



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**KEYLLA CRISTINA FREITAS BRAUNA**

**RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E INOCULAÇÃO COM  
*AZOSPIRILLUM BRASILENSE* SOBRE A MICORRIZAÇÃO E A  
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO**

Ilha Solteira

2016



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
Campus de Ilha Solteira

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**KEYLLA CRISTINA FREITAS BRAUNA**

**RESIDUAL DA ADUBAÇÃO FOSFATADA E INOCULAÇÃO COM  
*AZOSPIRILLUM BRASILENSE* SOBRE A MICORRIZAÇÃO E A  
PRODUTIVIDADE DE CULTURAS EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Especialidade: Sistemas de Produção

**Orientadora:** Prof. Dr. Ana Maria Rodrigues Cassiolato

Ilha Solteira

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B825r Brauna, Keylla Cristina Freitas.  
Residual da adubação fosfatada e inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre a micorrização e a produtividade de culturas em sucessão / Keylla Cristina Freitas Brauna. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016  
46 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2016

Orientador: Ana Maria Rodrigues Cassiolato  
Inclui bibliografia

1. Microbiota do solo. 2. Aveia preta. 3. Milho. 4. Feijão de inverno.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Residual da adubação fosfatada e inoculação com *Azospirillum brasilense* sobre a micorrização e a produtividade de culturas em sucessão

AUTORA: KEYLLA CRISTINA FREITAS BRAUNA

ORIENTADORA: ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA, especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ANA MARIA RODRIGUES CASSIOLATO  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. MARCELO ANDREOTTI  
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LUIZ SOUCHIE  
Departamento de Ciências Agrárias / INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE

Ilha Solteira, 02 de setembro de 2016

## **DEDICO**

Aos meus queridos pais, Osmar e Tânia. Obrigada pelo apoio e dedicação.  
Ao meu esposo Filipe pelo amor, cuidado e paciência.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, meu melhor amigo, por estar presente na minha vida durante essa jornada de conhecimento. Toda a honra e toda a glória sejam dadas a Ele.

À Profa. Dra. Ana Maria Rodrigues Cassiolato, minha orientadora, meu agradecimento pela paciência, profissionalismo, ética, disponibilidade e pela oportunidade. Sua presença na construção deste trabalho foi de grande importância. Agradecida por todo conhecimento que a mim foi passado.

Ao Prof. Dr. Marcelo Andreotti, e à Doutoranda Lourdes Dickmann pela confiança ao disponibilizar este projeto, sua participação foi de extrema importância.

À Faculdade de Engenharia, UNESP, Campus de Ilha Solteira, pela oportunidade de realizar mais um sonho, minha formação.

À CAPES, pela concessão a bolsa de estudos no mestrado.

Aos membros da banca de defesa dessa dissertação, Prof. Dr. Marcelo Andreotti e Prof. Dr. Edson Souchie, pela disponibilidade e contribuição na melhoria deste trabalho.

Ao meu esposo Filipe Freitas Brauna, pela força, companheirismo, amor, oração e paciência. Agradecida por fazer parte da realização deste sonho e por sempre me apoiar nas minhas escolhas. Obrigada pelas palavras de incentivo nos momentos de dificuldades.

Aos meus pais Osmar Luiz de Freitas e Tânia Maria Freitas, pelo amor, oração e cuidado. Agradecida por estarem sempre me incentivando e pela constante presença em minha vida.

A todos os funcionários da FE/Unesp – Campus de Ilha Solteira, em especial: Marcelo Rinaldi da Silva (técnico do Laboratório de Nutrição de Plantas) e Diego Gonçalves Feitosa (técnico do Laboratório de Microbiologia), pelo auxílio e dedicação na realização de análises laboratoriais.

Às minhas amigas: Angélica Leão Baltazar, Mariana Souza Portes, Glauce Pereira Voz, Taislaine Cardoso e Eduarda Martins, pelas orações, incentivo e amor.

## RESUMO

O elevado custo da adubação nitrogenada tem incentivado à busca por alternativas para garantir uma produção mais sustentável. Uma dessas alternativas é a inoculação de bactérias promotoras de crescimento vegetal, por meio da produção de hormônios e da fixação biológica de nitrogênio atmosférico, como no caso da *Azospirillum brasilense*, indicada para cultivos de gramíneas. Os solos tropicais apresentam alta capacidade de fixação de fósforo, o que limita a produtividade das culturas e aumenta os gastos com a adubação mineral. O experimento foi conduzido na UNESP, Campus de Ilha Solteira, em área localizada no município de Selvíria, MS, e teve por objetivo avaliar a qualidade do solo e a produtividade do milho consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu e do feijão de inverno, em resposta ao efeito residual à adubação fosfatada e da inoculação das sementes de aveia preta e do milho antecessores com *A. brasilense*. Foram conduzidos dois experimentos sequenciados, seguidos ao da cultura antecessora (aveia preta), ou seja, o milho consorciado com capim-Marandu e do feijão de inverno. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco doses de  $P_2O_5$  (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ ) aplicados na semeadura da aveia e dois tratamentos de inoculação de sementes com *A. brasilense* (com e sem), aplicados nas sementes de aveia e de milho, com quatro repetições. Os atributos avaliados foram: fertilidade do solo, colonização radicular (COL) e número de esporos (NESP) de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), número mais provável (NMP) de *Azospirillum* spp. e produtividade do milho consorciado e do feijoeiro em sucessão. Para a cultura do milho consorciado com capim - Marandu, a fertilidade do solo não foi influenciada pela aplicação de doses de  $P_2O_5$  ou pelo tratamento de inoculação. NESP e COL responderam inversamente às aplicações de doses de  $P_2O_5$ , ocorrendo um aumento no NESP e redução da COL em resposta à elevação das doses de  $P_2O_5$ . A fertilidade do solo foi mantida independente dos tratamentos, sugerindo a eficácia do SPD em continuidade e do residual do  $P_2O_5$  aplicado. Para a cultura do feijão de inverno, a inoculação das sementes de milho antecessor com *A. brasilense*, proporcionou efeitos negativos na produtividade de grãos, teores de P e soma de bases do solo, colonização e o NMP. O residual da adubação fosfatada realizada na cultura da aveia preta (cultura antecessora ao milho) teve efeito positivo para o feijoeiro de inverno, proporcionando incrementos no teor de P e na produtividade de grãos. O SPD, juntamente com a decomposição dos resíduos vegetais das culturas antecessoras, proporcionou a manutenção da fertilidade do solo, com incrementos nos teores de MO, aumento do pH e V (%), com redução da H+Al, na profundidade de 0,00 a 0,20 m.

**Palavras-chave:** *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Avena strigosa*, *Urochloa brizantha* Stapf  
Webster. Fósforo. Cerrado.

## ABSTRACT

The high cost of nitrogen fertilizer has encouraged the search for alternatives to ensure more sustainable production. One of those alternatives is the inoculation of plant growth promoting bacteria through production of hormones and biological fixation of atmospheric nitrogen, as in the case of *Azospirillum brasilense*, suitable for grass crops. Tropical soils have a high phosphate binding capacity, which limits crop productivity and increases spending on mineral fertilizer. The experiment was conducted at UNESP, Ilha Solteira, in an area located in Selvíria, MS, and aimed to evaluate soil quality and productivity corn yield intercropped with *Urochloa brizantha* Marandu grass and winter common beans in response to the residual effect of phosphorus fertilization and seed inoculation of black oat and corn with *A. brasilense*. Two experiments were conducted sequenced, followed by the previous crop (black oat), and the intercropped corn and winter beans. The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 5 x 2, five doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 30, 60, 120 and 240 kg ha<sup>-1</sup>) applied in the preparation of the area for planting of oats and two treatments with *A. brasilense* seed inoculation (with and without), applied on oat seeds and corn, with four replications. The variables evaluated were soil: fertility, root colonization (COL) and number of spores (NESP) of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), the most probable number (MPN) of *Azospirillum* spp. and yield of intercropped corn or winter bean. The soil fertility was maintained independent of the treatments, suggesting the efficacy of the no - tillage in continuity and residual applied P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. For the common bean crop, the inoculation of maize seed with *A. brasilense*, preceding crop to beans, provided negative effects on grain productivity, P content and amount of soil base, colonization and NMP. The residual phosphate fertilization performed in the culture of black oat (preceding corn) had a positive effect for the winter bean, providing increases in P content and grain productivity. The no-tillage system , along with the decomposition of plant residues of previous crops, provided the maintenance of soil fertility, with increases in OM, increased pH and V (%), a decrease of H + Al, in the depth of 0.00 to 0.20 m. For the culture of corn intercropped with Marandu grass, soil fertility was not affected by P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> application of inoculation treatments. NESP and COL responded inversely to the applications of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with an increase in NESP and reduction of COL in response to the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> doses rises. Soil fertility was maintained independent of the treatments, suggesting the efficacy of the SPD in continuity and residual P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> applied. For the winter bean crop, the inoculation of the predecessor corn seeds with *A. brasilense*, showed negative effects on grain

yield, P content and amount of soil base, AMF colonization and NMP. The residual phosphate fertilization performed in the culture of black oat (preceding maize) had a positive effect for the winter bean, providing increases in P content and grain yield. The SPD, along with the decomposition of plant residues of previous crops, provided the maintenance of soil fertility, with increases in OM, pH and V (%), a decrease of H + Al, in the 0, 00 to 0.20 m.

**Keywords:** *Zea mays*. *Phaseolus vulgaris*. *Avena strigosa*. *Urochloa brizantha* Stapf Webster. Phosphorus. Cerrado.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Caracterização climática da área de estudo para os períodos de Nov/2011 a Dez/2012.....	22
-------------------	---	----

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Médias dos atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,20 m, em função de doses de fósforo residual e de inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> , em solo cultivado com aveia preta. Selvíria-MS, 2015.....	28
<b>Tabela 2 -</b>	Interações significativas entre adubação fosfatada e inoculação das sementes de aveia preta por <i>Azospirillum brasilense</i> para soma de bases e saturação por bases no solo. Selvíria/MS, 2014.....	29
<b>Tabela 3 -</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para os atributos químicos do solo na camada de 0 a 0,20 m, em função da adubação fosfatada residual e inoculação de sementes de milho com <i>Azospirillum brasilense</i> , cultivado em consórcio com <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu. Selvíria-MS, 2015.....	29
<b>Tabela 4 -</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares nas raízes, número mais provável (NMP) de <i>Azospirillum</i> spp. e produtividade do milho, por efeito da adubação fosfatada residual e inoculação de sementes de milho com <i>Azospirillum brasilense</i> , cultivado em consorciado com <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu. Selvíria-MS, 2015.....	32
<b>Tabela 5 -</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para os atributos químicos do solo, em função dos tratamentos da adubação fosfatada residual e inoculação das sementes de aveia preta e milho antecessores ao feijão de inverno, com <i>Azospirillum brasilense</i> . Selvíria-MS, 2015.....	35
<b>Tabela 6 -</b>	Interações significativas entre adubação fosfatada residual e inoculação das sementes de aveia preta e das sementes de milho com <i>Azospirillum brasilense</i> para o teor de P e soma de bases (SB) do solo coletado após a colheita do feijoeiro. Selvíria/MS, 2014.....	36
<b>Tabela 7 -</b>	Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares nas raízes, número mais provável de <i>Azospirillum</i> spp. e produtividade, em função da adubação fosfatada residual e da inoculação de sementes de aveia preta e milho antecessores com <i>Azospirillum brasiliense</i> . Selvíria/MS, 2015.....	37
<b>Tabela 8 -</b>	Interações significativas entre adubação fosfatada residual e inoculação de sementes das plantas antecessoras (aveia e no milho em consórcio com <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu) com	

*Azospirillum brasilense* para a produtividade do feijoeiro de inverno, em sucessão. Selvíria/MS, 2014..... 38

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1	Sistema Plantio Direto (SPD).....	15
2.2	Cultivos consorciado com forrageiras.....	15
2.3	Cultura do milho de verão.....	16
2.4	Cultura do feijoeiro de inverno.....	17
2.5	Inoculação de sementes de gramíneas com <i>Azospirillum</i> spp.....	18
2.6	Efeito do fósforo (P) em plantio direto.....	19
2.7	Microrganismos e indicadores de qualidade do solo.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	Histórico e caracterização da área antes de implantação do experimento	22
3.1.1	<i>Delineamento experimental e tratamentos para os experimentos</i> .....	23
3.1.2	<i>Cultivo de aveia preta, em sistema Plantio Direto, como planta antecessora</i>	23
3.2	Cultivo de milho consorciado com capim - Marandu em sistema Plantio Direto, sobre a palhada de aveia antecessora.....	24
3.3	Cultivo do feijoeiro de inverno sobre a palhada do consórcio milho/ capim-Marandu.....	26
3.3.1	<i>Instalação e condução do experimento</i> .....	26
3.3.2	<i>Atributos químicos e microbiológicos do solo</i> .....	26
3.3.3	<i>Determinação da produtividade de grãos do feijão de inverno</i> .....	27
3.3.4	<i>Análise estatística</i> .....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1	Efeitos dos tratamentos sobre a aveia preta.....	28
4.2	Efeito da adubação fosfatada residual e da inoculação de sementes de milho com <i>Azospirillum brasilense</i> , em cultivo consorciado com <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	29
4.3	Efeito residual da adubação fosfatada e da inoculação de sementes com <i>Azospirillum brasilense</i> realizada nas sementes de aveia e milho, no feijoeiro de inverno, cultivado sobre a palhada do consórcio milho e <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu.....	35
	REFERÊNCIAS.....	40

## 1 INTRODUÇÃO

O Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma tecnologia conservacionista bastante difundida entre os agricultores, de diversos níveis tecnológicos e locais do país. O solo deve ser mantido continuamente coberto por plantas em desenvolvimento ou por resíduos vegetais. Em relação à agricultura brasileira, no sistema de rotação e sucessão (safrinha) de culturas para garantir a sustentabilidade do SPD, a cultura do milho (*Zea mays* L.) tem-se mostrado essencial (EMBRAPA, 2009), pela capacidade de gerar boa quantidade de palha a ser deixada na superfície do solo. Na exploração agrícola, os fatores climáticos peculiares de cada região, como altas temperaturas no decorrer do ano e a irregularidade da precipitação pluvial como ocorre no Cerrado, e o tipo de solo são fatores tão importantes a serem considerados, quanto a escolha da cultura (COSTA; SANGAKKARA, 2006).

A cultura do milho se destaca pela extensão das áreas cultivadas e por sua importância econômica e social (GÖRGEN et al., 2010). Responde positivamente ao SPD e a rotação de culturas, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada e, conseqüentemente, os custos de produção (COSTA; SANGAKKARA, 2012). A rotação de culturas, como prática corrente na produção agrícola, vem ganhando, por meio do tempo, importância acentuada do ponto de vista técnico como um dos meios indispensáveis ao acréscimo de uma agricultura estável (THOMAS; COSTA, 2010). Em sistemas de produção o cultivo consorciado com espécies do gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) e adaptado à condução em SPD, pode garantir a produção de forragem para entressafra, com palhada de alta qualidade em condições tropicais causando maiores produtividades nas culturas subsequentes (CHIODEROLI et al., 2010).

A degradação das pastagens é um grande problema na pecuária brasileira e pode ser decorrente de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como o preparo incorreto do solo, a escolha errada das espécies forrageiras, o uso de sementes de baixo valor cultural, as práticas inadequadas de manejo e, sobretudo, a não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, por exportação no corpo dos animais, ou por drenagem deficiente do solo (DIAS FILHO, 2011).

O fósforo (P) é um importante nutriente no desenvolvimento radicular e no perfilhamento das gramíneas e sua ausência é limitante à capacidade produtiva das pastagens. Um dos maiores problemas no estabelecimento e na conservação de pastagens nos Latossolos brasileiros está nos teores extremamente baixos de P disponível. Assim, grande carência desse nutriente nestes solos deve-se, também, aos seus baixos teores de matéria orgânica (MO) e

elevada capacidade de adsorção ou fixação de P, devido principalmente aos altos teores de óxidos de Fe e Al na composição mineralógica dos solos (MALAVOLTA, 2006).

Como os sistemas agrícolas tradicionais estão baseados no uso massivo de fertilizantes e agroquímicos, tem-se buscado por alternativas tecnológicas (DIAS FILHO, 2011) que garantam maior produtividade e qualidade dos produtos. Dentre elas está o uso do nitrogênio atmosférico pelo processo de fixação biológica, realizado por bactérias. Nesta linha, a bactéria *Azospirillum brasilense* passou a ser comercializada no Brasil para inoculação em trigo e milho, propondo acréscimos na produtividade de grãos, reduzindo os custos com fertilizante nitrogenado (HUNGRIA, 2011). Além de serem diazotróficas, elas podem produzir hormônios de crescimento vegetal, solubilizar fosfato, atuar como antagonistas a espécies patogênicas, sendo consideradas como rizobactérias promotoras do crescimento de plantas (JAMES; BALDANI, 2012).

Outro grupo de microrganismos que contribuem para minimizar o uso massivo de fertilizantes são os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), um simbiote obrigatório. Comuns na natureza formam associação com raízes da maioria das plantas conhecidas, em que beneficia o hospedeiro com acréscimos de água e nutrientes, especialmente P. As hifas fúngicas funcionam como extensão do sistema radicular, enquanto os fungos são favorecidos pelos fotoassimilados doados pelas plantas, permitindo o ciclo vital dos FMA na presença do hospedeiro (SMITH; READ, 2008).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade do solo e a produtividade do milho consorciado com *Urochloa brizantha* Stapf Webster cv. Marandu e, posteriormente, do feijoeiro de inverno, em resposta da inoculação das sementes de aveia preta e do milho com *A. brasilense* e do efeito residual da adubação fosfatada aplicada na semeadura da aveia preta, antecessora ao consórcio e ao feijão de inverno.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Sistema Plantio Direto (SPD)**

O Sistema de Plantio Direto (SPD) baseia-se na ausência de revolvimento do solo, em sua cobertura permanente e na rotação de culturas, tem um formato conservacionista que abrange métodos que objetivam aumentar a produtividade, melhorando continuamente o ambiente (MACEDO; PASQUALETTO, 2007). Nesse sistema, a semente ou muda é depositada diretamente no solo não revolvido, onde é aberto um pequeno sulco ou cova, de profundidade e largura regulares para garantir boa cobertura e o contato da semente ou muda com o solo (PECHE FILHO, 2005).

Uma grande parte do sucesso do SPD vem do fato de que a palha deixada por culturas de cobertura, ou antecessoras, sobre a superfície do solo, acrescida aos resíduos das culturas comerciais, provém um ambiente extremamente favorável ao crescimento vegetal, cooperando para a estabilização da produção e para a recuperação ou manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001).

Nas regiões tropicais encontram-se condições de elevadas temperaturas, altos índices pluviálicos e, em consequência, intensa atividade microbiana, promovendo uma rápida decomposição dos materiais orgânicos depositados no solo (MIELNICZUK et al., 2003). Os maiores percentuais de decomposição da matéria orgânica (MO) do solo provém de áreas sob cultivo, nas quais perturbações físicas do solo geram rompimento dos macroagregados, expondo a MO aos processos microbianos, cooperando, dessa forma, para elevar as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (ZINN; LAL; RESCK, 2005).

No SPD é grande a importância da escolha correta das espécies vegetais a serem utilizadas na rotação de culturas, e nesta escolha deve ser considerado, especialmente, o fator climático da região, o tipo de solo, a capacidade de formar palhada e a qualidade desta palhada. O cultivo do milho e do feijoeiro, em rotação, proporcionam vários benefícios em SPD, com destaque aos relacionados à redução da necessidade de adubação, em peculiar a nitrogenada (COSTA et al., 2006), atenuando os custos de produção.

### **2.2 Cultivos consorciados com forrageiras**

A degradação do solo é resultante da perda de sua capacidade física e química de continuar produtivo, impossibilitando a retenção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). A degradação ambiental atribui elevados custos à sociedade, além do empobrecimento do produtor rural.

Cerca de 70 milhões de hectares de áreas de pastagens no Brasil se encontram em algum estágio de degradação, com baixíssima produtividade para o alimento animal. No entanto, por meio do uso correto de tecnologias e de boas práticas agropecuárias é possível reinseri-los ao processo produtivo (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2014).

Para obter sucesso no sistema produtivo em cultivo consorciado com forrageiras, a escolha de culturas anuais economicamente viáveis e adaptadas ao consórcio é uma característica necessária. No Brasil, o milho (*Zea mays*) é uma das principais explorações agrícolas em consórcio e tem se destacado, não somente pela área cultivada, mas também pela importância econômica e social. Espécies de *Urochloa* podem ser consorciadas com milho sem acarretar em perdas para a cultura, promovendo produção de forragem na entressafra e palhada com alta qualidade, adaptada ao SPD em condições tropicais (GÖRGEN et al., 2010).

O consórcio quando executado de maneira tecnicamente correta, promove o aumento da quantidade de palha, propendendo à melhor cobertura do solo para a efetivação da semeadura direta e, muitas vezes, o acréscimo de produtividade na cultura subsequente e a antecipação da formação de pastagem (CHIODEROLI et al., 2010). É fundamental o conhecimento da espécie vegetal a ser empregada no programa de rotação ou consorciação de culturas quanto à sua produção de massa seca e tempo de decomposição, que intervêm diretamente na quantidade de palha sobre o solo (ANDREOTTI et al., 2008).

Espécies forrageiras perenes como *Urochloa decumbens*, *U. brizantha*, *Panicum maximum* cv. Tanzânia e *P. maximum* cv. Mombaça, além de proverem grande quantidade de massa seca, essencial no SPD, proporcionam palhada com alta relação carbono/nitrogênio (C/N), delongando a velocidade de decomposição, o que aumenta a possibilidade de utilização em regiões mais quentes pelos benefícios de proteção do solo contra erosão e radiação solar (TIMOSSI et al., 2007). Assim, para conservar anualmente o aporte de palha exigido para conservação da estabilidade do SPD, o consórcio de milho com forrageiras pode ser uma escolha viável, sendo indispensável à identificação do melhor sistema de cultivo e a melhor forrageira a ser empregada.

### **2.3 Cultura do milho de verão**

O condicionamento físico do solo peculiar para o milho é o convencional, com tudo, os condicionamentos com mobilização mínima, tem sido agregado para essa cultura. Esses condicionamentos, nos primeiros anos de implantação, proporcionam menor produção quando confrontado com o preparo convencional (SILVA, 2000).

Para se obter aumentos significativos de produtividade, no Brasil, nos últimos anos, a cultura do milho suportou mudanças tecnológicas formidáveis alistadas a melhoria na qualidade dos solos. Melhoria está relacionada ao manejo adequado onde inclui rotação de culturas, plantio direto e manejo de fertilidade, calagem, adubação equilibrada com macro e micronutrientes, uso de fertilizantes químicos e/ou orgânicos (COELHO et al., 2009).

As exigências nutricionais para essa cultura são de nitrogênio (N) e potássio (K), seguido de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e fósforo (P). Referente a exportação dos nutrientes translocados para os grãos, o P vem em primeiro lugar, seguido do N, enxofre (S), Mg, K e Ca. O que significa que o uso de restos culturais do milho devolve ao solo grande parte dos nutrientes contidos na palhada. Devido a sua versatilidade, esta cultura se adapta a diferentes sistemas de produção. Pela grande produção de fitomassa de alta relação C/N, a cultura é fundamental em programas de rotação e sucessão de culturas em sistema plantio direto (COELHO et al., 2009).

#### **2.4 Cultura do feijoeiro de inverno**

Nos anos de 2003/04 a 2013/14 o consumo de feijão (*Phaseolus vulgaris*) no Brasil passou de 3.150 para 3.450 mil toneladas, alcançando um aumento de 9,5 %. Juntamente com esse crescimento houve o aumento do consumo per capita, atingindo maior valor em 2006/07 com aproximadamente 19 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, o menor valor é de 17,72 obtido em 2003/04, mas atualmente tem ficado em torno de 18 kg habitante<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (CONAB, 2013/2014). Essa leguminosa apresenta grande vantagem de adaptação edafoclimática, permitindo seu cultivo durante todo o ano, em quase todos os estados brasileiros, nas diferentes épocas e safras (SALVADOR, 2011).

A oferta do feijão é extremamente sujeita a variações determinadas, principalmente, pelos fatores que interagem na produtividade do feijoeiro, como o solo, clima, quantidade de palhada sobre o solo, além das espécies de plantas de cobertura. Outro fator muito importante e com grande influência na produtividade do feijoeiro é o P. Este nutriente, muito utilizado pelas plantas, gera acréscimos na produção de matéria seca da parte aérea e eleva o número de vagens e massa de grãos, os principais fatores da produtividade (FAGERIA et al., 2003).

As leguminosas, em particular, demandam uma grande quantidade de N, especialmente as culturas anuais produtoras de grãos, devido ao ciclo curto de cultivo e dos altos teores deste elemento retirados pelos grãos no período da maturação (OLIVEIRA et al., 1996). As principais fontes deste nutriente para a cultura do feijoeiro estão no solo, oriundas da decomposição da matéria orgânica (MO) ou da fixação do nitrogênio atmosférico (N<sub>2</sub>). No

entanto, este nutriente pode ser adicionado ao cultivo por meio da aplicação de adubos nitrogenados ou, ainda, pela fixação biológica de nitrogênio atmosférico (FBN).

Considerado um dos processos biológicos mais importantes da natureza, a FBN incide na redução do  $N_2$ , indisponível para as plantas, a  $NH_4^+$ , uma forma que as plantas conseguem absorver e, em seguida, utilizar em seu metabolismo. Essas bactérias são designadas diazotróficas, e a capacidade de fixação do  $N_2$  se deve à habilidade de sintetizar a nitrogenase, a enzima responsável pela redução do  $N_2$  (EMBRAPA, 2012). O fornecimento de N para as plantas via FBN é altamente expressivo, suficiente para garantir as produtividades almejadas sem a utilização ou com a redução considerável do N mineral.

A associação entre planta e bactéria proporciona grande importância do ponto de vista econômico e ecológico e, com isso, viabiliza o cultivo das espécies reduzindo os custos com a adubação nitrogenada (BARBERI et al., 1998). A inoculação de diversas culturas com estas bactérias é uma das alternativas para obter aumento da produção com custos menores e sem prejudicar o ambiente (NOVAKOWISKI et al., 2011).

## **2.5 Inoculação de sementes de gramíneas com *Azospirillum* spp.**

As bactérias fixadoras de  $N_2$  podem contribuir com a nutrição da planta quando estão presentes em nódulos ou rizosfera. Entre as bactérias diazotróficas, destacam-se as do gênero *Azospirillum*, de comportamento microaeróbico, que podem atuar no crescimento vegetal (REIS JÚNIOR et al., 2008). As bactérias desse gênero, consideradas associativas, colonizam as plantas sem a formação de estruturas diferenciadas e sem estabelecer qualquer relação de simbiose (BERGAMARACHI, 2006). A maioria das espécies do gênero coloniza a zona de alongação das raízes e os pelos radiculares, porém algumas podem ser localizadas no interior das plantas, por isso são consideradas endofíticas facultativas (DOBBELAERE et al., 2002).

*Azospirillum* spp. podem influenciar o crescimento das plantas por meio de mecanismos diretos e indiretos, sendo os mecanismos diretos, a FBN, a síntese de sideróforos, a produção de hormônios vegetais, a solubilização de fosfatos e a aceleração do processo de mineralização dos nutrientes. Os mecanismos indiretos atuam na indução de resistência sistêmica das plantas, antagonismo aos patógenos, aumento da resistência das plantas em ocorrências de estresse e produção de antibióticos (OLIVEIRA et al., 2003). Além da capacidade de sobreviverem no ambiente rizosférico ou no interior da planta, este gênero consegue sobreviver no solo. Em condições de estresse, estas bactérias têm competência de agregação devido à produção de compostos ricos em poli- $\beta$ -hidroxibutirato (PHB) que, na carência de alimento, pode servir como fonte de carbono e energia (BURDMAN et al., 1998).

Considerada uma alternativa promissora para as plantas, os efeitos benéficos da *A. brasilense* no desenvolvimento das plantas permitem diminuir a adubação química, reduzindo o custo de produção e os problemas de contaminação ambiental provenientes das perdas de nutrientes (FREITAS; VILDOSO, 2004; REIS JÚNIOR et al., 2008), além do aumento do sistema radicular por sua habilidade em produzir hormônios promotores de crescimento vegetal, como auxinas, citocininas e giberelinas. Com o aumento do sistema radicular, consequência destes hormônios, ocorre um aumento da área do solo explorada, possibilitando às plantas melhor utilização de fertilizantes aplicados (REIS JÚNIOR et al., 2008). O estímulo ao crescimento do sistema radicular gerado com a produção de auxinas pode ser comprovado tanto pelas alterações na morfologia do sistema radicular, como pelo maior número de radículas e pelo diâmetro das raízes laterais e adventícias (OKON; VANDERLEYDEN, 1997).

No entanto, muito ainda precisa ser esclarecido nesta interação entre bactérias diazotróficas e gramíneas, importantes para o potencial agrícola, uma vez que tanto a FBN como a síntese de hormônios promotores de crescimento, são dependentes de diversos fatores ambientais e bióticos, tais como, comunidade microbiológica do solo, genótipo da planta e disponibilidade de N (ROESCH et al., 2006). O efeito da *A. brasilense* no desenvolvimento em gramíneas, com na cultura do milho, tem sido estudada (CAVALLET et al., 2000).

## **2.6 Efeitos do Fósforo (P) em plantio direto**

Um grande problema que surge na pecuária brasileira são as degradações das pastagens, crescida basicamente em pasto. A degradação é decorrente de vários fatores que atuam isoladamente ou em conjunto, como o preparo incorreto do solo, a escolha errada de espécies forrageiras, o uso de sementes de baixa qualidade, o mau desenvolvimento inicial, manejo inadequado e, sobretudo, a não reposição dos nutrientes perdidos no processo produtivo, por exportação no corpo dos animais, lixiviação, erosão e volatilização ao longo dos anos (PERON; EVANGELISTA, 2004).

Dentre os nutrientes necessários, o P exerce importante papel no desenvolvimento radicular e no perfilhamento das gramíneas, sendo sua ausência limitante à capacidade produtiva das pastagens. Um dos maiores problemas no estabelecimento e na conservação de pastagens nos Latossolos brasileiros está nos teores extremamente baixos de P disponível e total. Além da grande carência desse elemento em solos tropicais, acrescente a sua alta competência de adsorção em decorrência da acidez e altos teores de óxidos de ferro (Fe) e de alumínio (Al) (MACEDO, 2009). Com isso, a adubação fosfatada é essencial, independente

do sistema de exploração, seja intensivo ou extensivo, para que esse nutriente não seja limitante na resposta da planta forrageira, especialmente quando são aplicadas altas quantidades de N.

A extensão das áreas de cultivo e, também, o esgotamento das reservas naturais consiste em fatores que tendem a conservar a elevação constante do preço dos fertilizantes fosfatados. Com isso, a busca de maior eficácia nas adubações é o caminho, justificando a pesquisa nessa área. Perante a gama de fatores que interagem condicionando sua disponibilidade às culturas, a conexão das informações pode levar a novas escolhas de uso e manejo de fertilizantes fosfatados (RESENDE; NETO, 2007).

## **2.7 Microrganismos e indicadores de qualidade do solo**

Os ecossistemas naturais exibem uma conexão harmoniosa entre cobertura vegetal e atributos do solo, resultado de eficazes processos de ciclagem de nutrientes e de acumulação e decomposição da MO. Existem, porém, ações antrópicas que promovem alterações nesses atributos, causando, na maioria das vezes, impactos ambientais negativos (SILVA et al., 2007). A MO do solo encontra-se estável, mas quando submetida ao uso agrícola, pode ter grande redução no seu conteúdo, especialmente quando utilizados métodos que envolvem o revolvimento intensivo do solo e sistemas de cultivo com baixo acréscimo de resíduos. Nesse contexto, pode ser formado um processo de degradação das condições físicas, químicas e biológicas do solo, além de perda da produtividade das culturas (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Com influência direta nas características biológicas do solo, a MO atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos quimioheterotróficos, enquanto que por meio da mineralização do N e S orgânicos atua como fonte de energia aos microrganismos quimioautotróficos. Esses dois tipos de microrganismos predominam em quantidade e importância no solo, e os resultados da MO sobre eles podem ser calculados a partir da biomassa e atividade microbiana, atributos que representam uma integração de efeitos destas sobre as condições biológicas do solo (SANTOS et al., 2008).

A estrutura do solo exerce influência muito importante na funcionalidade do solo, na capacidade em suportar a vida animal e vegetal, controlando a qualidade ambiental, com destaque no sequestro de carbono, fluxos de gases e nutrientes e a qualidade de água (BORIE et al., 2008). Os microrganismos também exercem uma função na formação e estabilidade da estrutura do solo, por exemplo, nas raízes, mais especificamente nos pelos radiculares, por meio das hifas dos fungos, especialmente fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Estes fungos exsudam polissacarídeos e outros compostos orgânicos que formam uma malha pegajosa, unindo as partículas individuais do solo em microagregados para posteriormente formar macroagregados (BORIE et al., 2008). Os solos com boa agregação são menos comprometidos pela erosão, sendo mais favoráveis ao desenvolvimento de plantas. Essas micorrizas contribuem na agregação do solo, com reflexos na produtividade, conservação e para sustentabilidade agrícola e funcionalidade dos agroecossistemas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os benefícios dos FMA para o crescimento e a sobrevivência das plantas procedem de vários efeitos e mecanismos nutricionais e não nutricionais. Os resultados nutricionais são os mais evidentes e consistentes, e determinam o caráter biofertilizante dos FMA que resulta, sobretudo, da ação direta do fungo na absorção e na utilização de nutrientes, e na ação indireta na FBN, mineralização e/ou solubilização de nutrientes da rizosfera e na nutrição balanceada da planta. Os FMA podem, ainda, promover efeitos positivos adicionais à qualidade nutricional da planta, considerados secundários ou de ação biorreguladora, além de benefícios decorrentes da ação biocontroladora, quando reduzem a severidade de doenças ou como agentes bióticos que amenizam os danos ocasionados por estresses abióticos; além de reduzir estresses hídricos e melhorar a agregação do solo (SIQUEIRA et al., 2010).

O uso do FMA adquire grande importância às culturas que passam pela fase de muda em substratos, os quais devem ser, segundo a recomendação, isentos de microrganismos para não transmitirem possíveis agentes patogênicos (SILVEIRA; GOMES, 2007). Com isso os FMA podem colaborar para a utilização de menor quantidade de fertilizantes e, mais adiante, de proporcionar maior desenvolvimento e nutrição das plantas, abreviando a época de transplante e aumentando a sobrevivência de mudas no campo (SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

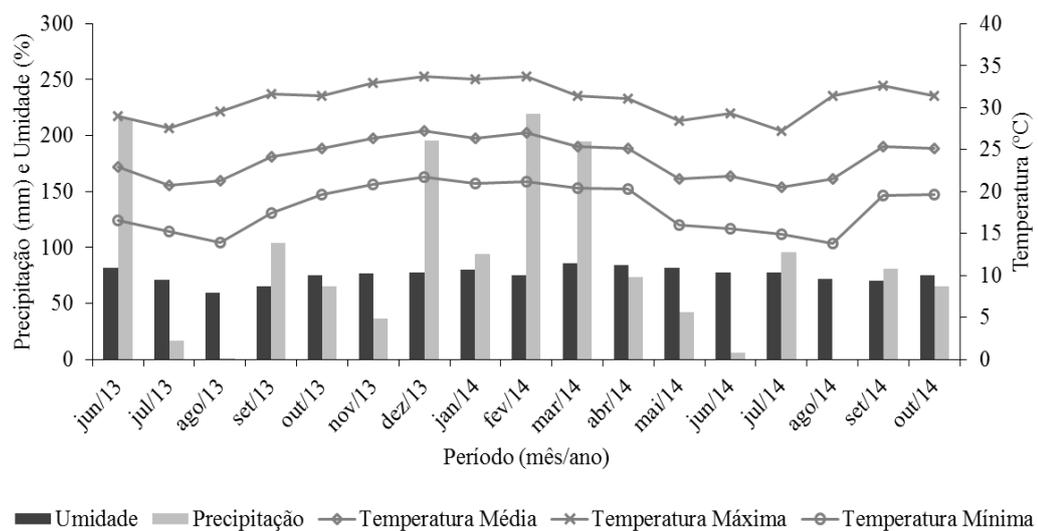
#### 3.1 Histórico e caracterização da área antes de implantação do experimento.

A pesquisa foi desenvolvida em área sob SPD, no período experimental 2013/2014, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão (FEPE) da Faculdade de Engenharia/UNESP-Campus de Ilha Solteira, localizado no município de Selvíria – MS. A área tem como coordenadas geográficas 20° 20' S e 51° 24' W, altitude de 335 m, o relevo plano e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico argiloso (EMBRAPA, 2013).

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. A precipitação e temperatura média anual são de 1.370 mm e 23,5 °C, respectivamente.

A área em avaliação encontrava-se sob SPD, sendo cultivada com culturas anuais por dez anos. A aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) cultivada como a planta antecessora ao experimento, teve como plantas sucessoras o milho consorciado com o capim-Marandu (*U. brizantha* cv. Marandu), cultura de verão, seguido pelo pela cultura do feijão de inverno. Esta área estava sob pivô central e foi irrigada por aspersão durante todo o período experimental, em função da temperatura e dos déficits hídricos (Figura 1).

**Figura 1.** Valores de temperatura, umidade e precipitação pluvial durante o período experimental 2013/2014.



Fonte: Elaboração do autor.

### 3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos para os experimentos

O delineamento experimental utilizado para os experimentos foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 5 x 2, ou seja, cinco doses de  $P_2O_5$  (0; 30; 60; 120 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), na forma de MAP e aplicadas a lanço na semeadura da aveia preta (06/2013) e dois tratamentos de inoculação (com e sem) de sementes de aveia e milho com *A. brasilense*. Cada unidade experimental (parcela) apresentou a dimensão de 4,4 x 10 m, perfazendo 44 m<sup>2</sup>. Para o tratamento com inoculação de sementes foi utilizado o inoculante AzoTotal, na dose de 100 mL para 25 kg de sementes. Com inoculação efetuada à sombra momentos antes da semeadura.

### 3.1.2 Cultivo de aveia preta, em sistema Plantio Direto, como a planta antecessora

Para a caracterização química do solo, antes da instalação da cultura antecessora, foi coletada, por parcela, uma amostra composta de vinte amostras simples, com auxílio de trado tipo rosca, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, das quais foi gerada uma amostra composta. Esta foi enviada para o Laboratório de Fertilidade do Solo, desta Unidade. Para a caracterização química, como proposto por Raij et al. (2001), foram obtidos os seguintes valores: P (mg dm<sup>-3</sup>) = 36; MO (g dm<sup>-3</sup>) = 25; pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,0; H+Al (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 36; SB (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 35,2 e V (%) = 49. Com base nos resultados realizou-se a aplicação de calcário dolomítico (PRNT de 87%) em abril de 2013, buscando elevar a saturação por bases para 70%, com a dose de 1,7 t ha<sup>-1</sup> (sem incorporação).

A aveia preta foi semeada mecanicamente (12/06/2013) por meio de semeadora-adubadora com mecanismo sulcador tipo disco duplo desencontrado para SPD, em área irrigada (pivô central), numa profundidade de aproximadamente 0,03 m, com espaçamento entre linhas de 0,17 m e com uma densidade de 60 sementes m<sup>-1</sup>. No dia da semeadura, as sementes foram inoculadas ou não com a bactéria *A. brasilense*.

A adubação fosfatada da semeadura de aveia preta cv. IAPAR 61 constou da aplicação a lanço do MAP como fonte de  $P_2O_5$ , nas doses de acordo com cada tratamento, corrigindo-se a quantidade necessária de N, na semeadura, pelo uso de ureia, uma vez que o MAP continha 12% de N. Na adubação de cobertura (03/07/2013) foram aplicados 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, seguindo as recomendações de Camargo et al. (1997). As plantas foram conduzidas até o estágio de início do enchimento dos grãos (02/10/2013) quando foram dessecadas (04/10/2013) com o herbicida Glyphosate (1,44 kg ha<sup>-1</sup> do ingrediente ativo (i.a.)), sem ceifa e sem manejo com triturador horizontal de resíduos vegetais.

### **3.2 Cultivo de milho consorciado com capim-Marandu em sistema Plantio Direto sobre a palhada de aveia antecessora**

A instalação do experimento com milho consorciado com o capim-Marandu em semeadura conjunta, nas entrelinhas, ocorreu no dia 04/12/2013, seguindo o mesmo delineamento experimental para aveia preta. O milho foi semeado em SPD sobre a palhada de aveia preta, com semeadora-adubadora de mecanismo sulcador do tipo haste. O híbrido simples AG 8088 YG foi semeado em espaçamento entre linhas de 0,90 m e população de 60 mil plantas ha<sup>-1</sup>, adubado na semeadura com 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 20-0-20, adotando as indicações de Cantarella et al. (1997), entretanto sem o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para avaliar o residual aplicado na aveia preta. No dia da semeadura as sementes foram inoculadas ou não com *A. brasilense*.

O capim-Marandu foi semeado simultaneamente ao milho, em duas linhas da forrageira nas entrelinhas da cultura produtora de grãos, sendo executada com outra semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo disco duplo desencontrado para SPD. As sementes foram acondicionadas no compartimento do fertilizante da semeadora e depositadas na profundidade de 0,07 m, espaçadas em 0,34 m entre linhas, empregando-se aproximadamente 7 kg ha<sup>-1</sup> de sementes puras viáveis (VC = 76%), localizando-se, dessa forma, abaixo das sementes de milho. No estágio fenológico V6 (seis folhas totalmente desenvolvidas) do milho (06/01/2014), procedeu-se a adubação de cobertura aplicando-se manualmente 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de sulfato de amônio, próximo às linhas do milho, a qual foi seguida de irrigação com uma lâmina de 14 mm, para inserção do adubo ao solo.

#### **3.2.1 Atributos químicos e microbiológicos do solo e produtividade do milho**

Quando as plantas estavam no estágio R6 (maturidade fisiológica), uma amostra de solo, composta de seis amostras simples, por parcela, foi coletada próxima às plantas, com auxílio de uma enxada, na profundidade de 0,0 a 0,10 m. As amostras foram peneiradas e as raízes encontradas foram separadas, lavadas em água e preservadas em álcool (50%).

##### **a) Análises dos atributos químicos do solo**

Para as análises químicas do solo, parte de cada amostra foi enviada para o laboratório, sendo seguida a metodologia proposta por Raij et al. (2001), como anteriormente citado.

##### **b) Determinação do número de esporos e da colonização radicular por fungos micorrízicos arbuscular (FMA)**

De cada amostra composta de solo, 100 g foram utilizadas para determinação do número de esporos de FMA autóctones. Estes foram separados e coletados conforme uma associação de métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) e de centrifugação e flutuação com sacarose (JENKINS, 1964). A contagem dos esporos foi realizada em placa de acrílico com anéis concêntricos sob microscópio estereoscópico (40x).

Para a avaliação da colonização micorrízica, as raízes anteriormente preservadas em álcool (50%) foram novamente lavadas em água corrente, clareada em KOH (10%), acidificadas com HCl (1%), coloridas com azul de tripano (0,05%) e mantidas em lactoglicerol (PHILLIPS; HAYMAN, 1970). A porcentagem de colonização foi determinada avaliando 100 segmentos de raízes finas, por amostra, em microscópio óptico (40x).

#### **c) Quantificação de bactérias endofíticas diazotróficas *Azospirillum* spp.**

Parte das amostras de solo foram mantidas em câmara fria, a 10 °C, com umidade relativa do ar em 20%. A quantificação do número de bactérias do gênero *Azospirillum* spp. foi realizada segundo metodologia descrita por Döbereiner et al. (1995) utilizando o meio de cultura NFb, composto por: 5 g de ácido málico, 5 mL de solução de fosfato de potássio dibásico, 2 mL de Solução de sulfato de magnésio heptahidratado, 1 mL de solução de cloreto de sódio, 2 mL de solução de cloreto de cálcio dihidratado, 2 mL de azul de bromotimol 0,5% em 0,2 N de hidróxido de potássio, 2 mL de solução de micronutrientes para meio de cultura, 4 mL de Solução de EDTA de ferro, 1 mL de solução de vitamina para meio de cultura, 4,5 g de hidróxido de potássio e 1,8 g de ágar por L<sup>-1</sup>, completando para 1.000 mL com água destilada. O pH foi ajustado para 6,5 com solução de KOH a 10%. Os frascos foram mantidos por 7 dias a 30 °C, quando o crescimento bacteriano foi analisado averiguando-se o aparecimento de película característica. Por meio da tabela de Mc Crady foi obtido o número populacional, adotando-se por base o número de frascos positivos.

#### **d) Determinação da produtividade de grãos da cultura do milho**

A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se manualmente todas as espigas das plantas contidas na área útil da parcela (2 linhas centrais de 8 m), desprezando 1 m de cada lado. Estas espigas foram debulhadas mecanicamente, pesando-se os grãos e calculando-se a produtividade da parcela, extrapolada para kg ha<sup>-1</sup> e corrigida para as condições de 13% de umidade.

### 3.2.2 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F 5%. O efeito de inoculação ou não com *A. brasilense* foi comparado pelo teste Tukey 5%. O efeito da adubação fosfatada residual foi avaliado por análise de regressão (polinômios ortogonais), adotando-se a equação com maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) 5%. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2008).

## 3.3 Cultivo do feijoeiro de inverno sobre a palhada do consórcio milho/capim-Marandu

### 3.3.1 Instalação e condução do experimento

Conduzido no ano de 2014 após a dessecação do capim-Marandu, oriunda da semeadura consorciada com milho. A dessecação do capim-Marandu ocorreu em 28/05/2014, utilizou 1440 g ha<sup>-1</sup> do i.a. do herbicida Glyphosate para, no dia 02/06/2014, as plantas serem manejadas com triturador horizontal de resíduos vegetais (triton). O feijão cv. Pérola foi semeado mecanicamente (03/06/2014) com uso de semeadora-adubadora com mecanismo sulcador do tipo haste (facão) para SPD, em espaçamento de 0,45 m entre fileiras, distribuindo-se 15 sementes m<sup>-1</sup>.

Como adubação de semeadura foram aplicados 20 kg de N e 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, concomitantemente, utilizando como fontes a ureia e o KCl. Para o tratamento das sementes utilizou-se 50 g i.a. Carboxina + 50 g i.a. Tiran por 100 kg de sementes. Como adubação em cobertura, aos 30 dias após a emergência das plantas (estádio V4) utilizou-se 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, na forma de ureia. Não foram feitas pulverizações de herbicidas, fungicidas e inseticidas durante o ciclo do feijoeiro.

### 3.3.2 Atributos químicos e microbiológicos do solo

Quando as plantas de feijão estavam no estágio R6, uma amostra de solo, composta de seis amostras simples, por parcela, foi coletada próxima às plantas, com auxílio de uma enxada em profundidade de 0,00 a 0,10 m. As amostras foram peneiradas e as raízes encontradas foram separadas, lavadas em água corrente e preservadas temporariamente em álcool (50%).

As avaliações foram realizadas para os atributos químicos do solo, número de esporos e porcentagem de colonização por FMA e quantificação do *Azospirillum* sp., como descritas para o experimento anterior, exceto para a determinação da produtividade de grãos.

### **3.3.3 Determinação da produtividade de grãos do feijão de inverno**

No ciclo final da cultura no dia (10/09/2014), para a determinação da produtividade de grãos todas as plantas da área útil (4 linhas centrais de 8 m de comprimento) desprezando 1 m de cada lado da parcela, foram trilhadas mecanicamente e pesadas, para posteriormente ser o valor extrapolado para  $\text{kg ha}^{-1}$  e corrigido para o teor de 13% de umidade (base úmida).

### **3.3.4 Análise estatística**

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $P < 0,05$ ). O efeito de inoculação ou não com *A. brasilense* foram comparados pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), enquanto o efeito da adubação fosfatada residual foi avaliado por análise de regressão (polinômios ortogonais), adotando-se a equação com maior coeficiente de determinação ( $r^2$ ) ( $P < 0,05$ ). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR<sup>®</sup> (FERREIRA, 2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Efeitos dos tratamentos sobre a Aveia Preta

As doses de  $P_2O_5$  não interferiram nos atributos químicos do solo, exceto nos teores de P, o qual respondeu positivamente, de forma linear, às doses aplicadas (Tabela 1). Comparando estes resultados com os da caracterização inicial da fertilidade da área, observa-se redução nos teores de MO (de 25 para 23,1  $g\ dm^{-3}$ ) e aumento para SB (de 35,2 para 58,6  $mmol_c\ dm^{-3}$ ). Esta elevação foi, possivelmente, efeito da calagem superficial realizada antes da semeadura da aveia, a qual elevou, ainda, os valores de pH que acarretou no grande incremento do V% do solo (caracterização inicial - pH = 5,0 e V (%) = 49). A adubação de semeadura e a ciclagem da palhada da aveia também contribuíram para o V% do solo.

**Tabela 1.** Médias dos atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, em função de doses de fósforo residual e de inoculação com *Azospirillum brasilense*, em solo cultivado com aveia preta. Selvíria-MS, 2015.

Tratamentos		P <sup>(1)</sup> ( $mg\ dm^{-3}$ )	MO ( $g\ dm^{-3}$ )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	H+Al --- ( $mmol_c\ dm^{-3}$ ) ---	SB	V (%)
Doses de P (Doses)	0 $kg\ ha^{-1}$	18,5	21,5	5,1	33,8	48,3	57,3
	30 $kg\ ha^{-1}$	19,8	22,8	5,4	29,3	60,7	68,3
	60 $kg\ ha^{-1}$	18,9	22,2	5,3	30,9	55,1	62,8
	120 $kg\ ha^{-1}$	26,0	21,6	5,3	30,9	53,9	63,5
	240 $kg\ ha^{-1}$	28,8	21,9	5,3	31,8	59,4	66,7
Inoculação (Inoc)	Sem	23,8	21,0 b	5,3	30,7	52,4b	63,2
	Com	21,6	23,1 a	5,2	31,8	58,6a	64,3
Valores de F							
Doses		2,54*	0,79 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	6,33 <sup>ns</sup>
Inoc		0,36 <sup>ns</sup>	16,9**	1,16 <sup>ns</sup>	1,18 <sup>ns</sup>	4,43*	0,53 <sup>ns</sup>
Doses x Inoc		2,08 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	3,26*	7,72**
CV (%)		37	7	5	10	17	7

Nota 1: <sup>(1)</sup>Modelo Equação: ( $\hat{y} = 21,9062 + 0,0368 x$ ).  $R^2$  (%): 74,32

Nota2: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada variável, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. \*\* e \*: significativo a 0,01 e 0,05, respectivamente. <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Interações significativas entre as doses de  $P_2O_5$  e inoculação das sementes de aveia preta por *A. brasilense* foram verificados para SB e V% do solo (Tabela 2). Para SB, diferenças significativas entre tratamentos de inoculação foram observadas apenas quando foram aplicadas as maiores doses de  $P_2O_5$  (120 e 240  $kg\ ha^{-1}$ ), com os maiores valores na presença do *A. brasilense*. Para V%, na ausência de inoculação, os valores responderam de forma quadrática ao efeito de doses. Para as áreas cultivadas com plantas inoculadas, a resposta foi quadrática, com ponto de máximo calculada em 156  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

**Tabela 2.** Interações significativas entre adubação fosfatada e inoculação das sementes de aveia preta por *Azospirillum brasilense* para soma de bases e saturação por bases no solo. Selvíria/MS, 2014.

Inoc.	Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )					Equações	R <sup>2</sup> (%)
	0	30	60	120	240		
----- Soma de bases (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----							
S Inoc	54,7a	56,6a	53,5a	45,6b	51,5b	-	ns
C Inoc	42,0a	64,8a	56,7a	62,1a	67,4a	-	ns
----- Saturação por bases (%) -----							
S Inoc	64,3a	65,8a	62,3a	57,8b	65,8a	$\hat{y}^* = 66,1884 - 0,1078 x + 0,0004 x^2$	69,3
C Inoc	50,4b	70,8a	63,3a	69,3a	67,6a	$\hat{y}^{**} = 55,5269 + 0,2153 x - 0,00069 x^2$	53,5

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. \*\* e \* : significativo a 0,01 e 0,05, respectivamente. ns: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

#### 4.2 Efeito da adubação fosfatada residual e da inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense*, em cultivo consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu

Na área cultivada com milho consorciado com capim-Marandu, após o cultivo da aveia preta, as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> residual, a inoculação com *A. brasilense* e a interação entre elas não exibiram nenhuma influência sobre a fertilidade do solo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para os atributos químicos do solo na camada de 0,00 a 0,20 m, em função da adubação fosfatada residual e inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense*, cultivado em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Selvíria-MS, 2015.

Tratamentos		P (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	H+Al ----- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----	SB -----	V (%)
Doses de P (Doses)	0 kg ha <sup>-1</sup>	24,1	28,3	5,3	27,0	41,4	59,0
	30 kg ha <sup>-1</sup>	27,9	28,6	5,5	25,3	49,7	66,5
	60 kg ha <sup>-1</sup>	28,0	28,9	5,5	25,0	48,9	65,0
	120 kg ha <sup>-1</sup>	28,0	28,8	5,4	25,8	47,3	64,1
	240 kg ha <sup>-1</sup>	28,0	28,4	5,4	25,9	45,7	63,6
Inoculação (Inoc)	Sem	26,3	28,5	5,5	25,4	46,5	63,4
	Com	28,0	28,7	5,4	26,2	46,7	63,9
Valores de F							
Doses		0,44 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>	1,43 <sup>ns</sup>
Inoc		0,53 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	1,49 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Doses x Inoc		1,62 <sup>ns</sup>	0,85 <sup>ns</sup>	1,35 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
CV (%)		42	29	5	11	17	11

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. ns: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

O sistema de manejo, assim como a planta antecessora e as plantas em consórcio, contribuíram para o incremento dos teores de MO do solo (28,5 g dm<sup>-3</sup>) em relação à caracterização inicial (25 g dm<sup>-3</sup>), proporcionando uma recuperação do declínio nos teores MO verificado após o cultivo da aveia (21 g dm<sup>-3</sup>). Estes incrementos na MO refletem

diretamente na qualidade físico-química do solo e na manutenção da fertilidade, sendo sua falta considerada limitante à produtividade e sustentabilidade das atividades agrícolas.

A qualidade do solo é favorecida pelos sistemas agrícolas que cultivam intensamente, de preferência com espécies diferentes, sem o revolvimento do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009). No presente caso, o sistema radicular e a palhada da aveia preta deixada antes do cultivo do milho, e cultivo do milho consorciado com o capim-Marandu, esta última com constante renovação de parte do sistema radicular, disponibilizaram nutrientes após decomposição e colaboraram para o aumento nos teores de MO (Tabela 3). Diferente do observado no presente trabalho, Cunha et al. (2012) relataram que a alternância das plantas de cobertura, os resíduos formados não foram suficientes para compensar a exportação desses nutrientes pelos grãos de milho.

Considerando que *A. brasilense*, além de ser diazotrófica, também é indutora do crescimento radicular pela produção de auxinas e, por consequência, promotora de crescimento de plantas. Acreditava-se que as características das plantas antecessoras, milho e capim-Marandu, somadas à inoculação, gerassem incrementos nos teores de MO, o que não foi observado (Tabela 3). Responsável pela nutrição das plantas e dos microrganismos, além de garantir proteção física aos microrganismos (ALVES et al., 2011), incluindo as bactérias inoculadas, a MO tem a capacidade de reter água em quantidade várias vezes maior que sua massa, além de armazenar nutrientes.

O efeito residual das doses de  $P_2O_5$  sobre a produtividade da cultura do milho em consórcio com o capim-Marandu não exibiu ajustes significativos para nenhum atributo avaliado (Tabela 3). Esses resultados são importantes visto que, por meio deles foi possível observar que o residual do  $P_2O_5$  aplicado na cultura antecessora (aveia preta), não resultou em melhorias para as características agrônômicas analisadas e produtividade do milho (Tabela 4). Uma das hipóteses é o teor inicial de P no solo que, atrelado à ciclagem promovida pela palhada da aveia, tenha sido suficiente para o consórcio em sucessão.

O teor de P foi reduzido após o cultivo de milho consorciado quando comparados aos da caracterização inicial do solo ( $36 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e para as doses de 0 e  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  aplicados ( $24,1$  e  $28,0 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente) comparados aos teores após o cultivo de aveia (ou seja,  $18,5$  e  $28,8 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente) (Tabelas 1 e 3). Uma possível justificativa pode estar na sua reduzida solubilidade, visto que ele está sujeito à fixação por oxi-hidróxidos de Fe e Al, minerais normalmente presentes em maiores quantidades nos solos tropicais, o que acaba dificultando sua adequada absorção pelo sistema radicular das plantas (MALAVOLTA, 2006).

Apesar de não terem sido apresenta regressões para doses de  $P_2O_5$  ou significância para inoculação (Tabela 3), quando os valores são comparando aos obtidos ao final da cultura antecessora (Tabela 1), mostraram aumentos significativos na fertilidade do solo, o que pode ser justificado pelo emprego do sistema com rotação de culturas (aveia preta) aliado à cobertura permanente do solo por palhada decorrente do cultivo consorciado de milho e capim-Marandu, plantas geradoras de biomassa. Assim como o capim-Marandu, a aveia preta é uma das espécies que preenche esta necessidade, contribuindo com uma grande produção de matéria seca e por proporcionar rápida cobertura do solo (NOGUEIRA et al., 2013).

Acréscimo nos teores de  $P_2O_5$  no solo, exceto na maior dose aplicada ( $240 \text{ kg ha}^{-1}$ ), assim como para MO e pH, ocorreu manutenção da fertilidade do solo, independentemente dos tratamentos. Quando estes valores foram comparados aos observados após cultivo de aveia preta e do cultivo do milho consorciado (Tabelas 1, 2 e 3), verifica-se a eficácia do sistema aqui testado (SPD) em continuidade. Ressalva deve ser feita os teores  $P_2O_5$ , uma vez que a aplicação ocorreu apenas na semeadura da aveia preta.

As doses da adubação fosfatada residual influenciaram a simbiose com FMA, mas não o número de *Azospirillum* sp., a produtividade de grãos de milho consorciado, ou a interação doses e inoculação para estes atributos (Tabela 4). Um dos fatores para a ausência de resposta ao incremento de  $P_2O_5$  e seu efeito residual pode estar no teor médio inicial constatado no solo da área experimental, valor este considerado como adequado para o bom desenvolvimento do milho. Associado a isso, tem o fato da ciclagem de nutrientes a partir dos restos vegetais da cultura da aveia preta, o que pode ter incrementado maiores quantidades do nutriente ao solo, elevando seu teor a padrões considerados como suficientes para o estabelecimento e bom desenvolvimento do consórcio e produtividade do milho.

Para o número de esporos e colonização radicular por FMA foram detectadas diferenças significativas apenas entre doses crescentes de  $P_2O_5$  (Tabela 4). A colonização mostrou resposta linear em resposta às doses de  $P_2O_5$  no solo, com os valores reduzindo frente às doses mais altas. O comportamento inverso foi visto para esporulação de FMA, ou seja, um acréscimo com o aumento das doses de  $P_2O_5$ . Ademais, houve correlação significativa e negativa entre número de esporos e colonização radicular ( $-0,6697^{**}$ ).

**Tabela 4.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares nas raízes, número mais provável (NMP) de *Azospirillum* spp. e produtividade do milho, por efeito da adubação fosfatada residual e inoculação de sementes de milho com *Azospirillum brasilense*, cultivado em consorciado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Selvíria-MS, 2015.

Tratamentos		n. esporos FMA (100 g solo)	Colonização (%)	NMP (ufc g <sup>-1</sup> solo)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
<b>Doses de P (Doses)</b>	<b>0kg ha<sup>-1</sup></b>	51,6 <sup>(1)</sup>	91,9 <sup>(2)</sup>	4,4	6.164
	<b>30kg ha<sup>-1</sup></b>	49,1	80,0	4,8	6.369
	<b>60kg ha<sup>-1</sup></b>	73,0	78,6	3,3	6.666
	<b>120kg ha<sup>-1</sup></b>	99,0	74,2	5,4	6.638
	<b>240kg ha<sup>-1</sup></b>	147,0	62,5	3,2	6.450
<b>Inoculação (Inoc)</b>	<b>Sem</b>	81,5	78,6	4,0	6.627
	<b>Com</b>	86,3	76,2	4,3	6.287
<b>Valores de F</b>					
<b>Doses</b>		37,20**	35,95**	0,45 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>
<b>Inoc</b>		0,65 <sup>ns</sup>	2,30 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	2,19 <sup>ns</sup>
<b>Doses x Inoc</b>		2,07 <sup>ns</sup>	2,52 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>		22	6	95	11

$$^{(1)}\hat{y}^* = 23,3875 + 13,7375 \times R^2 = 0,9072; \quad ^{(2)}\hat{y}^* = - 6,6750 + 97,2500 \times R^2 = 0,9199$$

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. \*\* e \* : significativo a 0,01 e 0,05, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Os altos teores de P do solo são conhecidos por afetar negativamente esta simbiose, confirmado no presente trabalho (Tabela 4). Quando doses mais elevadas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foram aplicadas na fase inicial da colonização por FMA, em ervilha, Balzergue et al. (2011) relataram que a simbiose desapareceu completamente. Reis Júnior et al. (2008), estudando a absorção de P em doze genótipos de milho inoculados com FMA, em solo de cerrado, constataram altas porcentagens de colonização apenas em ambientes com restrição de P.

Os altos teores de fosfatos do solo são conhecidos por afetar esta simbiose de forma negativa. Resultados como estes (Tabela 4) são verificados em solos com altas concentrações de P, ambiente em que fotossintatos da planta são transferidos para o micossimbionte, mas este não contribui para a nutrição da planta (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A autorregulação da simbiose acontece, em parte, em resposta a sinais derivados da planta. A sinalização inicial acontece, especialmente, devido a estrigolactona, compostos de exsudatos radiculares que estimulam o crescimento e metabolismo de fungos na pré-simbiose. Plantas cultivadas em altas concentrações de fosfato não são capazes de estimular os FMA e não apresentaram estrigolactona, acarretando na redução ou falta de colonização radicular frente às altas doses de fosfato (BALZERGUE et al., 2011).

O número de esporos de FMA foi baixo para a testemunha (sem a aplicação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), mas houve incremento linear nos valores à medida que a dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi aumentando, com a

maior esporulação na dose 240 kg ha<sup>-1</sup>. Os resultados assemelham-se aos relatados por Aguiar et al. (2004) que, estudando interação entre FMA e doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no desenvolvimento da algaroba em solo esterilizado, constataram que a esporulação aumentou com o estresse causado pela adição de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>). Com a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>, os benefícios da inoculação não foram mais verificados, mesmo ocorrendo maior produção de esporos.

Semelhante ao resultado do presente trabalho, mas buscando determinar os efeitos residuais de aplicações de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e da inoculação de FMA sobre a micorrização e o crescimento da cevada de inverno semeada após o trigo de primavera, Buwalda et al. (1985) relataram que a densidade de propágulos aumentou significativamente nas doses mais altas aplicadas. Os autores comentam, ainda, influência positiva da colonização sobre a produtividade, e sugerem que os efeitos máximos de simbiose nem sempre estão relacionados com a alta esporulação.

Neste sentido, a produtividade do milho consorciado (Tabela 4) não respondeu às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ainda que com esporulação fúngica e a infecção estabelecida, sugerindo que a capacidade de absorção de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pelo sistema radicular não foi alterada com a maior ou menor porcentagem de colonização radicular ou número de esporos frente às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. O residual do P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado na cultura antecessora (aveia preta) não procedeu em progressos para a produtividade do milho. Uma das justificativas é o alto teor inicial de P no solo (36 mg dm<sup>-3</sup>) que, juntamente com a ciclagem promovida pela palhada da aveia, pode ter sido suficiente para suprir o consorcio subsequente até porque o cultivo foi irrigado facilitando a difusão e posterior absorção de P pelo milho.

Transferidos via hifas dos FMA para as plantas, o P é o nutriente mais importante absorvido, devido à sua baixa disponibilidade na maioria dos solos. A multifuncionalidade destes fungos provavelmente resulta de espécies individuais dentro de uma comunidade micorrízica, as quais impactam diferentemente o crescimento do hospedeiro, sugerindo que a diversidade de espécies pode fortemente influenciar a estrutura e produtividade da comunidade vegetal (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008).

A inoculação com *A. brasilense* é uma tecnologia barata e de baixo impacto ambiental, por meio da qual o N<sub>2</sub> fixado por estas bactérias torna-se disponível para a planta, ou pela excreção direta da bactéria ou pela mineralização de bactérias mortas (LANA et al. 2012). No entanto, sua indicação técnica ainda precisa ser melhorada, para aumentar a eficiência da associação, com o objetivo de diminuir a dose de fertilizantes nitrogenados ou aumentar a produtividade de grãos da cultura do milho (PANDOLFO et al., 2014). No entanto, no experimento não foram significativas diferenças entre doses, tratamentos de inoculação ou para a interação (Tabela 4), para número de bactérias diazotróficas do solo em cultivo.

O sucesso da inoculação de plantas com *A. brasilense* depende de diversos fatores, ambientais, nutricionais e da compatibilidade entre os pares envolvidos na interação (KIPE-NOLT et al., 1985). Este conjunto de condições pode ter acarretado na ausência de resposta ao tratamento de inoculação, especialmente para a produtividade do milho consorciado e para o número mais provável de *Azospirillum* spp. no solo (Tabela 4).

Ao avaliar o desenvolvimento e produtividade do milho em resposta à inoculação com *A. brasilense*, associada à adubação nitrogenada, Lana et al. (2012) reportam que a inoculação, na ausência de adubação nitrogenada, proporcionou incrementos na produtividade de 15,4 e 7,4%, para as safras de verão 2000/2001 e 2002/2003, respectivamente, tendo a inoculação sido relacionada aos incrementos no desenvolvimento e produtividade das plantas. Resultados estes diferentes dos aqui obtidos (Tabela 4).

No entanto, assim como verificado no presente trabalho (Tabela 4), autores tem encontrado ausência de resposta da produtividade frente à inoculação. Para Lucio et al. (2014) a produtividade do milho inoculados com diferentes isolados de *A. brasilense*, pouco diferiu do controle não inoculado. Para eles, possível explicação está na baixa competitividade com os isolados nativos ou a capacidade de colonização radicular de certos hospedeiros.

Ainda, apesar destas bactérias associativas estarem sendo comercializadas, as causas da variabilidade nas respostas parecem estar relacionadas como genótipo da planta, estirpes com baixo potencial e ineficiência no processo de inoculação, pontos que ainda precisam ser resolvidos, visando minimizar os custos de produção e o impacto ambiental. A seleção de estirpes, portanto, parece ser um dos pontos para o sucesso da inoculação com *Azospirillum*, ainda que pouco se conheça sobre a especificidade entre as bactérias e as plantas (HUNGRIA et al., 2011). Outros fatores que podem estar relacionados à variabilidade nas respostas são a competitividade das estirpes inoculadas com a população nativa de microrganismos do solo e sua sobrevivência no solo (BODDEY; DÖBEREINER, 1995).

Embora estudos tenham mostrado as contribuições deste gênero de bactéria em pastagem, é possível que a quantidade de N fixado seja suficiente para proporcionar um balanço nulo ou até positivos de N para o sistema solo-planta e, com isto, permitir sua maior longevidade, com produtividade em nível aceitável (REIS JUNIOR et al., 2011).

### 4.3 Efeito residual da adubação fosfatada e da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* realizada nas sementes de aveia e milho, no feijoeiro de inverno cultivado sobre a palhada do consórcio milho e *Urochloa brizantha* cv. Marandu

Os atributos químicos do solo após o cultivo do feijoeiro de inverno não apresentaram incrementos como resposta à inoculação residual com *A. brasilense* em sementes de aveia e do milho, culturas antecessoras, com exceção do P e SB, com os maiores valores encontrados nas áreas com sementes não inoculadas (Tabela 5). No entanto, comparando os resultados com os dos cultivos antecessores, aveia preta e milho consorciado com o capim-Marandu (Tabelas 1 e 3), e considerando a exportação de grãos de milho e feijão, houve manutenção dos teores dos atributos químicos do solo, independentemente dos tratamentos, ressaltando a eficiência do sistema testado na continuidade do SPD.

**Tabela 5.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para os atributos químicos do solo, em função dos tratamentos da adubação fosfatada residual e inoculação das sementes de aveia preta e milho antecessores ao feijão de inverno, com *Azospirillum brasilense*. Selvíria-MS, 2015.

Tratamentos		P (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	H+Al ---- (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) ----	SB	V (%)
<b>Doses de P (Doses)</b>	<b>0kg ha<sup>-1</sup></b>	10,5	22,5	5,2	28,8	50,6	63,3
	<b>30kg ha<sup>-1</sup></b>	12,1	23,0	5,4	27,2	53,9	62,1
	<b>60kg ha<sup>-1</sup></b>	12,3	22,9	4,1	28,8	46,1	62,4
	<b>120kg ha<sup>-1</sup></b>	15,8	22,4	4,7	26,9	60,5	65,9
	<b>240kg ha<sup>-1</sup></b>	17,6	22,3	5,4	27,8	45,2	62,0
<b>Inoculação (Inoc)</b>	<b>Sem</b>	15,2	22,6	4,8	27,7	54,9a	63,5
	<b>Com</b>	12,2	22,6	5,1	28,0	47,6b	62,9
<b>Valores de F</b>							
<b>Doses</b>		5,35 <sup>**</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	4,96 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
<b>Inoc</b>		7,00 <sup>*</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	8,49 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>
<b>Doses x Inoc</b>		11,30 <sup>**</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	4,76 <sup>*</sup>	0,65 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>		26	8	30	15	15	13

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativo a 0,01 e 0,05, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Para o nutriente P, como ele não foi repostado ao solo via adubação após o cultivo da aveia preta, houve decréscimo em seus teores no solo (Tabela 5), mesmo em doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas no cultivo inicial (aveia preta). Esperava-se que as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> proporcionassem efeito residual, com incrementos nas quantidades deste nutriente no solo. As demais variáveis não responderam de forma positiva ao efeito residual da adubação fosfatada.

Para os teores de P e valores de SB do solo foram detectadas interações entre inoculação e adubação fosfatada residual (Tabela 6). No desdobramento da interação, a dose

mais alta de  $P_2O_5$  ( $240 \text{ kg ha}^{-1}$ ), juntamente com a ausência da inoculação, exibiram os teores mais elevados de P ( $26,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ), comparados aos menores detectados nesta mesma dose, mas no tratamento inoculado ( $9,0 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Para os dois tratamentos (inoculadas ou não), os resultados para o teor de P disponível no solo se ajustaram à regressão quadrática. Para o solo cultivado com plantas não inoculadas, o ponto de mínimo calculado para  $34 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto que para as áreas com sementes inoculadas, os valores de P adequaram-se em um modelo quadrático, com ponto de máximo calculado para a dose de  $121 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

**Tabela 6.** Interações significativas entre adubação fosfatada residual e inoculação das sementes de aveia preta e das sementes de milho com *Azospirillum brasilense* para o teor de P e soma de bases (SB) do solo coletado após a colheita do feijoeiro. Selvíria/MS, 2014.

Trat.	Doses de $P_2O_5$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ )					Equações	$R^2$ (%)
	0	30	60	120	240		
	----- P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) -----						
<b>S Inoc</b>	10,5a	14,0a	11,5a	13,5a	26,3a	$\hat{y}^* = 11,919 - 0,0204 x + 0,0003 x^2$	94,78
<b>C Inoc</b>	10,5a	10,3a	13,0a	18,0a	9,0b	$\hat{y}^{**} = 8,838 + 0,1211 x - 0,0005 x^2$	78,71
	----- Soma de bases ( $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) -----						
<b>S Inoc</b>	47,5a	64,9a	50,3a	58,6a	53,4a	-	ns
<b>C Inoc</b>	53,7a	43,0b	41,9a	62,4a	37,1b	-	ns

Nota: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. \*\* e \* : significativo a 0,01 e 0,05, respectivamente. ns: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

Para SB do solo verificou-se um incremento nos valores para as áreas que receberam 30 e  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  quando as sementes não foram inoculadas com *A. brasilense*. Ademais, os resultados exibidos para ambos os tratamentos de inoculação não apresentaram ajustes significativos de regressão para a adubação residual (Tabela 6).

A inoculação com *A. brasilense*, tanto nas sementes de aveia como do milho do consórcio antecessor, acarretou em redução da colonização radicular, do número mais provável de *Azospirillum* spp. no solo e da produtividade do feijoeiro (Tabela 7). Estes resultados podem ter ocorrido em função da não especificidade destas bactérias, agora no solo, ao feijoeiro, ou ao fato do solo da área experimental oferecer níveis ótimos de fertilidade, aliada à adubação nitrogenada adequada, além de cultivo irrigado. Estes fatores interferem negativamente na multiplicação do *A. brasilense*, e pouco afetou as características químicas do solo.

Tais resultados para colonização radicular podem ser justificados por uma possível competição entre estas bactérias e os FMA na colonização radicular. Segundo Biró et al. (2000), em raízes de cereais colonizadas por *Azospirillum* spp. e FMA, ambos os endófitos

podem estar presentes na mesma área cortical das raízes e gerar uma possível interação direta planta-bactéria-FMA, o que pode proceder em competição por compostos fotossintetizados.

**Tabela 7.** Médias, valores de F e coeficientes de variação (CV%) para número de esporos e colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares nas raízes, número mais provável de *Azospirillum* spp. e produtividade, em função da adubação fosfatada residual e da inoculação de sementes de aveia preta e milho antecessores com *Azospirillum brasiliense*. Selvíria/MS, 2015.

Tratamentos		NESP (100 g solo seco)	COL (%)	NMP (ufc g <sup>-1</sup> solo)	Produtividade
<b>Doses de P (Doses)</b>	<b>0 kg ha<sup>-1</sup></b>	27,7	31,6	2,4	2.551
	<b>30 kg ha<sup>-1</sup></b>	27,2	30,4	2,6	2.637
	<b>60 kg ha<sup>-1</sup></b>	32,2	34,4	2,5	2.779
	<b>120 kg ha<sup>-1</sup></b>	34,0	31,7	2,7	2.843
	<b>240 kg ha<sup>-1</sup></b>	30,9	30,4	2,29	2.937
<b>Inoculação (Inoc)</b>	<b>Sem</b>	31,1	34,4a	2,6a	2.874
	<b>Com</b>	29,1	29,0b	2,4b	2.625
<b>Valores de F</b>					
<b>Doses</b>		0,92 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>	0,19 <sup>ns</sup>	5,35 <sup>**</sup>
<b>Inoc</b>		0,20 <sup>ns</sup>	6,56 <sup>*</sup>	0,63 <sup>*</sup>	19,97 <sup>**</sup>
<b>Doses x Inoc</b>		0,51 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	18,35 <sup>**</sup>
<b>CV (%)</b>		29	21	44	11

Nota: Médias seguidas de mesma letra, na vertical, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: significativos a 0,01 e 0,05, respectivamente; <sup>ns</sup>: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

A inoculação com *A. brasiliense* nas sementes de aveia e milho não proporcionou incrementos no número mais provável de *Azospirillum* spp., comparados aos valores do não inoculado (Tabela 7). Deve-se atentar que, para obter resultados satisfatórios com a inoculação, é essencial fazer uso de bactérias específicas eficientes, aliado à prática da reinoculação, de forma que estas bactérias consigam aumentar sua população e colonizar o ambiente, competindo satisfatoriamente com as espécies autóctones, menos eficientes (HUNGRIA et al., 2010). Vale ressaltar que a inoculação não foi realizada nas sementes de feijão, apenas nas culturas antecessoras, assim provavelmente sem efeito residual.

O efeito residual da adubação fosfatada realizada na semeadura da aveia preta, ou a interação entre doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e inoculação de sementes, não influenciou significativamente o número de esporos, colonização e número mais provável de *Azospirillum* spp. (Tabela 7). A carência de resultados significativos pode estar relacionada ao fato deste nutriente apresentar baixa mobilidade e alta capacidade de adsorção no solo, além de ter sido aplicado a lanço apenas uma vez, antes da semeadura da aveia preta. Outro ponto a ser questionado pode ser a qualidade do processo de inoculação, o qual pode ser comprometido com tratamentos simultâneos de sementes, ou seja, das bactérias com fungicidas e inseticidas. Esse fator foi

constatado por Araújo et al. (2007), que observaram que o tratamento das sementes do feijoeiro reduziu a eficiência da inoculação destas plantas.

A produtividade do feijoeiro respondeu de forma positiva à aplicação de doses de  $P_2O_5$  aplicada na aveia preta. Miranda et al. (2000) e Silva et al. (2001) também encontraram acréscimos na produtividade do feijoeiro, com o aumento das doses de  $P_2O_5$  aplicadas. Benvindo (2012) avaliou o efeito da aplicação de seis doses de fósforo na semeadura do feijão (0; 50; 100; 150; 200 e 300  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), na forma de superfosfato triplo no município de Bom Jesus-PI, e verificaram que as doses de  $P_2O_5$  elevaram os teores do nutriente no solo e na planta, tanto nas folhas como nas sementes de feijão. A aplicação de fósforo aumentou a produtividade do feijão atingindo 1.319  $kg\ ha^{-1}$  de grãos na dose de 168  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ . Para Grant et al. (2001), o fornecimento adequado de  $P_2O_5$  se destaca ao dos demais nutrientes, pois este é essencial desde os estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Os efeitos da inoculação sobre a produtividade do feijoeiro apresentaram ajuste linear positivo ao incremento de  $P_2O_5$  residual do solo (Tabela 8). As plantas advindas das parcelas onde as sementes de aveia e milho foram inoculadas, a produtividade respondeu à aplicação de doses crescentes, com valor superior a 240  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ .

**Tabela 8.** Interações significativas entre adubação fosfatada residual e inoculação de sementes das plantas antecessoras (aveia e no milho em consórcio com *Urochloa brizantha* cv. Marandu) com *Azospirillum brasilense* para a produtividade do feijoeiro de inverno, em sucessão. Selvíria/MS, 2014.

Inoc.	Doses de $P_2O_5$ ( $kg\ ha^{-1}$ )					Equação	$R^2$ (%)
	0	30	60	120	240		
----- Produtividade -----							
<b>S Inoc</b>	2.762a	2.868a	3.159a	2.768a	2.811a	-	ns
<b>C Inoc</b>	2.339b	2.405b	2.399b	2.919a	3.064a	$\hat{y}^{**} = 2.324,392 x + 3,342 x^2$	87,47

Nota: Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. \*\*:significativo a 0,01. ns: não significativo.

Fonte: Elaboração do autor.

## 5 CONCLUSÃO

As doses residuais de P aplicada na semeadura da aveia preta, assim como a inoculação das sementes com *A. brasilense* não influenciaram os atributos químicos do solo e a produtividade de grãos de milho consorciado com *U. brizantha* cv. Marandu em sucessão.

Após o cultivo do milho consorciado, o número de esporos e colonização radicular por FMA foram inversamente influenciados pelo residual de doses de  $P_2O_5$ .

A adubação nos cultivos e a calagem em superfície, aliados à decomposição e mineralização dos resíduos vegetais das culturas de aveia preta, do consórcio do milho com capim-Marandu e do feijoeiro de inverno sobre o solo, proporcionou a manutenção da fertilidade do solo, com incrementos nos teores de P e SB, independentemente da inoculação ou não com *A. brasilense*.

No cultivo do feijoeiro de inverno, o número mais provável de *Azospirillum* spp. e colonização radicular foram influenciados pela inoculação com *A. brasilense*, sendo os maiores valores nos tratamentos não inoculados. Houve efeito da inoculação sobre

A produtividade do feijoeiro foi influenciada pela inoculação das plantas antecessoras com *A. brasilense*, em função das doses de  $P_2O_5$ . Para as doses 0, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ , a maior produtividade ocorreu no tratamento não inoculado, mas o resultado se inverte para a dose residual de 240 kg ha<sup>-1</sup> de  $P_2O_5$ .

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, R. L. F.; MAIA, L. C.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 589-598, 2004.
- ANDREOTTI, M.; ARALDI, M.; GUIMARÃES, V. F.; JUNIOR, E. F.; BUZETTI, S. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.
- ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; CRESTE, J. E. Fixação biológica de N<sub>2</sub> no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 535-540, 2007.
- BALZERGUE, C.; PUECH-PAGÈS, V.; BÉCARD, G.; ROCHANGE, S. F. The regulation of arbuscular mycorrhizal symbiosis by phosphate in pea involves early and systemic signaling events. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 1049-1060, 2011.
- BARBERI, A.; CARNEIRO, M. A. C.; MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J.O. Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no sul de Minas Gerais. **Revista Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 145-153, 1998.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BENVINDO, R. N. **Adubação fosfatada e potássica na nutrição e na produtividade de feijão-caupi, cultivado no município de Bom Jesus-PI**. 2012. 61 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, “Júlio de Mesquita”, Jaboticabal, 2012.
- BERGAMASCHI, C. **Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas a raízes e colmos de cultivares de sorgo**. 2006. 83 f. Dissertação (Mestrado-Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente, Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul, 2006.

- BIRÓ, B.; KOVES-PECHY, K.; VORS, I.; TAKACS, T.; EGGENBERG, P.; STRASSER, R.J. Interrelations between *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers and arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of alfalfa in sterile, AMF-free or normal soil conditions. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 15, n. 2, p. 159-168, 2000.
- BODDEY, R. M.; DÖBEREINER, J. Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for the future. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 42, n. 1, p. 241-250, 1995.
- BORIE, F., RUBIO, R.; MORALES, A. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 8, n. 2, p. 9-18, 2008.
- BUWALDA, J. G.; STRIBLEY, D. P.; TINKER, P. B. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in first, second and third cereal crops. **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 105, n. 3, p. 631-647, 1985.
- BURDMAN, S.; JURKEVITHC, E.; SCHWARTSBURD, M. H.; OKON, Y. Aggregation in *Azospirillum brasilense*: effects of chemical and physical factors and involvement of extracellular components. **Microbiology**, London, v. 144, n. 9, p. 1989-1999, 1998.
- CAMARGO, C. E. O.; FREITAS, J. G.; CANTARELLA, H. Aveia, centeio. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico; IAC, 1997. p. 2-53. (Boletim Técnico, 100)
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Adubação de cereais. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 43-50. (IAC. Boletim técnico, 100).
- CAVALLET, L. E.; PESSOA, A. C. S.; HELMICH, J. J.; HELMICH, P. R.; OST, C. F. Produtividade do milho em resposta à aplicação de nitrogênio e inoculação das sementes com *Azospirillum* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 129-132, 2000.
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L M. M. de; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. da R.; CESARIN, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.
- COELHO, A. M.; RESENDE, A. V. **Exigências nutricionais e adubação do milho safrinha**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2009. 10 p. (Circular Técnica, 111).
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 09 nov. 2015.
- COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 7, p. 1185-1191, 2006.

COSTA, W.A.J.M.D.; SANGAKKARA, U.R. Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 144, p. 111-133, 2006.

CUNHA, E. Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica, impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. rev. atual. e ampl. Belém: Editora do Autor, 2011. 216 p.

DOBBELAERE, S.; CROONENBORGHS, A.; TRYSS, A.; PTACEK, D.; OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 36, n. 4, p. 284-297, 2002.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do milho**. Brasília, DF: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2009. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/sisplantiodireto.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/sisplantiodireto.htm)>. Acesso em: 16 out. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN)**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2012. Disponível em: <[www.agrosustentavel.com.br/downloads/fbn.pdf](http://www.agrosustentavel.com.br/downloads/fbn.pdf)>. Acesso em: 06 ago. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; STONE, L.F. Resposta do feijoeiro a adubação fosfatada. In: POTAFÓS. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-9, 2003.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Científica Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FREITAS, S. S.; VILDOSO, C. I. A. Rizobactérias e promoção de crescimento de plantas cítricas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 987-994, 2004.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transaction of British Mycological Society**, Cambridge, v. 46, n. 2, p. 234-244, 1963.

GÖRGEN, C. A.; CIVARDI, E. A.; RAGAGNIN, V. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; CARNEIRO, L. C.; LOBO JÚNIOR, M. Redução do inóculo inicial de *Sclerotinia sclerotiorum* em soja cultivada após uso do Sistema Santa Fé. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 10, p. 1102-1108, 2010.

GRANT, C. A.; PLATEND, D. N.; TOMAZIEWICZ, D. J. SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Potafós, n. 95, p. 1-5, 2001.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Documentos, n. 325)

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; SOUZA, E. M. S.; PEDROSA, F. O. Inoculation with selected stains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 331, n. 1-2. p. 413-425, 2010.

JAMES, E. K.; BALDANI, J. I. The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels. **Plant and Soil**, Dordrech, v. 356, n. 1/2, p. 1-3, 2012.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, Saint Paul, v. 48, n. 4, p. 692, 1964.

KIPE-NOLT, J. A.; AVALAKKI, U. K.; DART, P. J. Root exudation of sorghum and utilization of exudates by nitrogen-fixing bacteria. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 17, n. 6, p. 859-863, 1985.

LANA, M. C.; DARTORA, J.; MARINI, M.; HANN, J. E. Inoculation with *Azospirillum*, associated with nitrogen fertilization in maize. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 59, n. 3, p. 399-405, 2012.

MACEDO, M. C. M. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 38, supl., p. 133-146, 2009.

MACEDO, I. C. S.; PASQUALETTO, A. **Sistema plantio direto**: alternativa de proteção ambiental em propriedades rurais do Cerrado. Goiânia: PUC/GO, 2007. 14 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Ceres. 2006. 638 p.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. p. 209-248.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Recuperação de áreas degradadas**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/recuperacao-areas-degradadas>>. Acesso em: 18 set. 2015.

- MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J. A.; MIRANDA, J. C. C.; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regime de irrigação em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 703-710, 2000.
- MOREIRA, F.M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- NOGUEIRA, J. L.; SILVA, B. A.; CARVALHO, T. C.; PANOBIANCO, M. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de aveia preta. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 60, n. 6, p. 896-901, 2013.
- NOVAKOWISKI, J. H.; SANDINI, I. E.; FALBO, M. K.; MORAES, A. de.; CHENG, N. C. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, supl.1, p. 1687-1698, 2011.
- OKON, Y.; VANDERLEYDEN, J. Root-associated *Azospirillum* species can stimulate plants. **Applied and Environmental Microbiology**, New York, v. 63, n. 7, p. 366-370, 1997.
- OLIVEIRA, I. P. de; ARAUJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 169-221.
- OLIVEIRA, A. L. M.; URQUIAGA, S.; BALDANI, J. I. **Processos e mecanismos envolvidos na influência de microrganismos sobre o crescimento vegetal**. Seropédica: CNPAB, 2003. 40 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 161).
- PANDOLFO, C. M.; VOGT, G. A.; BALBINOT JÚNIOR, A. A.; GALLOTTI, G. J. M.; ZOLDAN, S. R. Desempenho de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* associado a doses de nitrogênio em cobertura. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 27, n. 3, p. 94-99, 2014.
- PECHE FILHO, A. P. Mecanização do sistema plantio direto. **O Agrônomo**, Campinas, v. 57, n. 1, p. 16-17, 2005.
- PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycology Society**, Cambridge, v. 55, n. 1, p. 158-161, 1970.
- RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- REIS JÚNIOR, F. B.; MACHADO, C. T. T.; MACHADO, A. T.; SODEK, L. Inoculação de *Azospirillum amazonense* em dois genótipos de milho sob diferentes regimes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 1139-1146, 2008.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; REIS, V. M.; HUMGRIA, M. Fixação biológica de nitrogênio: uma revolução da agricultura. In: FALEIRO, F. G.; ANFRADE, S. R. M.; REIS JUNIOR, F.B. **Biotecnologia: estado da arte e aplicações na agropecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2011. p. 247-282.

RESENDE, A. V.; NETO A. E. F. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2007. 32 p.

RANGEL-LUCIO, J. A.; GAMA, R. M. R.; ORTÍZ, F. C.; EÇOS, M. M.; MOYA, E. G.; REYES, G. R. Bioferlización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de granos de maíz, sorgo y trigo. **Revista FCA UNICUYO**, Mendoza, v. 46, n. 2, p. 231-238, 2014.

ROESCH, L. F. W.; OLIVARES, F. L.; PASSAGLIA, L. P. M.; SELBACH, P. A.; SÁ, E. L. S de; CAMARGO, F. A. O. Characterization of diazotrophic bacteria associated with maize: effect of plant genotype, ontogeny and nitrogen-supply. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, Dordrecht, v. 22, n. 9, p. 967-974, 2006.

SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 654 p.

SAGGIN JUNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA: DCS/ DCF, 1996. p. 203-254.

SALVADOR C. A. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2011/12**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento-Departamento de Economia Rural-PR, 2011

SILVA, S. L. **Avaliação de semeadoras para de plantio direto: demanda energética, distribuição longitudinal e profundidade de decomposição de sementes em diferentes velocidades de deslocamento**. 2000. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

SILVA, E. B.; RESENDE, J. C. F.; CINTRA, W. B. R. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 6, p. 973-977, 2001.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SILVEIRA, A. P. D.; GOMES, V. F. F. Micorrizas em plantas frutíferas tropicais. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**, Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p. 57-77

SIQUEIRA, J. O.; SOUZA, F. A.; CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716 p.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3. ed. London: Academic, 2008. 785p.

STÜRMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Biodiversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Ed.). **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 537-583.

TIMOSSI, P. C.; DURIGAN, J. C.; LEITE, G. J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 617-622, 2007.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Desenvolvimento da planta de soja e o potencial de rendimento de grãos. In: THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. (Ed.). **Soja: manejo para alta produtividade de grãos**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. p. 13-33.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, p. 743-755, 2009.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 84, n. 1, p. 28-40, 2005.