (mg kg ⁻¹)					
T1	295,1 ^{(2)ns}	441,7 ^{ns}	766,6 A	477,5 A	991,0 A	1201 A
T2	279,5	458,7	444,7 B	109,5 BC	17,1 BC	20,7 B
T3	239,6	428,5	297,3 CD	95,1 BC	18,3 BC	22,3 B
T4	231,4	421,3	332,4 C	96,5 BC	26,4 B	23,4 B
T5	274,0	446,3	224,7 DF	85,0 C	23,2 BC	21,7 B
T6	243,2	487,6	305,7 CD	142,0 B	15,8 BC	13,1 B
T7	290,7	357,4	194,3 E	114,2 BC	13,7 C	17,5 B
Média	264,8	434,5	366,5	160,0	158,0	188,5
CV (%)	12,5	12,1	9,17	10,7	2,76	2,30
	N-amônio (mg kg ⁻¹)					
T1	15,3 ^{ns}	70,7 C	18,3 ^{ns}	28,4 C	12,8 A	7,90 C
T2	25,3	71,0 BC	25,3	33,4 C	1,81 B	7,48 C
T3	24,9	77,9 BC	19,1	34,9 C	1,84 B	10,2 B
T4	20,0	77,0 BC	16,6	42,5 C	2,75 B	5,38 D
T5	26,8	78,8 BC	21,2	39,2 C	1,79 B	4,32 D
T6	18,1	94,6 A	20,7	116,4 A	3,30 B	4,23 D
T7	30,5	80,0 B	25,6	85,8 B	3,04 B	12,3 A
Média	23,0	78,4	21,0	54,4	3,91	7,40
CV (%)	30,5	3,73	17,3	16,3	28,7	8,47
	N-nitrato (mg kg ⁻¹)					
T1	279,8 ^{ns}	371,1 ^{ns}	748,2 A	449,1 A	978,1 A	1193 A
T2	254,2	387,7	419,4 B	76,1 B	15,2 BC	13,3 BC
T3	214,7	350,6	278,3 CD	60,2 BC	16,4 BC	12,1 BC
T4	211,4	344,2	315,8 C	54,0 BC	23,7 B	18,1 B
T5	247,2	367,5	203,5 DE	45,7 BC	21,4 BC	17,4 B
T6	225,1	392,9	285,0 CD	25,6 C	12,5 BC	8,9 BC
T7	260,3	278,4	168,7 E	28,4 C	10,7 C	5,18 C
Média	241,8	356,0	345,5	105,6	154,0	182,1
CV (%)	12,3	14,7	9,59	12,8	2,91	2,34

Nota ⁽¹⁾: T1: composto orgânico (controle); T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos por coleta a 5% de significância pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa.

Em relação aos demais nutrientes no composto orgânico, não foram observadas diferenças significativas entre os compostos enriquecidos com os microrganismos em relação ao controle, para os teores totais de P, Ca, Mg e S (Tabela 4). Observou-se que os teores de P e S no composto mantiveram constância média de 7,21 e 1,74 g kg⁻¹, respectivamente, enquanto os teores de Ca e Mg aumentaram ao longo do tempo. Já os teores de K diminuíram no composto cultivado com braquiária.

Tabela 4 - Teores totais de P, K, Ca, Mg e S no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dias após a inoculação das bactérias					
	0	30	60	102	151	183
	P (g kg ⁻¹)					
T1	7,44 ^{(2)ns}	7,10 AB	7,36 ^{ns}	6,95 ^{ns}	7,58 A	7,51 ^{ns}
T2	6,77	7,04 AB	7,16	7,37	6,83 B	7,26
T3	7,34	7,22 AB	7,61	7,21	7,17 AB	7,29
T4	7,10	7,33 AB	7,54	7,14	7,08 AB	6,82
T5	7,37	7,02 AB	7,34	7,17	7,01 AB	7,10
T6	7,29	7,39 A	7,35	6,93	7,18 AB	7,06
T7	7,42	6,87 B	7,42	7,43	7,11 AB	7,11
Média	7,25	7,13	7,40	7,17	7,14	7,16
CV (%)	4,10	2,43	2,49	4,50	3,39	3,95
	K (g kg ⁻¹)					
T1	3,84 ^{ns}	3,89 ^{ns}	3,76 A	3,67 A	4,33 A	4,36 A
T2	3,56	3,90	3,25 B	2,69 B	1,78 B	1,93 B
T3	3,74	3,84	3,29 B	2,52 B	1,76 B	2,01 B
T4	3,65	3,87	3,26 B	2,41 B	1,85 B	1,79 B
T5	3,85	3,70	3,18 B	2,48 B	1,66 B	2,12 B
T6	3,78	3,84	3,09 B	2,42 B	1,73 B	1,95 B
T7	3,80	3,64	3,26 B	2,34 B	1,59 B	2,04 B
Média	3,74	3,81	3,30	2,65	2,10	2,31
CV (%)	3,24	3,50	5,00	5,40	14,1	7,92
	Ca (g kg ⁻¹)					
T1	17,7 ^{ns}	17,1 AB	18,0 ^{ns}	18,1 ^{ns}	19,0 ^{ns}	19,5 ^{ns}
T2	16,2	17,3 AB	17,2	20,0	18,0	18,9
T3	17,0	17,4 AB	18,4	19,2	19,1	19,4
T4	17,2	17,6 AB	18,5	18,9	18,9	18,5
T5	17,7	17,2 AB	18,4	18,9	18,4	19,0
T6	17,2	18,1 A	17,8	18,5	19,4	18,6
T7	17,4	16,8 B	18,5	19,7	18,8	19,1
Média	17,2	17,4	18,1	19,0	18,8	19,0
CV (%)	3,36	2,32	3,77	5,20	3,10	4,11
	Mg (g kg ⁻¹)					
T1	5,64 ^{ns}	5,38 ^{ns}	5,37 AB	4,64 B	6,40 ^{ns}	6,69 A
T2	5,32	5,28	5,19 B	6,48 A	5,92	6,25 AB
T3	5,26	5,42	5,63 AB	6,28 A	6,03	6,36 AB
T4	5,35	5,40	5,47 AB	6,13 AB	6,04	6,06 B
T5	5,62	5,20	5,40 AB	6,21 A	5,97	6,25 AB
T6	5,49	5,35	5,38 AB	6,13 AB	6,32	6,01 B
T7	5,43	5,17	5,75 A	6,37 A	6,08	6,23 AB
Média	5,44	5,31	5,45	6,04	6,11	6,26
CV (%)	3,15	2,31	3,54	9,31	3,23	3,43
	S (g kg ⁻¹)					
T1	1,87 ^{ns}	1,78 B	1,92 AB	1,13 B	1,80 A	1,90 ^{ns}
T2	1,87	1,79 AB	1,83 B	1,63 A	1,54 B	1,66
T3	1,83	1,86 AB	1,94 AB	1,63 A	1,58 AB	1,69
T4	1,82	1,86 AB	1,94 A	1,58 A	1,59 AB	1,61
T5	1,88	1,81 AB	1,92 AB	1,58 A	1,56 B	1,69
T6	1,86	1,92 A	1,88 AB	1,51 AB	1,62 AB	1,68
T7	1,91	1,76 B	1,93 AB	1,65 A	1,58 AB	1,66
Média	1,86	1,83	1,91	1,53	1,61	1,70
CV (%)	4,20	2,75	2,12	10,5	4,95	6,62

Nota ⁽¹⁾: T1: composto orgânico (controle); T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos por coleta a 5% de significância pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa.

Os micronutrientes Mn e B não diferiram do controle quando o composto foi enriquecido com microrganismos (Tabela 5). Os teores de Cu e Zn aumentaram no composto orgânico enriquecido com *Azotobacter* aos 60 dias apenas, no entanto, esse comportamento não se manteve nas demais coletas.

Tabela 5 - Teores totais de micronutrientes no composto orgânico durante o experimento em casa de vegetação.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dias após a inoculação das bactérias					
	0	30	60	102	151	183
	B (mg kg ⁻¹)					
T1	309 AB ⁽²⁾	281 ^{ns}	280 B	314 ^{ns}	330 ^{ns}	324 AB
T2	284 B	285	284 B	325	319	327 AB
T3	295 AB	286	290 AB	319	328	331 A
T4	299 AB	289	281 B	326	326	320 AB
T5	309 AB	275	283 B	331	317	311 AB
T6	319 A	286	292 AB	317	330	308 AB
T7	304 AB	273	312 A	320	322	312 B
Média	303	282	289	322	325	319
CV (%)	3,44	2,87	2,99	2,93	3,43	2,48
	Cu (mg kg ⁻¹)					
T1	164 ^{ns}	134 A	110 B	128 AB	124 AB	135 AB
T2	150	119 ABC	111 B	141 A	117 AB	142 A
T3	138	132 A	115 B	130 AB	123 AB	142 A
T4	145	124 AB	112 B	123 AB	116 AB	132 AB
T5	163	105 C	107 B	125 AB	111 B	119 B
T6	172	112 BC	120 B	114 B	127 AB	120 B
T7	149	105 C	159 A	122 B	136 A	126 AB
Média	154	119	119	126	122	131
CV (%)	10,4	5,21	6,50	5,44	6,31	6,02
	Mn (mg kg ⁻¹)					
T1	1272 AB	1250 ^{ns}	1243 ^{ns}	1334 ^{ns}	1341 ^{ns}	1340 ^{ns}
T2	1169 B	1199	1204	1383	1315	1355
T3	1233 AB	1207	1262	1312	1366	1362
T4	1196 B	1217	1235	1377	1351	1294
T5	1284 AB	1207	1232	1361	1297	1302
T6	1313 A	1251	1263	1395	1359	1315
T7	1252 AB	1172	1268	1319	1295	1308
Média	1246	1215	1244	1326	1332	1325
CV (%)	3,31	3,71	4,28	7,17	2,58	3,05
	Zn (mg kg ⁻¹)					
T1	168 ^{ns}	139 ABC	140 B	115 B	151 ^{ns}	150 A
T2	146	136 ABC	136 B	148 A	140	149 A
T3	147	143 A	144 AB	142 AB	148	150 A
T4	147	141 AB	138 B	142 AB	139	142 AB
T5	157	132 C	140 B	142 AB	137	139 B
T6	160	139 ABC	141 B	140 AB	144	138 B
T7	152	134 BC	156 A	142 AB	145	141 AB
Média	154	138	142	139	144	144
CV (%)	5,79	2,27	2,34	7,19	4,08	2,33

Nota ⁽¹⁾: T1: composto orgânico (controle); T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos por coleta a 5% de significância pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa.

Para o fungo micorrízico, o pH do ambiente influencia a fase assimbiótica e pré-simbiótica, principalmente, na germinação dos esporos, no crescimento e ramificação das hifas, pois a presença de prótons H^+ atua como regulador de sinalização para ocorrência de comunicação molecular entre o FMA e o hospedeiro (RAMOS et al., 2008). Algumas espécies de isolados de FMA podem se adaptar a solos com ampla faixa de pH, mas para a germinação de esporos a faixa de pH ideal é de 6 a 7 (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), o que está próximo aos valores encontrados no composto em estudo. Apesar do pH ideal no composto orgânico, a colonização das raízes de braquiária foi lenta (Tabela 6). Esporos de espécies do gênero *Rhizophagus* aparentemente são mais frequentes em solos com pH próximo ao neutro (CAVALCANTE et al., 2008). Não apenas o pH, mas também a disponibilidade de nutrientes, principalmente o P, influenciam no estabelecimento da simbiose (SMITH; READ, 2008). Nesse caso, os teores de P foram suficientemente altos para inibir a colonização micorrízica na fase inicial de desenvolvimento da braquiária no composto.

A inoculação com *Bacillus subtilis* e *Azotobacter* no composto orgânico evidenciou aumento de N amoniacal (Tabela 3), o que pode ter sido resultado da fixação biológica do nitrogênio em vida livre por essas bactérias. No entanto, não refletiu em aumento significativo na concentração de N na parte aérea da braquiária (Tabela 7). A inoculação com estirpes de *Bacillus* tem apresentado respostas positivas nas culturas agrícolas (LIMA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2012). O *B. subtilis* contribuiu para ganhos significativos no crescimento da soja cultivada em solo infestado por nematoides (ARAUJO et al., 2012). Para os demais tratamentos, a inoculação de bactérias não influenciou os teores de N mineral no composto orgânico, pois as condições do meio (abióticas e bióticas), ambiente não estéril, com alta disponibilidade de nutrientes, como o N, pode ter influenciado a capacidade de sobrevivência e colonização por competição interespecífica com outros microrganismos (OLIVEIRA et al., 2003) inibindo assim um efetivo processo de fixação biológica do nitrogênio.

Com o cultivo da braquiária houve absorção e imobilização do N mineral disponível no composto orgânico em sua biomassa, já que o tratamento que não recebeu a braquiária (controle) passou a apresentar as maiores médias de N-nitrato após 60 dias, quando a braquiária já tinha se estabelecido. Algumas espécies de braquiária podem atenuar a nitrificação (RAGASSI et al., 2013), como *Urochloa*

brizantha, *U. decumbens* e *U. humidicola*, além do sorgo (*Sorghum bicolor*) e capim colômbio (*Panicum maximum*) (SUBBARAO et al., 2013). No processo de inibição da nitrificação o $N-NH_4^+$ é mantido disponível por mais tempo para as plantas, reduzindo as chances de perdas de N por lixiviação do NO_3^- ou desnitrificação (SOUZA et al., 2011).

O decréscimo nos teores de K ao longo do tempo nos tratamentos cultivados com braquiária pode estar atribuído ao mecanismo de absorção e exportação deste nutriente pelas plantas. A inoculação com diferentes espécies de FMAs em *Urochloa brizantha* proporcionou maiores absorções de K (COSTA et al., 2012). No entanto, os teores não diferiram entre os tratamentos com braquiária inoculados com FMA e os com braquiária sem inoculação, indicando que a presença do *Rhizophagus clarus* não contribuiu de forma significativa para absorção desse nutriente pela planta, uma vez que o K apresenta alta mobilidade. Já os valores de Ca e Mg aumentaram no composto orgânico ao longo do tempo, independentemente do enriquecimento ou não com microrganismos, fato que pode ser atribuído ao processo de mineralização do composto orgânico, resultando em concentração de algumas formas minerais na massa remanescente.

Frente aos altos teores disponíveis de nutrientes no composto, o auxílio do FMA na absorção de nutrientes para as plantas não foi significativo na maioria dos casos. Em solo de alta fertilidade a *Urochloa* apresentou depressão de crescimento quando inoculada com fungo micorrízico; no entanto, em solo de baixa fertilidade, a *Urochloa* apresentou 100% de resposta à micorrização (ZANGARO et al., 2018). Além disso, as espécies do gênero *Urochloa* apresentam capacidade de desenvolvimento em condições anuais em que outras culturas como as de grãos não se desenvolveriam (BATISTA et al., 2011).

5.1.1 Crescimento da braquiária no composto para multiplicação do FMA

O cultivo da gramínea braquiária visou multiplicar o fungo micorrízico no composto orgânico, fornecendo assim mais um microrganismo benéfico, uma vez que os FMAs não se reproduzem sem um hospedeiro. O objetivo não foi só a produção de esporos, mas também hifas externas e internas, as quais são propágulos que podem

dar origem a novas hifas que, encontrando a superfície de uma raiz hospedeira, resultam em colonização. A colonização micorrízica (Tabela 6) da braquiária foi detectada a partir dos 102 dias, época em que o maior foi observado na braquiária inoculada apenas com *R. clarus*, porém diferindo apenas do tratamento com *R. clarus* coinoculado com *Bacillus subtilis*. As plantas dos tratamentos que receberam o inóculo micorrízico apresentaram taxas de colonização crescentes ao longo do tempo, porém, não foram observados efeitos das bactérias coinoculadas. As raízes das plantas não inoculadas com *R. clarus* apresentaram baixa colonização, que foi inferior a 10% durante o estudo, provavelmente proveniente de propágulos de FMA existentes no composto, que foi obtido em condições de campo em contato com o solo. Verificou-se também, que o composto orgânico apresentou altas concentrações de P disponível, o qual aumentou do início ao final do experimento, independentemente da coinoculação bactéria - FMA.

Tabela 6 - Colonização micorrízica da braquiária e teores de P disponível no composto orgânico no início e final do experimento.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dias após a inoculação das bactérias					
	60	102	151	183	0	183
	Colonização micorrízica (%)				P disponível (mg kg ⁻¹)	
T1	-	-	-	-	1025 A	3349 ^{ns}
T2	0	7 AB ⁽²⁾	8 B	7 B	853 B	2276
T3	0	13 A	30 A	39 A	1021 A	3384
T4	0	8 AB	35 A	47 A	1068 A	2984
T5	0	9 AB	39 A	43 A	935 AB	2679
T6	0	6 B	40 A	50 A	959 AB	3005
T7	0	10 AB	52 A	53 A	799 B	2813
Média	-	16,9	34,7	37,9	951	2927
CV (%)	-	13,8	17,9	19,5	6,19	14,6

Nota ⁽¹⁾: T1: composto orgânico (controle); T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos por coleta a 5% de significância pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa.

Houve acúmulo crescente de biomassa seca da parte aérea da braquiária ao longo do tempo (Tabela 7). Os teores de N decresceram na parte aérea, ao passo que os de P permaneceram entre 3,08 a 3,84 g kg⁻¹ ao longo do tempo. Plantas dos tratamentos T6 e T5 coinoculadas com bactérias promotoras de crescimento, aos 102 e 183 dias de crescimento, respectivamente, apresentaram menores teores de N que as plantas controle sem inoculação.

Tabela 7 - Massa seca acumulada na parte aérea da braquiária e os respectivos teores de N e P ao longo de seis cortes durante o período de crescimento.

Tratamentos ⁽¹⁾	Dias após a inoculação das bactérias					
	60	81	102	122	151	183
	Matéria seca acumulada (g bandeja ⁻¹)					
T1	-	-	-	-	-	-
T2	66,7 B ⁽²⁾	172 ^{ns}	292 ^{ns}	384 ^{ns}	452 ^{ns}	515 ^{ns}
T3	84,4 A	195	311	407	470	532
T4	79,3 AB	183	297	392	451	511
T5	74,3 AB	179	300	387	436	495
T6	80,4 AB	180	302	389	439	493
T7	81,8 AB	174	294	387	438	493
Média	77,8	180	299	391	448	507
CV (%)	7,09	6,00	5,64	4,69	4,90	5,06
	N (g kg ⁻¹)					
T1	-	-	-	-	-	-
T2	28,4 ^{ns}	-	22,9 A	-	-	10,9 A
T3	27,0	-	21,1 AB	-	-	10,9 A
T4	26,0	-	16,0 AB	-	-	10,1 AB
T5	27,5	-	15,0 AB	-	-	9,26 B
T6	27,2	-	14,6 B	-	-	9,50 AB
T7	27,3	-	15,9 AB	-	-	9,57 AB
Média	27,2	-	17,6	-	-	10,0
CV (%)	4,62	-	16,5	-	-	5,31
	P (g kg ⁻¹)					
T1	-	-	-	-	-	-
T2	3,84 ^{ns}	-	3,78 ^{ns}	-	-	3,08 ^{ns}
T3	3,79	-	3,80	-	-	3,11
T4	3,54	-	4,08	-	-	3,72
T5	3,65	-	3,62	-	-	3,03
T6	3,32	-	3,54	-	-	3,54
T7	3,32	-	3,70	-	-	3,21
Média	3,61	-	3,75	-	-	3,28
CV (%)	9,41	-	10,3	-	-	10,4

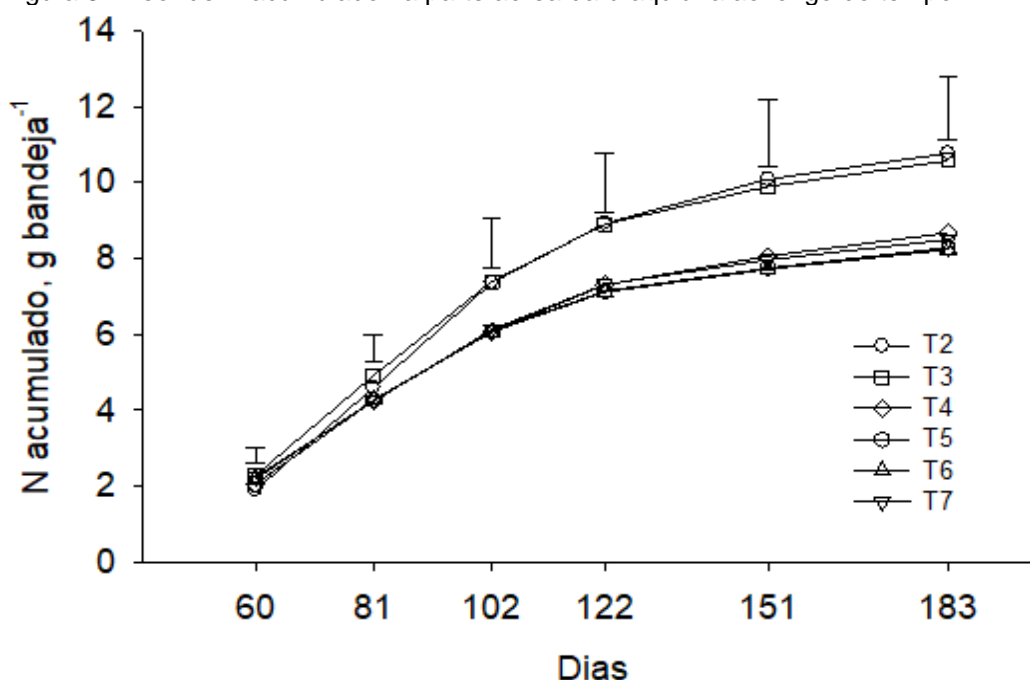
Nota ⁽¹⁾: T1: composto orgânico (controle); T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos por coleta a 5% de significância pelo teste de Tukey; ns = diferença não significativa.

O N acumulado na parte aérea da braquiária (Figura 3) teve efeito significativo dos tratamentos a partir dos 102 dias, quando os tratamentos apenas com braquiária (T2) e braquiária + FMA (T3) apresentaram maiores acúmulos que as plantas com FMA que foram cultivadas no composto previamente inoculado com as bactérias promotoras de crescimento. Este comportamento está relacionado com as maiores concentrações encontradas de N da parte aérea das plantas que cresceram no composto não inoculado com bactérias promotoras de crescimento. Como a produção de biomassa aérea não foi alterada e a concentração inicial de N mineral no substrato era similar, sugere-se que a presença das bactérias inoculadas no composto pode ter influenciado na dinâmica do N disponível, ora imobilizando, ora mineralizando, o que

pode ter interferido na dinâmica de acúmulo de N pela planta. Outro aspecto que pode ter interferido nesse resultado se refere ao efeito das bactérias promotoras de crescimento no sistema radicular. Embora não avaliadas, pois as raízes no composto são parte do inóculo de FMA que se pretendeu enriquecer no composto, estas geralmente são estimuladas pelas BPCP, o que exige N para a formação de tecidos e conseqüentemente compete pelo N a ser particionado entre raízes e parte aérea.

Figura 3 - Teor de N acumulado na parte aérea da braquiária ao longo do tempo.



Nota ⁽¹⁾: T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos.

Costa et al. (2012) registraram valores de colonização micorrízica variando de 40,1 a 51,6% já aos 60 dias após a inoculação com espécies do gênero *Rhizophagus* em *Urochloa brizantha*. A resposta da planta à micorrização pode variar ao longo do ciclo e em alguns casos apresentar uma fase lenta de colonização radicular, sem necessariamente promover o crescimento da planta (NOGUEIRA; CARDOSO, 2003). Essas respostas estão inter-relacionadas às características do ambiente, às espécies de gramíneas e aos fungos micorrízicos envolvidos (SILVA et al., 2009; COSTA et al., 2012). Entretanto, apenas a taxa de colonização não necessariamente define o efeito do endófito na planta hospedeira (SCHIAVO et al., 2010). O teor de P no solo é um dos principais fatores que influenciam na interação micorrízica logo no início da

colonização, momento em que as hifas fúngicas se desenvolvem para penetração na raiz ou ainda provenientes da germinação dos esporos (COSTA et al., 2012). Os teores de P disponível são considerados elevados, o que explica a colonização lenta das plantas de braquiária transplantadas para o composto. O teor de P disponível do composto orgânico que já era alto no início (Tabela 6), aumentou cerca de três vezes ao final do experimento, o que sugere a mineralização do nutriente nesse período. Os teores finais foram 10 vezes maiores que o adicionado no trabalho de Balota et al. (2011) que inocularam a cultura de acerola com *Gigaspora margarita*, *Glomus manihotis* e *Glomus clarum*, adicionando 0, 30, 90 e 270 mg kg⁻¹ de P (superfosfato triplo) e observaram que a colonização micorrízica e a esporulação dos fungos micorrízicos diminuíram com o aumento dos níveis de P adicionados ao solo. Em ambientes em que se encontram teores de P abaixo do ideal para o crescimento das plantas, a micorrização é maior (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), pois as plantas estimulam a associação com o fungo micorrízico, tornando assim a associação do fungo à planta inversamente proporcional à disponibilidade de P do meio (NAIR et al., 1991; SCHIAVO et al., 2010). Mesmo com altos teores de P disponível, a colonização micorrízica da braquiária atingiu mais de 50% em alguns tratamentos (Tabela 6), indicando que mesmo sob alta disponibilidade de P a formação de micorrizas pela braquiária ainda ocorre.

A coinoculação com as bactérias no composto orgânico não potencializou o efeito micorrízico para a absorção de N e P pelas plantas e acúmulo de biomassa, provavelmente porque os teores de N e P disponíveis no substrato já eram suficientemente altos para suprir as demandas da planta. Por outro lado, foi evidenciado em diversas pesquisas que a interação entre o sistema tripartite, planta - FMA - bactéria, favoreceu a biomassa da parte aérea, altura e área foliar das plantas inoculadas (VITORAZI FILHO et al., 2012; PEREIRA et al., 2013). Entretanto, os teores de P disponível nas condições daqueles ensaios foram consideravelmente menores que os do presente estudo. Neste trabalho, observou-se que mesmo havendo colonização radicular por FMA, não houve resposta de crescimento da braquiária e nem nos teores foliares de P e N (Tabela 7) das plantas inoculadas com os microrganismos. Este comportamento pode ser atribuído aos elevados teores de nutrientes, especialmente o P disponível no composto orgânico (Tabela 6). Comportamento semelhante foi verificado com a inoculação de *Rhizophagus clarus*

para obtenção de mudas de pinhão manso, em que a planta apresentou baixa resposta, dependendo da dose aplicada de composto no substrato de cultivo, que resultou até em interação negativa do fungo com a planta (SCHIAVO et al., 2010). Ambientes com altos teores de P e espécies de FMA que desenvolvem altas taxas de colonização podem demandar grande quantidade de carboidratos da planta hospedeira, gerando depressão no crescimento do vegetal (JOHNSON et al., 1997; SANTOS et al., 2001; RONDINA et al., 2014; ZANGARO et al., 2018). Entretanto, no presente estudo, apesar da alta disponibilidade de P, não houve efeito negativo para a braquiária inoculada com fungo micorrízico.

Além do P, o teor de N do solo também pode influenciar a colonização micorrízica, pois em alta disponibilidade de P e baixo teor de N, pode haver aumento da colonização, enquanto que em alta disponibilidade de P e N, ocorre redução da colonização (SANTOS et al., 2001). Santos et al. (2001) verificaram queda na produção de matéria seca da parte aérea em braquiária micorrizada quando recebeu adubação nitrogenada. Porém, em elevadas doses de N, a esporulação foi estimulada no estudo de Delbem et al. (2010), que aplicaram diferentes fontes e doses de nitrogênio (ureia e sulfato de amônio) no solo cultivado com *Urochloa brizantha* e observaram aumento da quantidade de esporos de FMA, atribuído ao estresse decorrente dos níveis elevados de N do solo. Em outro estudo sobre a inoculação com FMA e uso de vermicomposto como adubação, não houve favorecimento do crescimento das plantas em relação ao solo em que não se aplicou composto (COELHO et al., 2012). A esporulação do FMA pode estar relacionada ao teor de matéria orgânica do solo (CAVALCANTE et al., 2008), pois dependendo da combinação do tipo de substrato, dos níveis de fertilidade e do volume do recipiente de cultivo os FMAs ainda afetam o crescimento das plântulas de maneira positiva ou negativa (RONDINA et al., 2014; ZANGARO et al., 2015).

Deve ser levado em consideração que o auxílio do FMA na absorção dos nutrientes pelas plantas é controlado pelas condições do meio, e em condições de elevada fertilidade do solo, especialmente N e P, podem inibir a colonização do fungo em seu hospedeiro ou até mesmo, inibir seus efeitos. Já no solo de baixa fertilidade, os FMAs podem amenizar problemas causados pela degradação do solo (CAVALCANTE et al., 2008). Estudos de Zangaro et al. (2018) demonstraram que no solo de alta fertilidade, as gramíneas (*U. brizantha*, *Megathyrsus maximus* e *Paspalum*

notatum) não micorrizadas produziram três vezes mais massa seca da parte aérea do que gramíneas micorrizadas. Mesmo assim, no solo de alta fertilidade, a concentração de P na parte aérea do *M. maximus* e *P. notatum* foi maior no tratamento inoculado com FMA do que no tratamento não inoculado. Por outro lado, as três gramíneas foram totalmente dependentes do FMA quando cultivadas no solo de baixa fertilidade, resultando em 100% de resposta. Alguns autores relataram o efeito do FMA em plantas cultivadas em áreas degradadas com sua alta capacidade responsiva à micorrização (SCABORA et al., 2010; SILVA et al., 2012; ZANGARO et al., 2014, 2018).

5.2 EFEITO NAS CULTURAS DO MILHO E DO TRIGO A CAMPO

Na cultura de milho segunda safra, o uso do composto orgânico enriquecido com microrganismos não influenciou na massa seca da parte aérea avaliada aos 35 DAS (Tabela 8). As raízes do milho que recebeu composto orgânico enriquecido com os microrganismos apresentaram as maiores taxas de colonização micorrízica, mas não houve diferenças nos teores foliares de N e P. O milho que recebeu o composto orgânico enriquecido apenas com FMA apresentou a maior produtividade de grãos em relação ao controle sem composto (TC) e aos tratamentos com composto enriquecido com FMA mais as bactérias *Azoarcus* (T5) e *Bacillus subtilis* (T6).

Tabela 8 - Massa seca da parte aérea (MSPA), colonização micorrízica, teores foliares de N e P e produtividade do milho segunda safra 2017 em experimento realizado a campo.

Tratamentos ⁽¹⁾	MSPA	Colonização micorrízica	N foliar	P foliar	Produtividade
	g planta ⁻¹	%	g kg ⁻¹		
TC	14,8 ^{(2)ns}	-	29,8 ^{ns}	3,02 ^{ns}	4585 B
T1	13,8	27 C	30,2	2,98	5111 AB
T2	14,6	33 BC	29,5	2,96	5103 AB
T3	15,6	44 AB	28,6	2,83	5576 A
T4	13,9	55 A	28,2	2,95	4820 AB
T5	12,5	54 A	28,6	3,03	4366 B
T6	12,4	51 A	28,1	2,92	4633 B
T7	12,1	56 A	29,3	2,98	5035 AB
Média	23,5	46	29,0	2,96	4904
CV (%)	13,7	15,0	5,78	4,64	11,7

Note ⁽¹⁾: TC: controle; T1: composto orgânico; T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entres os tratamentos a 5% de significância pelo teste de Duncan; ns = diferença não significativa.

O milho que recebeu os compostos orgânicos sem enriquecimento com microrganismos (T1 e T2) apresentou a menor taxa de colonização micorrízica, resultante apenas dos FMAs existentes no solo. Destacam-se os tratamentos que, além de FMA, também receberam as BPCP's no composto, o que aumentou a colonização das plantas de milho no campo. A colonização micorrízica do milho pode variar com a espécie de FMA e, além disso, a composição de espécies e densidade de inóculo de fungos micorrízicos nativos no solo pode influenciar a eficiência da espécie introduzida (CAVALCANTE et al., 2008).

As plantas de milho que receberam o composto orgânico enriquecido apenas com propágulos de *Rhizophagus clarus* apresentaram aumento de 21% na produtividade de grãos comparada com o controle sem composto (TC). As produtividades de grãos alcançadas na maioria dos tratamentos foram menores que a média nacional para o milho de segunda safra em 2017, que foi de 5.560 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018), com exceção do tratamento que recebeu composto apenas com o FMA, em que a produtividade foi equivalente à média nacional. Samarão et al. (2011) observaram que a inoculação de *R. clarum*, *Gigaspora margarita* e inóculo nativo promoveu respostas positivas no crescimento e na nutrição de mudas de gravioleira, uma frutífera perene. Entretanto, são raros os estudos com uso de fungos micorrízicos em culturas extensivas anuais. Essa escassez se dá pelo fato de a multiplicação de propágulos de FMA não ser fácil, por exigir um hospedeiro vivo para completar o ciclo, o que dificulta a produção, transporte, armazenamento e aplicação de inoculantes à base de FMA. Entretanto, a estratégia adotada no presente estudo, de enriquecer um composto orgânico com microrganismos de interesse e empregá-lo como veículo, pode ser promissora nesse caso em que a produção do inóculo em laboratório não é possível.

Para a cultura de trigo, o uso do composto orgânico enriquecido com os microrganismos não influenciou a produção de massa das plantas aos 25 DAE (Tabela 9). Já as raízes apresentaram maiores taxas de colonização micorrízica, em torno de 50% nos tratamentos que receberam o composto orgânico enriquecido com FMA, independentemente das BPCP previamente inoculadas no composto. Nos tratamentos sem enriquecimento de FMA a colonização micorrízica foi de 30%. Não houve efeito dos tratamentos nos teores foliares de N, enquanto que os maiores teores de P foram observados nos tratamentos com FMA e BPCP, estatisticamente

superiores aos tratamentos T2 (apenas braquiária) e T3 (braquiária + FMA), porém sem diferir dos tratamentos controles TC (adubação química recomendada) e T1 (apenas composto). Essa resposta foi similar à observada para a produtividade de grãos, isto é, foi maior nos tratamentos que receberam composto com FMA e BPCP, porém sem diferir dos controles TC e T1. Não houve efeito dos tratamentos sobre a densidade de grãos, expresso pelo PH.

Tabela 9 - Massa seca da parte área (MSPA) aos 25 DAE, colonização micorrízica, N e P foliar, produtividade e peso hectolitro (PH) do trigo na safra 2017 em experimento realizado a campo.

Tratamentos ⁽¹⁾	MSPA	Colonização micorrízica	N foliar	P foliar	Produtividade	PH
	g m ⁻¹	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg hl ⁻¹
TC	58,7 ^{(2) ns}	-	38,5 ^{ns}	2,21 ABC	3043 AB	80 ^{ns}
T1	58,7	26 B	35,5	2,28 A	3161 A	80
T2	63,5	33 B	36,2	2,10 C	2873 B	81
T3	56,3	50 A	34,7	2,11 BC	2926 B	81
T4	59,4	51 A	34,0	2,33 A	3161 A	80
T5	58,7	50 A	32,3	2,26 AB	3132 A	80
T6	52,0	49 A	33,8	2,24 ABC	3195 A	80
T7	52,6	52 A	35,7	2,19 ABC	3181 A	81
Média	57,5	44	31,1	2,21	3084	81
CV (%)	26,8	13,8	9,57	5,27	7,34	1,00

Note ⁽¹⁾: TC: controle; T1: composto orgânico; T2: composto orgânico + braquiária; T3: composto orgânico + braquiária + FMA; T4: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azorhizobium*; T5: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azoarcus*; T6: composto orgânico + braquiária + FMA + *Bacillus subtilis*; T7: composto orgânico + braquiária + FMA + *Azotobacter*.

Nota ⁽²⁾: Letras distintas indicam diferença estatística entre os tratamentos a 5% de significância pelo teste de Duncan; ns = diferença não significativa.

Mesmo o trigo e o milho apresentando maiores taxas de colonização micorrízica nos tratamentos que receberam composto enriquecido com FMA e BPCP, ou mesmo FMA, houve apenas algum efeito nos teores de P apenas para o trigo, porém sem diferir dos tratamentos controle sem adição de propágulos de FMA. É preciso levar em conta que os teores de P no solo onde as culturas foram instaladas não era limitante, o que pode limitar a resposta ao aumento da colonização micorrízica. Entretanto, o que se torna relevante é o fato de o composto enriquecido com FMA, independente da presença de BPCP, ter aumentado a colonização micorrízica. Por sua vez, a microbiota do solo pode afetar o funcionamento da simbiose micorrízica, atuando sobre o fungo, na translocação de nutrientes pelo micélio externo, competindo por nutrientes do solo, inclusive fosfatos ou, ao contrário, pode atuar sinergicamente com os FMA por meio de efeitos combinados sobre o crescimento da planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; CAVALCANTE et al., 2008).

Neste aspecto, as rizobactérias, entre as quais as que solubilizam fosfato, como *Bacillus subtilis* e *Enterobacter*, atuam melhorando os estádios de pré-colonização dos FMA, enquanto bactérias fixadoras de nitrogênio, como *Azotobacter* e *Rhizobium* parecem melhorar a extensão da colonização micorrízica e aumentar o crescimento da planta (CAVALCANTE et al., 2008). No entanto, tanto o milho quanto o trigo não foram beneficiados pelos efeitos sinérgicos bactérias-FMA dos compostos orgânicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas em campo. A não resposta à colonização dos FMAs e das bactérias introduzidas no solo não-estéril pode ser resultante da competitividade com os microrganismos já estabelecidos no mesmo solo (SAMARÃO et al., 2011). Apesar da não observação de respostas no crescimento e produtividade das culturas, o efeito positivo sobre a colonização micorrízica pode resultar uma melhor performance da planta sob condição ambiental adversa, como restrição hídrica, por exemplo. Mais estudos envolvendo outras culturas continuam a ser executados visando explorar o potencial de microrganismos benéficos via composto orgânico sobre culturas anuais.

6 CONCLUSÕES

O enriquecimento do composto orgânico com microrganismos promotores de crescimento de plantas foi mais evidente como inóculo de fungo micorrízico, uma vez que o uso do composto enriquecido aumentou a colonização micorrízica arbuscular das culturas de milho e trigo cultivadas em condições de campo, enquanto que as respostas em termos de teores foliares de P e produtividade de grãos foram variáveis e instigam futuras investigações para compreender os mecanismos que levaram ao aumento da produtividade em alguns tratamentos de composto enriquecido com FMA em relação aos tratamentos apenas com composto orgânico não enriquecido com FMA. Não foi constatada interação entre bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos no composto orgânico aplicado às culturas de milho e trigo.

7 CONSIDERAÇÕES

- O período empregado para enriquecer o composto orgânico com os microrganismos foi necessário para avaliar a efetividade dos microrganismos em se estabelecer. Devido à riqueza do composto, principalmente quanto ao P disponível, a colonização micorrízica da braquiária cultivada no composto foi lenta até os primeiros 100 dias, tendo aumentado posteriormente.
- As condições e características do composto orgânico, ambiente não estéril e a alta disponibilidade de nutrientes (N e P) podem ter limitado a manifestação dos efeitos das bactérias inoculadas, pela competição interespecífica com outros microrganismos, sem efeito no potencial de inóculo de fungo micorrízico no composto orgânico estudado. Dessa maneira, deve-se realizar mais estudos com enriquecimento de microrganismos em compostos orgânicos de características distintas e/ou em composto orgânico esterilizado.
- O uso do composto orgânico enriquecido com microrganismos promotores de crescimento de plantas nas culturas de milho e de trigo a campo pode não ter proporcionado efeitos significativos variáveis na produção de grãos pelas condições ideais de clima e solo em que a cultura foi conduzida, uma vez que a produtividade da cultura de trigo foi semelhante ao tratamento convencional, porém superior aos dois tratamentos apenas com composto sem enriquecimento com FMA. Como o composto enriquecido com FMA aumentou a colonização micorrízica das plantas a campo, é possível que essas plantas tenham vantagem competitiva em um ambiente com menor disponibilidade de P ou que passem por um período de restrição hídrica moderada. Futuros trabalhos serão conduzidos com outras culturas em ambientes mais limitantes ao desenvolvimento vegetal.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil** - 2016. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <
http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso 16 dez. 2017.
- ALVARENGA, R. C.; NOVOTNY, E. H.; PEREIRA FILHO, I.; SANTANA, D. P.; PEREIRA, F. T. F.; HERNANI, L. C. **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, 6 eds., 2010. Disponível em:
 <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27037/1/Plantio.pdf> >. Acesso em 10 dez. 2017.
- ANDRADE, F. C.; DAL BOSCO, T. C.; MICHELS, R. N.; BRIGANO, C.; SANTOS, E. L. Treatment of organic solid waste generated at agricultural research corporation via composting under natural and controlled conditions. **Acta scientiarum. Technology (online)**, v. 40, p. 29643, 2018.
- ARAUJO, F. F. de; BRAGANTE, R. J.; BRAGANTE, C. E. Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 220-224, 2012.
- ARORA, M.; SAXENA, P.; CHOUDHARY, D. V.; ABDIN, M. Z.; VARMA, A. Dual symbiosis between *Piriformospora indica* and *Azotobacter chroococcum* enhances the artemisinin content in *Artemisia annua* L. **World J. Microbiol Biotechnol**, v. 32, n.2, p. 19, 2016.
- ARTURSSON, V.; FINLAY, R.D.; JANSSON, J.K. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth. **Environmental Microbiology**, v.8, p.1-10, 2006.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; COLAUTO STENZEL, N. M. Resposta da acerola à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares em solo com diferentes níveis de fósforo. **Bragantia**, v. 70, n. 1, 2011.
- BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. C. A cultura do milho. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia, 2014.
- BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; MARIA, I. C. de; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 46, n.10, p.1154-1160, 2011.
- BECKING, J. H. The Genus *Beijerinckia*. In: BALOWS, A.; TRIPPER, H.G.; DWORKIN, M.; ARDER, W.; SCHLEIDER, K.-H., ed. *The prokaryotes*. 2.ed. New York: Springer-Verlag, p. 2254-2267, 1991.

BRASIL. **Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004**. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm>. Acesso em: 05 mar. 2018.

_____. **Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28 jan. 2018.

BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L. C.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 485-497, 2017.

BROWN, S.; KRUGER, C.; SUBLER, S. Greenhouse gas balance for composting operations. **Journal of environmental quality**, v. 37, n. 4, p. 1396-1410, 2008.

BRUNDRETT, M. C.; BOUGHER, N.; DELL, B.; GROVE, T.; MALAJCZUK, N. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Canberra: **Australian Centre for International Agricultural Research**, 1996. 374 p.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L de; SILVA, M. S. Capítulo 1: **origem, evolução e melhoramento genético**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 309 p.

CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B. T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. In: Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, v. 5, p.180-208, 2008.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; ...; QUAGGIO, J. A. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. Piracicaba, ESALQ, 2ed., 2016.

CARMO, C. A. F. de S.; ARAÚJO, W. S. de; BENARDI, A. C. de C.; SALDANHA, M. F. C. Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos. **Embrapa Solos-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2000.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1211- 1220. Lavras-MG, 2012.

COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. de. Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha. **Embrapa Milho e Sorgo- Circular Técnica**, n. 111, 2008.

COELHO, I.R.; CAVALCANTE, U.M.T.; CAMPOS, M.A.S.; SILVA, F.S.B. Uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) na promoção do crescimento de mudas de pinheira (*Annona squamosa* L., Annonaceae). **Acta Botânica Brasílica**, v.26, n.4, p.933-937, 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2017/18**. v. 5, n. 8, maio 2018. Disponível em: file:///C:/Users/Sony/Downloads/BoletimZ8ZLev.ZMaioZ2018.pdf. > Acesso em 10 mai. 2018.

COOK, R. J. Management of resident plant growth-promoting rhizobacteria with the cropping system: a review of experience in the US Pacific Northwest. **European Journal of Plant Pathology**, v. 119, p. 255-264, 2007.

CORDAZZO, C. V.; STURMER, S. L. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares em *Panicum racemosum* (P. Beauv.) Spreng (Poaceae) em dunas costeiras do extremo sul do Brasil. **Atlântica**, Rio grande do Sul, v. 29, n.1, p. 65-68, 2007.

COSTA, N. L de; PAULINO, V. T.; COSTA, R. S. C.; ARAÚJO PEREIRA, R. G.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A. Efeito de micorrizas arbusculares sobre o crescimento e nutrição mineral de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira**, v. 13, n. 4, p. 406-411, 2012.

COSTA, P. D. de; GRANADA, C.E.; AMBROSINI, A.; MOREIRA, F.; SOUZA, R. de; PASSOS, J. F. M. dos; ARRUDA, L.; PASSAGLIA, L. M. P. A Model to Explain Plant Growth Promotion Traits: A Multivariate Analysis of 2,211 Bacterial Isolates. **Journal Plos One**, v. 9, n. 1, 2014.

CRUZ, J. C.; MAGALHAES, P.; PEREIRA FILHO, I. A.; MOREIRA, J. Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa Milho e Sorgo-Coleção Criar, Plantar, ABC, 500P/500R (INFOTECA-E)**, 2011.

DELBEM, F. C.; SCABORA, M. H.; VIEGA SOARES FILHO, C.; HEINRICHS, R.; FERRARI, T. A.; RODRIGUES CASSIOLATO, A. M. Colonização micorrízica e fertilidade do solo submetido a fontes e doses de adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n 3, 2010.

DING, Y. Q.; WANG, J. P.; LIU, Y.; CHEN, S. F. Isolation and identification of nitrogen-fixing bacilli from plant rhizosphere in Beijing region. **Journal Applied Microbiology**, v. 99, p. 1271-1281, 2005.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. **Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não-leguminosas**. Brasília, EMBRAPA; Seropédica, EMBRAPA-CNPAB. 60 p, 1995.

- DÖBEREINER, J.; ANDRADE, V. de O.; BALDANI, V. L. D. Protocolos para preparo de meios de cultura da Embrapa Agrobiologia. **Embrapa Agrobiologia-Documentos (INFOTECA-E)**, 1999.
- DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; e VIANA, J. M. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa Solos-Documentos (INFOTECA-E), 2011.
- DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. de O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n.5, p. 640-645, 2013.
- EL-KHAWAS, H.; ADACHI, K. Identification and quantification of auxins in culture media of Azospirillum and Klebsiela and their effect on rice roots. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v.28, p. 377-381, 1999.
- FARIAS, A. R.; MINGOTI, R.; HOLLER, W. A.; SPADOTTO, C. A.; LOVISI FILHO, E.; MORI, C. de; CUNHA, G. R. da; DOSSA, A. A.; FERNANDES, J. M. C. F.; SILVA, M. S. Potencial de produção de trigo no Brasil a partir de diferentes cenários de expansão da área de cultivo. **Passo Fundo: Embrapa Trigo; Campinas: Embrapa Gestão Territorial**, 2016. 40 p.
- FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTINETO, L. Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. **Bioresource Technology**, v. 101, p.1927-1934, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciências e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FRANCHE, C.; LINDSTRÖM, K.; ELMERICH, C. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. **Plant and Soil**, v. 321, p. 35-59, 2009.
- FREY-KLETT, P.; GARBAYE, J. A.; TARKKA, M. The mycorrhizal helper bacteria revisited. **New phytologist**, v. 176, n. 1, p. 22-36, 2007.
- GALLO, L. A. Metabolismo do nitrogênio: ciclo do nitrogênio. **Universidade São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, Depto. Ciências biológicas**, 2013. Disponível em: <<http://docentes.esalq.usp.br/luagallos/nitrogenio.htm>>. Acesso em 10 dez. 2017.
- GRAHAM, J. H.; ABBOTT, L. K. Wheat responses to aggressive and non aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 220, p.207-218, 2000.
- GRAY, E.J.; SMITH, D. L. Intracellular and extracelular PGPR: commonalities and distinctions in the plant-bacterium signaling processes. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 395-412, 2005.

GUERRA-RODRÍGUEZ, E.; VÁZQUEZ, M.; DÍAZ-RAVIÑA, M. Dynamics of the co-composting of barley waste with liquid poultry manure. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 3, p. 166-172, 2003.

HECK, K.; MARCO, É. G. de; HAHN, A. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; VAN DER SAND, S. T. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, 2013.

HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. EMBRAPA, Brasília, 1994. (EMBRAPA CNPAF. Documentos, 46).

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. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, v. 331, p. 413-425, 2010.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Médias históricas em estações do IAPAR**: município de Londrina. 2017. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm>. Acesso 10 dez. 2017.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris, e a questão dos catadores**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. 2012. Acesso 16 dez. 2017.

JOHNSON, N. C.; GRAHAM, J. H.; SMITH, F. A. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. **New Phytol**, v. 35, p. 575-585, 1997.

KENNEDY, I. R.; CHOUDHURY, A. T. M. A.; KECSKÉS, M. L. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 1229-1244, 2004.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba-SP, 4 ed., 2004.

KRAVECHENCKO, L.V; MAKAROVA, N. M.; AZAROVA, T. S.; PROVOROV, N. A.; TIKHONOVICH, I. A. Isolation and phenotypic characterization of plant growth-

promoting rhizobacteria with antiphytopathogenic activity and root-colonizing ability. **Microbiology**, v. 71, n. 4, p. 444-448, 2002.

KOC, A.; BALCI, G.; ERTURK, Y.; KELES, H.; BAKOGLU, N.; ERCISLI, S. Influence of arbuscular mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria on proline content, membrane permeability and growth of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) under salt stress. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 89, p. 89-97, 2016.

KUSS, A. V.; KUSS, V. V.; LOVATO, T.; FLÔRES, M. L. Fixação de nitrogênio e produção de ácido intolacético *in vitro* por bactérias diazotróficas endofíticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1459-1465, 2007.

LACEY, L. A.; FRUTOS, R.; KAYA, H. K.; VANDERLEYDEN, J. Insect pathogens as biological control agents: do you have a future? **Biological Control**, v. 21, p. 230-248, 2001.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G.; ESPINDOLA, J. A.; ARAÚJO, E. da S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, 2013.

LIMA, F. F.; NUNES, L. A.; FIGUEIREDO, M. D. V. ARAÚJO, F. F. de; LIMA, L. M.; ARAÚJO, A. S de. *Bacillus subtilis* e adubação nitrogenada na produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 4, p.657-661, 2011.

LIMA FILHO, O. F de. **Toxidez de micronutrientes em sorgo-sacarino: fotossíntese**. Embrapa Agropecuária Oeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2016. Disponível em; <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1059140/1/BP752016.pdf>>. Acesso em 10 jan. 2018.

LUDWIG, F.; FERNANDES, D. M.; MOTA, P. R. D. A.; BÔAS, R. L. V. Micronutrientes em cultivares de gérbera de vaso. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 18, n. 2, p. 121-128, 2012.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: Carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant Soil**, v. 269, p. 45–56, 2005.

MALAVOLTA, E. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações/Eurípedes Malavolta, Godofredo Cesar Vitti, Sebastião Alberto de Oliveira, 2. ed., ver. e atual. **Piracicaba**: Potafos, 1997.

MAMATHA, G.; BAGYARAJ, D.; JAGANATH, S. Inoculation of field-established mulberry and papaya with arbuscular mycorrhizal fungi and a mycorrhiza helper bacterium. **Mycorrhiza**, v. 12, p. 313-316, 2002.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 25 de Julho de 2009: normas sobre as especificações e as garantias, as**

tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. 2009.

MARIANO, R. D. L. R.; SILVEIRA, E. B. da; ASSIS, S. M. P. de; GOMES, A. M. A.; NASCIMENTO, A. R. P.; DONATO, V. M. T. S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. *In: Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v. 1, p. 89-111, 2004.

MARINHO, N. F.; CAPRONI, A. L.; FRANCO, A. A.; BERBARA, R. L. L. Respostas de *Acacia mangium* Willd e *Sclerolobium paniculatum* Vogel a fungos micorrízicos arbusculares nativos provenientes de áreas degradadas pela mineração de bauxita na Amazônia. *Acta Botanica Brasilica*, v.18, n.1, p. 141-149, 2004.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil*, v. 9, n. 1, p. 89-102, 1994.

MCGONIGLE, T. P.; EVANS, D. G.; MILLER, M. H. Effects of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytol.*, v.116, p. 629-636, 1990.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, cell & environment*, v. 33, n. 4, p. 453-457. 2010.

MIRANDA, K. M.; ESPEY, M. G.; WINK, D. A. A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. *Nitric Oxide*, v.5, n.1, p.62-71, 2001.

MIRANSARI, M. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 89, n. 4, p.917-930, 2011.

MORI, C. de; ANTUNES, J. M.; FAÉ, G. S.; ACOSTA, A. S.; Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde, Brasília, DF: Embrapa, 2016. 309 p.

MORTIMER, P. E.; LE ROUX, M. R.; PÉREZ-FERNÁNDEZ, M. A.; BENEDITO, V. A.; KLEINERT, A.; XU, J.; VALENTINE, A. J. The dual symbiosis between arbuscular mycorrhiza and nitrogen fixing bacteria benefits the growth and nutrition of the woody invasive legume *Acacia cyclops* under nutrient limiting conditions. *Plant Soil*, v. 366, p. 229–241, 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 5a ed., Editora UFLA: Lavras, 2006.

MOREIRA, F. M. D. S.; SILVA, K. da; NÓBREGA, R. S. A.; DE CARVALHO, F. Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. *Comunicata Scientiae*, v. 1, n. 2, p. 74-99, 2010.

- NAIR, M. G.; SAFIR, G. N.; SIQUEIRA, J. O. Isolation and identification of vesicular-arbuscular mycorrhiza stimulatory compounds from clover (*Trifolium repens*) roots. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 57, n. 2, p. 434-439, 1991.
- NAKAJIMA, A.; TOSHIHIRO, A.; SHUHEI, T.; LOWELA, S.; TETSUHIRO, O.; HIROSHI, O. Lon Protease of *Azorhizobium caulinodans* ORS571 Is Required for Suppression of reb Gene Expression. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 17, p. 6251–6261, 2012.
- NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Mycorrhizal effectiveness and manganese toxicity in soybean as affected by soil type and endophyte. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 2, p. 329-335, 2003.
- NUNES, A.S.; SOUZA, L.C.F.; MERCANTE, F.M. Adubos verdes e adubação mineral nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v.70, p.432-438, 2011.
- OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal. Embrapa Agrobiologia-Documents 161 (INFOTECA-E), 2003.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 3, p. 483-491, 2009.
- ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de L. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.
- PATERNIANI, E.; CAMPOS, M. S. Melhoramento do milho. In: BORÉM, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, [s.n.]. p. 429-485, 1999.
- PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; RÉGO FARIAS, E. T. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44-48, 2013.
- PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, p.18-70, 2007.
- PEREIRA, M. G.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S. de; STAMFORD, N. P.; ROCHA, G. S. D. C. da; BARBOSA, A. T. Interações entre fungos micorrízicos arbusculares, rizóbio e actinomicetos na rizosfera de soja. **Revista Brasileira Engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, n.12, 2013.
- PEREIRA FILHO, I. A. Apresentação. Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção, 9ª edição, v.1, ISSN 1679-012X, 2015. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemaasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_->

76293187_sistemaProducaoId=7905&p_r_p_-996514994_topicoid=8658>. Acesso em 10 dez. 2017.

PIANA, C. F. de B; CARVALHO, F. I. F. de. Trigo: a cultura que deu suporte à civilização. In: BARBIERI, R. L.; STUMPF, E. R. T. Origem e evolução de plantas cultivadas. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2008. 909 p.

PICCININ, G. G.; BRACCINI, A. L.; MORAIS DAN, L. G. de; BAZO, G. L.; HOSSA, K. R.; PONCE, R. M. Rendimento e desempenho agrônômico da cultura do trigo em manejo com *Azospirillum brasilense*. **Agrarian**, v. 6, n 22, p. 393-401, 2013.

PIRES, A.; MARTINHO, G.; NI-BIN, C. Solid state management in European countries. A review of systems analysis techniques. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, 2011.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C., FRONZA, V., ÁLVARES DE OLIVEIRA, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n.1, 2013.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

RAGASSI, C. F.; PEDROSA, A. W.; FAVARIN, J. L. Aspectos positivos e riscos no consórcio cafeeiro e braquiária. **Visão agrícola**, n. 12, 2013.

RAMOS, A. C.; FAÇANHA, A. R.; FEIJÓ, J. A. Proton (H⁺) flux signature for the presymbiotic development of the arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 178, n. 1, p. 177-188, 2008.

RODRIGUES, P. N.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; COSTA, R. N.; PEDROSA, E. M.; OLIVEIRA, V. S. Efeito do composto orgânico e compactação do solo no milho e nutrientes do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 788-793, 2011.

RODRIGUES, A. C.; ANTUNES, J. E. L.; MEDEIROS, V. V. de, BARROS, F. B. G. de; FIGUEIREDO, M. D. V. B. Resposta da coinoculação de bactérias promotoras de crescimento em plantas e *Bradyrhizobium* sp. em caupi. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 196-202, 2012.

RONDINA, A. B. L.; LESCANO, L. E. A. M.; ALVES, R. A.; MATSUURA, E. M.; NOGUEIRA, M. A.; ZANGARO, W. Arbuscular mycorrhizas increase survival, precocity and flowering of herbaceous and shrubby species of early stages of tropical succession in pot cultivation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 30, n. 6, p. 599-614, 2014.

SABOYA, R. C. C.; CHAGAS Jr, F.; MONTEIRO, F. P. R.; SANTOS, G. R.; ERASMO, E. A. L.; CHAGAS, L. F. B. Fungos Micorrízicos arbusculares afetando a produção de mudas de pinhão manso na região sul do estado de Tocantins, Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p. 142-146, 2012.

SALA, V. M. R.; SANTOS FREITAS, S. dos.; DONZELI, V. P.; FREITAS, J. G.; GALLO, P. B.; SILVEIRA, A. P. da D. Ocorrência e efeito de bactérias diazotróficas em genótipos de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, 2005.

SALA, V. M. R.; SANTOS FREITAS, S. dos.; SILVEIRA, A. P. D. das. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 11, p. 1593-1600, 2007.

SAMARÃO, S. S.; RODRIGUES, L. A.; MARTINS, M. A.; MANHÃES, T. N.; ALVIM, L. A da M. Desempenho de mudas de gravioleira inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares em solo não-esterilizado, com diferentes doses de fósforo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 3, n. 1, p. 81-88, 2011.

SANTOS, I. P. A.; PINTO, J. C.; SIQUEIRA, J. O.; MORAIS, A. R.; CURI, N.; EVANGELISTA, A.R. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiário e amendoim forrageiro consorciados. 1. Rendimento de matéria seca da parte aérea e da raiz. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, p.1206-1215, 2001.

SANTOS, A. A. do E.; LIMA, J. S.; CARVALHO, G. C. de. Técnicas de aplicação de composto orgânico, proveniente de resíduos urbanos domésticos, no desenvolvimento vegetal. **In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2002.

SARTORI, V. C.; RIBEIRO, R. T. da S.; PAULETTI, G. F.; PANSEIRA, M. R.; RUPP, L. C. D.; VENTURIN, L. **Compostagem: Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos**. Cartilha para agricultores. Universidade de Caxias do Sul- RS, 2011.

SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; RODRIGUES CASSIOLATO, A. N. A. Crescimento, fosfatase ácida e micorrização de espécies arbóreas, em solo de cerrado degradado. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 445-451, 2010.

SCHIAVO, J. A.; SILVA, C. A. D.; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M. L.; CAMARGO DE SOUSA, R. A.; CAPPI, N. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 322-329, 2010.

SCHUH, G; GOTTARDI, R; FERRARI FILHO, E.; ANTUNES, L. E. G.; DIONELLO, R. G. Efeitos de dois métodos de secagem sobre a qualidade físico-química de grãos de milho safrinha – RS, armazenados por 6 meses. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 235-244, 2011.

SCHUSTER, E.; SCHRODER, D. Side effects of sequentially applied pesticides on target soil microorganisms: field experiments. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 22 p. 67-373, 1990.

SEARLE, P. L. The Berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. **Analyst**. v. 109, n. 5, p. 549-568, 1984.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R.; STÜRNER, S. L. Fungos micorrízicos arbusculares. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 25, 2002.

SIQUEIRA, T. M. O. D.; ABREU, M. J. D. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 4, p. 38-43, 2016.

SIDDIQUI, Z. A.; MAHMOOD, I. Role of bacteria in the management of plant parasitic nematodes: a review. **Bioresource Technology**, v. 69, p. 167-179, 1999.

SILVA, G. A.; SIQUEIRA, J.O.; STÜRME, S.L. Eficiência de fungos micorrízicos arbusculares isolados de solos sob diferentes sistemas de uso na região do Alto Solimões na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.39, n.3, p.477-488, 2009.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF, 2ª ed. rev. Ampl., p.399- 407, 2009.

SILVA, C. F. da; SIMÕES-ARAÚJO, J. L.; SILVA, E. M. R. da; PEREIRA, M. G.; FREITAS, M. S. M.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e proteína do solo relacionada à glomalina em área degradada por extração de argila e revegetada com eucalipto e acácia. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 749-761, 2012.

SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2017. In: X Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

SMITH, S. E.; READ, D. J. Mycorrhizal symbiosis. **Academic Press**, 2008.

SMITH, S. E.; JAKOBSEN, I.; GROLUND, M.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: Interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiol** v. 156, n. 1050–1057, 2011.

SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O.; CARVALHO, J. G. de; GUILHERME, L. R. G. Nutrição fosfática e micorriza arbuscular na redução da toxicidade de cádmio em trema [*Trema micrantha* (L.) Blum.]. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 783-792, 2007.

SOLÍS-DOMÍNGUEZ, F. A.; VALENTÍN-VARGAS, A.; CHOROVER, J.; MAIER, R. M. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on plant biomass and the rhizosphere microbial community structure of mesquite grown in acidic lead/zinc mine tailings. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 6, p. 1009-1016, 2011.

SOROKIN, I. D.; KRAVCHENKO, I. K.; TOUROVA, T. P.; KOLGANOVA, T. V.; BOULYGINA, E. S.; SOROKIN, D. Y. *Bacillus alkalidiazotrophicus* sp. nov., a

Diazotrophic, Low Salt-Tolerant Alkaliphile Isolated from Mongolian Soda Soil, **International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology**, v. 58, n.10, p. 2459– 2464, 2008.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; SÁ, M. E. D.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 447-454, 2011.

SUBBARAO, G.V.; SAHRAWAT, K.L.; NAKAHARA, K.; RAO, I.M.; ISHITANI, M.; HASH, C.T.; KISHI, M.; BONNETT, D; BERRY, W; LATA, J.C. 2013. A paradigm shift towards low-nitrifying systems: The role of biological nitrification inhibition (BNI). **Annals of Botany**, v. 112, n. 2, p. 297–316, 2013.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Departamento de solos: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Boletim técnico, v. 5, 1995, 175p.

TIESSEN, H., SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Organic matter turnover and management in low input agriculture of NE Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 99-103, 2001.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**. v. 58, n. 1, p. 60-76, 2009.

VITORAZI FILHO, J. A.; LIMA, K. B.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; OLIVARES, F. L. Crescimento de mudas de maracujazeiro-doce inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas sob diferentes doses de fósforo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 2, p. 442-450, 2012.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L. C.; PINNOW, C.; FLORES, M. F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 90-100, 2013.

XAVIER, L. J. C.; GERMIDA, J. J. Response of lentil under controlled conditions to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia varying in efficacy. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, p. 181-188, 2002.

XIE, G.H.; SU, B.L.; CUI, Z.J. Isolation and identification of N₂-fixing strains of *Bacillus* in rice rhizosphere of the Yangtze River valley. **Acta Microbiologica Sinica**, v. 38, p. 480–483, 1998.

ZANGARO, W.; ALVES R. A.; SOUZA, P. B.; ROSTIROLA, L. V.; LESCANO, L. E. A. M.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A. Succession and environmental variation influence soil exploration potential by fine roots and mycorrhizal fungi in an Atlantic ecosystem in southern Brazil. **Journal Tropical Ecology**, v. 30, p. 237-248, 2014.

ZANGARO, W.; TOREZAN, J. M. D.; ROSTIROLA, L. V.; SOUZA, P. B. D.; NOGUEIRA, M. A. Influence of mycorrhizas, organic substrates and container volumes on the growth of *Heliocarpus popayanensis* Kunth. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 395-403, 2015.

ZANGARO, W.; LESCANO, L. E. A. M.; MATSUURA, E. M.; RONDINA, A. B. L.; NOGUEIRA, M. A. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and exotic grasses differentially affect the establishment of seedlings of early-and late-successional woody species. **Applied Soil Ecology**, 2018.