

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA SOJA EM RESPOSTA AO USO DE INOCULANTES, CONSÓRCIO E NITROGÊNIO FOLIAR

Rodrigo Junior Schneider^{1*}, Karine Fuschter Oligini², Maicon Junior Detoni¹,
Vanderson Vieira Batista³, Laércio Ricardo Sartor⁴

SAP 20384 Data envio: 31/08/2018 Data do aceite: 24/10/2018
Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 4, out./dez., p. 456-464, 2018

RESUMO - O objetivo deste estudo foi avaliar a associação entre as bactérias da espécie *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* coinoculadas e o uso de nitrogênio (N) foliar no crescimento e produtividade de soja, sob sistema de integração lavoura-pecuária. O experimento foi conduzido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus Dois Vizinhos*, na safra 2014/15. O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 (A) x 3 (B) x 2 (C) [A = uso ou não de ervilhaca em consórcio com aveia e azevém antecedendo a soja, B = uso de inoculação com *B. japonicum*, coinoculado com *B. japonicum* + *A. brasilense* e controle (sem inoculante) e C = aplicação ou não de N foliar na concentração de 33%, em estágio de plena floração (R2)], contendo 3 repetições. Os parâmetros avaliados foram: número de nódulos, biomassa seca de raízes e parte aérea, altura da planta, número de plantas por m², número de vagens e grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade de soja em kg ha⁻¹. A coinoculação gerou aumento da nodulação inicial, porém não apresentou efeito sobre o crescimento e produtividade de plantas de soja, assim como no tratamento com N foliar. O nitrogênio foliar apresentou efeito sinérgico compensatório para a produtividade de grãos de soja, na ausência da ervilhaca, obtendo incremento de 525,9 kg ha⁻¹ para o tratamento com *Bradyrhizobium japonicum* sem ervilhaca e sem aplicação de nitrogênio foliar em relação ao tratamento controle sem ervilhaca e sem aplicação de nitrogênio foliar.

Palavras-chave: Coinoculação, fixação biológica de nitrogênio, nitrogênio foliar.

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN IN RESPONSE TO THE USE OF INOCULANTS, CONSORTIUM AND FOLIAR NITROGEN

ABSTRACT - The objective of this study was to evaluate the association between the bacteria of the species *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense* coinoculated and the use of nitrogen (N) foliar in the growth and yield of soybean under a system of crop-livestock integration. The experiment was conducted at the Federal Technological University of Paraná, *Campus Dois Vizinhos*, in the 2014/15 harvest. The experimental design was a randomized complete block design in factorial scheme 2 (A) x 3 (B) x 2 (C) [A = use or not of vetch in a consortium with oats and ryegrass before soybean, B = use of inoculation with *B. japonicum*, co-inoculated with *B. japonicum* + *A. brasilense* and control (without inoculant) and C = application of leaf N at 33% concentration, in full bloom stage (R2)], containing 3 replicates. The parameters evaluated were: number of nodules, dry biomass of roots and aerial part, height of plant, number of plants per m², number of pods and grains per plant, mass of one thousand grains and soybean yield in kg ha⁻¹. Co-inoculation resulted in increased initial nodulation, but did not have an effect on the growth and productivity of soybean plants, as well as on leaf N treatment. The leaf nitrogen presented a compensatory synergistic effect for soybean grain yield, in the absence of vetch, obtaining an increase of 525.9 kg ha⁻¹ for the treatment with *Bradyrhizobium japonicum* without vetch and without application of foliar nitrogen in relation to the control treatment without vetch and without application of foliar nitrogen.

Keywords: Coinoculation, biological nitrogen fixation, leaf nitrogen.

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) apresenta grande relevância socioeconômica, pois desta, podem ser obtidos uma elevada gama de subprodutos contendo alto teor proteico, que é utilizado na alimentação humana e animal. É uma das *commodities* mais comercializadas no mundo e produto de maior destaque para a economia

nacional, ocupando a maior área já cultivada com uma cultura no país, onde na safra 2017/18 ocupou uma área aproximada de 35,10 milhões de ha com produção estimada de 3.302 kg ha⁻¹ milhões (CONAB, 2018).

Sabe-se que a soja é uma cultura exótica no Brasil, no entanto, com o uso do melhoramento genético hoje encontra-se amplamente adaptada e bem difundida

¹Engenheiro Agrônomo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000, *Campus Dois Vizinhos*, Paraná, Brasil. E-mail: s.rodriogojr@hotmail.com; mjdetoni@gmail.com.

²Mestranda em Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Km 1, CEP 85503-390, *Campus Pato Branco*, Paraná, Brasil. E-mail: karine_oligini@hotmail.com. *Autora para correspondência.

³Mestrando em Agroecossistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000, *Campus Dois Vizinhos*, Paraná, Brasil. E-mail: vandersonvbatista@hotmail.com.

⁴Professor Doutor, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000, *Campus Dois Vizinhos*, Paraná, Brasil. E-mail: laerciosartor@utfpr.edu.br.

entre as diferentes regiões do país, sendo cultivada no verão e início de outono. Apresenta melhor desenvolvimento entre temperaturas de 20 a 30°C, sendo sua colheita de 80 a 130 dias após a semeadura, com necessidades hídricas de 450 a 800 mm, variando conforme cultivar e ciclo (EMBRAPA, 2014).

No crescimento e desenvolvimento da cultura, o elemento exigido em maior quantidade é o nitrogênio (N), por ser componente estrutural da clorofila, de enzimas e proteínas, participando de diversas reações metabólicas na planta. Sua deficiência pode acarretar muitos distúrbios fisiológicos, como a má formação de raízes, menor crescimento foliar, devido a menor taxa fotossintética, e em consequência disto, menor produção e translocação de fotoassimilados, resultando assim em diminuição do crescimento e perdas de produtividade (TAIZ et al; 2017).

O nitrogênio (N) é encontrado naturalmente no solo, obtido por meio da decomposição e mineralização da matéria orgânica, realizada por microrganismos decompositores. Porém, com o elevado nível de extração deste nutriente por culturas com alta produtividade, este elemento tende a não conseguir suprir as exigências das plantas. Todavia pode ser fornecido por meio de fertilizantes químicos nitrogenados, fixação do nitrogênio atmosférico (N₂) por descargas elétricas e pela fixação biológica do nitrogênio (FBN). A FBN ocorre pela associação simbiótica de leguminosas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, as quais têm a capacidade de fixar o N₂ do ar atmosférico (78% da atmosfera é composta por N₂), transformando em NH₄⁺, deixando-o disponível para a planta hospedeira (HOFFMANN, 2007).

Este elemento representa o maior custo de adubação, devido a alta exigência das plantas, seu elevado valor de mercado e pelo pouco aproveitamento das plantas (\pm 50%) de todo N mineral aplicado; devido às perdas por volatilização e lixiviação, elevando assim os custos da cultura, a qual necessita de 240 kg de N absorvidos para obter uma produtividade de 3.000 kg ha⁻¹. Com a FBN, esta necessidade é suprida, tornando a soja autossuficiente deste elemento, garantindo assim menor custo e altas produções; preservando o meio ambiente das contaminações geradas pelo fertilizante químico (HUNGRIA et al., 2005).

No Brasil, a FBN é uma tecnológica de grande sucesso, chegando a ocupar a maior parte das áreas cultivadas com soja no país, sendo sua comercialização em 2016 de mais de 50 milhões de doses de inoculante (ANPII, 2017), utilizando principalmente a espécie *Bradyrhizobium japonicum*; possibilitando redução dos fertilizantes nitrogenados, gerando uma economia nacional anual de aproximadamente US\$ 13 bilhões (EMBRAPA, 2018).

Buscam-se cada vez mais alternativas ecologicamente corretas e economicamente viáveis, frente a crescente demanda do mercado pelos produtos derivados da soja. Neste contexto, pesquisadores têm buscado novas estratégias para maximizar a técnica de inoculação, como a aplicação em cobertura e a coinoculação, também

denominada de inoculação mista, que consiste na união de diferentes microrganismos, gerando um efeito sinérgico, superando resultados de forma isolada.

Como exemplo pode-se citar as bactérias promotoras de crescimento *Azospirillum brasilense*, bem como do aumento de rendimento da cultura através de adubos foliares, tornando a *commodity* mais competitiva no mercado internacional (FERLINI, 2006; BARBARO, 2009).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a associação entre as bactérias do gênero *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, coinoculadas e do uso de Nitrogênio foliar sobre o crescimento e produtividade de grãos de soja, sob sistema de integração lavoura-pecuária, utilizando aveia consorciada com azevém e ervilhaca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *Campus* Dois Vizinhos, na safra 2014/2015. A área experimental está localizada a 25°42'52" S, e 53°06' 94" W e altitude média de 520 m. De acordo com a classificação internacional de Köppen, o clima é do tipo *Cfa*, subtropical úmido (ALVARES et al., 2013). O solo é classificado como NITOSSOLO VERMELHO Distroférrico (BHERING et al., 2008).

A área experimental possui 7 ha, divididos em três blocos de aproximadamente 2,33 ha cada. A aveia branca cv. IPR 126 foi cultivada no inverno de 2012 em toda a área, seguido do cultivo de milho para silagem (verão 2012/2013) e posterior pousio (janeiro a maio) até a semeadura de pastagens de inverno do ano de 2013, realizando o cultivo em sistema de integração lavoura pecuária.

No inverno de 2014 dividiu-se cada bloco em 3 piquetes, onde utilizou-se como pastagens, combinações de aveia (*Avena strigosa*) + azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) e aveia + azevém + ervilhaca (*Vicia* sp.), destinados à alimentação de bovinos. Foram semeadas faixas de soja sobre a cobertura hiberna em cada bloco, totalizando 2,42 ha com soja e no restante sendo utilizada a cultura do milho. Ao total, foram utilizados 6 dos 9 piquetes, contendo cada piquete uma área de 150 m² para a disposição dos tratamentos.

A cultura da soja foi implantada em 05 de dezembro de 2014, em sistema de semeadura direta, utilizando a cultivar Nidera 5909 RR (indicada para a região), de hábito de crescimento indeterminado e ciclo de 130 dias, com grau de maturação de 5,9. Esta foi semeada no espaçamento de 0,5 m entre linha, utilizando 16,5 sementes por metro linear, objetivando uma densidade final de 300 mil plantas ha⁻¹.

Para adubação de base utilizou-se 240 kg ha⁻¹ de NPK na formulação 00-18-18, conforme recomendação de análise de solo (Tabela 1), porém, sem N na fórmula, para que não interferisse na FBN.

TABELA 1 - Análise físico-química da área de experimento antes da implantação da soja.

Análise físico-química da área experimental ¹								RP ² (cm)	
pH	MO	Al ³⁺	H+Al	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	P	0-10 cm	10-20 cm
CaCl ₂	g dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			mg m ⁻³	kPa	
4,66	37,97	0,20	5,48	0,17	4,23	2,76	5,53	1701	2751

¹Realizada no Laboratório de Análise de Solos da UTFPR, *Campus* Pato Branco, ²RP = resistência mecânica do solo à penetração, realizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da UTFPR, *Campus* Dois Vizinhos, PR. MO = matéria orgânica.

Os níveis de precipitação e temperatura para o período da cultura foram mensurados em estação

meteorológica a ± 300 m do experimento, descritos na Tabela 2.

TABELA 2 - Dados meteorológicos mensais de temperatura e precipitação, verificados na área experimental, durante a safra 2014/15.

Precipitação média acumulada (mm)				Temperatura média (°C)			
dezembro	janeiro	fevereiro	março	dezembro	janeiro	fevereiro	março
mm				°C			
25,80	284,20	217,40	156,40	25,13	23,50	22,60	21,50

Fonte: Estação Meteorológica da UTFPR, *Campus* Dois Vizinhos, PR.

O experimento seguiu esquema fatorial (3 x 2 x 2) com delineamento experimental em blocos ao acaso, parcelas subdivididas e 3 repetições em cada tratamento, onde o fator A, constituiu dos tratamentos com inoculante a base de *Bradyrhizobium japonicum* coinoculado com *B. japonicum* + *A. brasilense* e controle, sem inoculação. O fator B constituiu da divisão das áreas cultivadas e pastejadas no inverno anterior com pastagem de aveia + azevém + ervilhaca (70-30-30 kg ha⁻¹ de semente) e aveia + azevém (70-30 kg ha⁻¹ de semente) e o fator C pela utilização ou não do N foliar de lenta absorção (33% de N), aplicado em estádio R2 (plena floração). A unidade experimental utilizada foi 25 m² (5,0 x 5,0 m) por parcela, composta por 10 linhas de soja.

Os inoculantes utilizados foram *Bradyrhizobium japonicum* (inoculante líquido, contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, na concentração de 5,0 x 10⁹ UFC mL⁻¹) e *Azospirillum brasilense* (inoculante líquido, contendo as estirpes AbV-5 e AbV-6, na concentração de 2,0 x 10⁸ UFC mL⁻¹), que foram aplicados em pós-emergência, quando a soja se encontrava no estádio fenológico VE (emergência), por ser este método compatível ao tratamento de sementes, utilizando cinco vezes a dose indicada.

A indicação para a inoculação de sementes foi 100 mL⁻¹ de *B. japonicum* e 200 mL⁻¹ de *A. brasilense* para 50 kg de sementes, utilizando uma área de 10.000 m² (1 ha). Estes foram aplicados em pós-emergência, com 1 L de solução por parcela (25 m²) (400 L ha⁻¹), para melhor homogeneização da aplicação na área, sendo aplicados com uso de máquina costal (D20), no final da tarde (±18 h), com temperatura média de 26,8°C.

A aplicação de N foliar utilizada foi 50 mL do produto (33% de N) por parcela (25 m²), com concentração indicada no rótulo do produto de 20 L ha⁻¹, dissolvidos em 1 L de água por parcela (400 L ha⁻¹) a temperatura ambiente e aplicados via pulverização com uso de máquina costal, no final da tarde (±18 h), com temperatura média de 25,5°C e quando a soja se encontrava no estádio fenológico R2.

O manejo fitossanitário seguiu as recomendações oficiais para a cultura da soja (EMBRAPA, 2013), realizando 3 aplicações de fungicidas (Triazol + Estrubirulina) para controle de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizie*), juntamente com 3 aplicações de inseticidas para controle de *Diabrotica speciosa*, *Chrysodexis includens* e *Euschistus heros*.

As avaliações consistiram na determinação do número de nódulos (NN), biomassa seca de raízes (BSR), biomassa seca da parte aérea (BSPA), altura de plantas (AP) e produtividade de grãos (PRODG). Para avaliar o NN e AP, foram feitas duas coletas, sendo a primeira aos 20 dias após a emergência (DAE) e a segunda aos 50 DAE, coletando-se 10 plantas aleatoriamente de cada parcela, as quais ficaram imersas em água por 24 h, para que o solo presente nas raízes se desprendesse com maior facilidade. Em Laboratório, após este período, as raízes foram separadas da parte aérea com auxílio de tesoura, lavadas em peneira de malha grossa, com o cuidado de não destacar os nódulos e contadas.

A AP foi mensurada a partir da inserção do hipocótilo até o último trifólio. Em seguida, as raízes e a parte aérea foram levadas para secar em estufa de ventilação forçada durante 72 h, tempo suficiente para atingir a biomassa constante, a temperatura de 55°C, com posterior pesagem para a obtenção da BSR e BSPA.

Ao final do ciclo da cultura, no ponto de maturação de colheita dos grãos (R9) foi realizada a colheita manual de cada parcela, em 1 m² da região central da parcela. Posteriormente foram realizadas as contagens do número plantas por m², número de vagens por planta e número de grãos por vagem. No laboratório realizou-se a pesagem dos grãos, para obter a massa de mil grãos e avaliou-se a umidade das amostras, corrigindo-as para 13%, com a finalidade de estimar a produtividade dos grãos.

Os dados coletados foram submetidos aos testes de Bartlette e Lilliefors, a fim de verificar a homogeneidade das variâncias e normalidade, respectivamente. Tendo as variáveis se apresentado

homogêneas e normais, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), com auxílio do software estatístico Assistat (SILVA; AZEVEDO, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando o solo da área experimental, verifica-se que o mesmo se encontra com pH de 4,66 (Tabela 1), o que, segundo Miguel e Moreira (2001) seria um valor abaixo do ideal para o desenvolvimento da bactéria *Bradyrhizobium*, que tem melhor desenvolvimento em pH 6,0; limitando a sua sobrevivência.

Um solo ácido limita o crescimento radicular, bem como a absorção de água e nutrientes, pois quando o solo está ácido há maior presença de alumínio tóxico, o qual prejudica o desenvolvimento radicular, influenciando negativamente o potencial simbiote da FBN e os componentes de produtividade de grãos (NOLLA et al., 2007).

Na análise física do solo, observou-se resistência mecânica do solo à penetração (RP) de 1701 kPa (0-10 cm) e 2751 kPa (10-20 cm) (Tabela 1), que segundo Girardello et al. (2014), seria um valor próximo ao RP crítico (3000 kPa). Para a cultura da soja, este valor pode limitar seu crescimento radicular, reduzindo o teor de O_2 e da infiltração de água no solo, dificultando assim a locomoção das bactérias simbiotes para a colonização das raízes e interferindo negativamente na produtividade da cultura (BEULTER; CENTURION, 2004).

O tratamento de inoculação (Ta) apresentou efeito significativo somente para NN (Tabela 3). A cultura foi semeada em 05 de dezembro, ocorrendo à primeira precipitação (6,8 mm), 10 dias após a semeadura, tendo um acúmulo total de 25,8 mm de chuva para o mês de dezembro (Tabela 2), o que prejudicou a germinação e consequentemente a AP, BSPA e BSR.

TABELA 3 - Resumo da anova para variáveis de crescimento e desenvolvimento de plantas de soja aos 20 DAE.

FV	GL	QM NN	QM AP	QM BSPA	QM BSR
Blocos	2	25,628*	11,456*	0,382 ^{ns}	0,017 ^{ns}
Tratamento a (Ta)	2	23,450*	3,207 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Resíduo (a)	4	2,775	0,727	0,084	0,006
Tratamento b (Tb)	1	37,555 ^{ns}	12,616 ^{ns}	0,012 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Interação Ta x Tb	2	5,960 ^{ns}	0,248 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Resíduo (b)	6	8,355	3,109	0,081	0,006
Média geral		25,555	11,543	0,837	0,268
CV(%)a		6,520	7,39	34,61	29,18
CV(%)b		11,31	15,28	34,03	30,29
Total	17				

*significativo a 5% de probabilidade de erro, ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de F. Ta = tratamento com inoculantes, Tb = tratamento com cobertura de inverno, FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio, CV(%) a = coeficiente de variação para os tratamentos de inoculação, CV(%) b = coeficiente de variação para tratamentos de cobertura de inverno, NN = número de nódulos, AP = altura das plantas, BSPA = biomassa seca da parte aérea e BSR = biomassa seca das raízes.

O tratamento de cobertura (Tb) não mostrou diferença significativa para as variáveis estudadas aos 20 DAE, constando-se que a ervilhaca não teve influência significativa sobre as variáveis em questão para o estágio inicial de desenvolvimento da cultura. Estas mesmas variáveis não foram influenciadas pelos tratamentos de inoculação (Ta) com os tratamentos de cobertura (Tb) do consórcio aveia + azevém, ambos com e sem ervilhaca, não havendo, interação entre estes fatores (Tabela 3). Assim, subentende-se que a utilização ou não de ervilhaca em consórcio como cultura antecessora (na taxa de semeadura estudada), não afetou o desenvolvimento da simbiose entre bactérias e planta.

Houve diferença significativa do tratamento de inoculação para a variável NN aos 20 DAE, onde, com a coinoculação observou-se 27,3 nódulos por planta, contra 23,4 do controle, verificando que a união das bactérias proporcionou melhor relação simbiótica com a planta, e em consequência, maior NN (Tabela 4).

Este resultado corrobora aqueles encontrados por Barbaro et al. (2009), que verificaram maior número de nódulos em plantas de soja quando em inoculação mista de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* (25,1), comparado ao controle sem inoculação (17,9).

A inoculação apenas com a bactéria *Bradyrhizobium* não diferiu estatisticamente em NN do controle e nem do coinoculado, pois no cultivo anterior na área experimental utilizou-se inoculante, constituindo uma colônia de bactérias já presentes no solo. Campos e Gnatta (2006) afirmam que, esta diferença entre a utilização ou não de inoculante é visualizada principalmente em áreas de primeiro ano de inoculação ou em áreas de cultivo com predomínio de solo arenoso.

O tratamento controle, apesar de se diferenciar significativamente do coinoculado, apresentou valor suficiente para suprir as exigências das plantas. Segundo Hungria et al. (2001), plantas de soja com menos que 15 nódulos por raiz possuem sua produtividade comprometida.

No presente trabalho observou-se que a inoculação em pós-emergência foi eficiente, podendo a técnica ser utilizada como alternativa compatível ao tratamento de sementes. Zilli et al. (2008), em trabalhos

avaliando a inoculação de *Bradyrhizobium* em soja, encontraram 14,6 nódulos por planta aos 35 DAE com o mesmo método de inoculação utilizado no presente trabalho.

TABELA 4 - Avaliação do número de nódulos (NN) entre tratamentos de inoculação.

Tratamentos	NN
Coinoculado	27,3 a*
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	25,9 ab
Controle	23,4 b
DMS	3,4
CV(%)	6,52

*Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Coinoculado = *Bradyrhizobium japonicum* + *Azospirillum brasilense*, controle = sem inoculante, DMS = diferença mínima significativa, CV(%) = coeficiente de variação para os tratamentos de inoculação.

Para o tratamento de inoculação (Ta), cobertura de inverno (Tb) e interação (Ta x Tb), aos 50 DAE, nenhuma variável mostrou diferença significativa (Tabela 5).

Diferentemente da avaliação aos 20 DAE, aos 50 DAE o NN apresentaram diferença estatística. Isto ocorreu porque, com o maior tempo e maior crescimento radicular da soja, houve maior oportunidade para as bactérias noduladoras presentes no solo (nativas) realizar a simbiose com a planta. De acordo com Cooper (2004), as bactérias são atraídas para as raízes por sinais químicos liberados por compostos bioativos como os flavonoides, os quais são sintetizados e emitidos pelas raízes. Como ocorreu déficit hídrico até os 20 DAE (Tabela 2), não houve meio líquido para locomoção das bactérias nativas até as raízes, resultando na nodulação tardia.

Constata-se assim que, os tratamentos de cobertura contendo ou não ervilhaca não tiveram interação significativa com o tratamento de inoculação para o crescimento das plantas de soja até os 50 DAE, demonstrando que, nas proporções de semeadura utilizadas, a leguminosa não influenciou no processo de simbiose, mesmo a ervilhaca sendo de rápida decomposição e disponibilização de nutrientes como o N (AITA; GIACOMINI, 2003). Pereira et al. (2007) afirmaram que, quanto maior N mineralizado, maiores são as limitações quanto a FBN, fato não observado no presente experimento para as variáveis analisadas do crescimento da planta até os 50 DAE, visto a não diferença estatística apresentada.

TABELA 5 - Resumo da ANOVA para variáveis de crescimento e desenvolvimento de plantas de soja aos 50 DAE.

FV	GL	QM NN	QM AP	QM MSPA	QM MSR
Blocos	2	125,861 ^{ns}	170,459*	22,746*	0,138 ^{ns}
Tratamento a (Ta)	2	179,806 ^{ns}	57,889 ^{ns}	0,788 ^{ns}	0,029 ^{ns}
Resíduo (a)	4	72,238	11,641	1,941	0,046
Tratamento b (Tb)	1	3,555 ^{ns}	12,566 ^{ns}	3,683 ^{ns}	0,091 ^{ns}
Interação Ta x Tb	2	56,948 ^{ns}	8,331 ^{ns}	5,562 ^{ns}	0,182 ^{ns}
Resíduo (b)	6	32,162	27,548	3,644	0,040
Média geral		25,555	45,572	10,498	2,242
CV(%) a		6,52	7,49	13,27	9,64
CV(%) b		11,31	11,52	18,18	8,94
Total	17				

*significativo a 5% de probabilidade de erro, ^{ns} = não significativo a 5% de probabilidade de erro pelo teste de F. Ta = tratamento com inoculantes, Tb = tratamento com cobertura de inverno, FV = fonte de variação, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio, CV(%)a = coeficiente de variação para os tratamentos de inoculação, CV(%)b = coeficiente de variação para tratamentos de cobertura de inverno, NN = número de nódulos, AP = altura das plantas, BSPA = biomassa seca da parte aérea e BSR = biomassa seca das raízes.

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram Barbaro et al. (2009), que também não observaram diferenças significativas entre os tratamentos de soja com e sem inoculação utilizando *Bradyrhizobium*, nos parâmetros NN, BSPA e BSR. Campos; Gnatta (2006) e Pavanelli; Araújo (2009) atribuem os resultados observados à ausência de significância relativa à inoculação de plantas de soja, devido a populações de

Bradyrhizobium já existentes nestas áreas, apresentando alta competição por sítios de infecção, diminuindo a diferença entre controle e tratamento inoculado.

Avaliando isoladamente o tratamento de inoculantes (Ta), cobertura de inverno (Tb) e aplicação de N foliar (Tc) observa-se que mesmo havendo diferença no NN inicialmente, esta não refletiu nas produtividades de grãos para Ta e Tc, diferindo apenas o NVP para Tb. O

NGV e PRODG diferiu para as interações entre Tb e Tc, não havendo significância para interações triplas (Tabela 6).

O Ta diferiu das observações feitas por Brandeiro et al. (2009) que encontraram maiores produtividades em soja com maior NN, provavelmente devido aos diferentes tipos de solos, das bactérias e estirpes utilizadas, como também na metodologia empregada

Resultados obtidos por Hungria et al. (2013), demonstram que houve diferenças significativas para a reinoculação anual da soja com *Bradyrhizobium*, resultando em incremento no rendimento de grãos de 8,4%, e coinoculação com incremento de 16,1% comparados ao controle (2652 kg ha⁻¹). Zilli et al. (2010) conduzindo experimento em solos arenosos, encontraram

diferença entre tratamentos inoculados (3703 kg ha⁻¹) e controle (2184 kg ha⁻¹), evidenciando a importância da inoculação de plantas de soja nestes solos.

Houve interação significativa a 1% de probabilidade de erro nos tratamentos de cobertura de inverno antecedente (Tb) e aplicação de N foliar (Tc), indicando que um tratamento influencia no comportamento do outro, sendo esta interação observada para NGV e PRODG. A variável NVP para o Tb se apresentou significativo, mostrando que a cobertura de inverno possui efeito positivo sobre este parâmetro, tendo média de 271,370 vagens por planta de soja (Tabela 6), corroborando com Silva et al. (2008) que verificaram diferença no número de vagens quando as plantas eram cultivadas após cobertura de inverno.

TABELA 6 - Resumo da ANOVA para variáveis de produtividade de grãos da soja.

FV	GL	QM NP	QM NVP	QM NGV	QM MMG	QM PRODG
Blocos	2	33,583 ^{ns}	58,366 ^{ns}	0,0651 ^{ns}	222,585 ^{ns}	184.933,334 ^{ns}
Tratamento a (Ta)	2	2,333 ^{ns}	72,795 ^{ns}	0,185 ^{ns}	96,100 ^{ns}	594.216,400 ^{ns}
Resíduo (a)	4	22,916	16,270	0,106	103,771	150.278,658
CV(%)a		19,54	15,54	16,53	7,34	23,59
Tratamento b (Tb)	1	16,000 ^{ns}	271,370*	0,003 ^{ns}	70,520 ^{ns}	552.425,368 ^{ns}
Interação Ta x Tb	2	17,333 ^{ns}	74,980 ^{ns}	0,136 ^{ns}	11,424 ^{ns}	306.452,598 ^{ns}
Resíduo (b)	6	27,805	45,311	0,056	127,774	169.887,860
CV(%)b		21,52	25,94	12,03	8,15	25,08
Tratamento c (Tc)	1	13,444 ^{ns}	49,702 ^{ns}	0,018 ^{ns}	148,154 ^{ns}	150.829,884 ^{ns}
Interação Ta x Tc	2	6,777 ^{ns}	31,499 ^{ns}	0,059 ^{ns}	16,692 ^{ns}	1.585,72 ^{ns}
Interação Tb x Tc	1	4,000 ^{ns}	4,928 ^{ns}	0,227**	135,976 ^{ns}	696.385,076**
Interação Ta x Tb x Tc	2	4,333 ^{ns}	6,904 ^{ns}	0,014 ^{ns}	110,230 ^{ns}	101.412,674 ^{ns}
Resíduo (c)	12	9,527	12,002	0,022	79,971	61.679,379
CV(%)c		12,60	13,35	7,59	6,45	15,11
Total	35					

**significativo a 1% de probabilidade de erro, *significativo a 5% de probabilidade de erro, ^{ns} = não significativo, Ta = tratamento com inoculantes, Tb = cobertura de inverno, Tc = aplicação de nitrogênio foliar, GL = graus de liberdade, QM = quadrado médio, CV(%)a = coeficiente de variação para os tratamentos de inoculação, CV(%)b = coeficiente de variação para tratamentos de cobertura de inverno, CV(%)c = coeficiente de variação para tratamentos de aplicação de nitrogênio foliar, NP = número de plantas, NVP = número de vagem por planta, NGV = número de grãos por vagem, MMG = massa de mil grãos e PRODG = produtividade de grãos.

Avaliando-se as interações duplas para a produtividade de grãos, pode-se observar que, assim como nas demais avaliações de crescimento vegetativo (20 DAE e 50 DAE), o tratamento de cobertura com ervilhaca não teve interação com o tratamento de inoculação. Da mesma forma, o tratamento com aplicação de N via foliar (Tc) não interagiu com o Ta, portanto, nenhum dos fatores de variação analisados influenciou o comportamento da inoculação (Tabela 6).

Analisando as variáveis NGV e PRODG, observam-se variações de comportamento, influenciadas pela interação entre os tratamentos de cobertura e N foliar, onde resultados significativos, foram observados para o Tc sem aplicação de N foliar, sob interação do Tb, tanto para NGV (1,88), quanto para PRODG (1315,8) (Tabela 7).

Observa-se que, no tratamento contendo ervilhaca como cobertura de inverno e sem a aplicação de N via

foliar, houve redução no NGV e por consequência influência na PRODG, sendo este fator não visualizado quando aplicado o N complementar via foliar, devido à geração de efeito sinérgico compensatório entre estes tratamentos para as variáveis analisadas.

Resultados antagônicos foram descritos por Santos et al. (2014) que, avaliando consórcios hibernais contendo ervilhaca antecedentes ao cultivo da soja (2011/12) na cidade de Passo Fundo (RS), não encontraram diferença significativa para número de grãos por planta, com 66 grãos por planta (com ervilhaca) e 70 grãos por planta (sem ervilhaca), nem para o rendimento de grãos, com 3024 kg ha⁻¹ (com ervilhaca) e 3084 kg ha⁻¹ (sem ervilhaca).

Para o tratamento com coberturas de inverno (Tb) houve diferença entre o uso de cobertura consorciada com ervilhaca e sem, onde o tratamento sem ervilhaca

proporcionou maior NGV e com ervilhaca causou redução (Tabela 7). Esses resultados diferem dos encontrados por Santos et al. (2014) onde, ao estudarem o rendimento da soja sobre restos culturais de espécies consorciadas com ervilhaca, não encontraram redução significativa para nenhuma das variáveis de produtividade, podendo atribuir a esta maior variação às adversidades climáticas encontradas nos anos agrícolas e que possui um efeito direto sobre as culturas.

A aplicação de N via foliar se justifica apenas quando se pretende atingir o máximo potencial da cultura, elevando a produtividade da mesma. No presente experimento, o efeito com a aplicação de N foliar, quanto à PRODG (Tabela 7), mostrou-se não ser influenciado pelo tratamento de cobertura, porém, onde não houve aplicação de N foliar, o efeito da cobertura gerou alteração

significativa de 1841,7 kg ha⁻¹ e 1315,8 kg ha⁻¹, sem e com ervilhaca, respectivamente.

Estes resultados corroboram Freeborn et al. (2001), que não encontraram incremento significativo de produtividade de grãos de soja aplicando 168 kg ha⁻¹ de N mineral, nos estádios fenológicos R3 e R5. Contudo, resultados antagônicos ao presente trabalho foram apresentados por Pacentchuk et al. (2015) e Burko et al. (2013), que testaram a aplicação de N foliar (12,7 L ha⁻¹ e 10,3 L ha⁻¹, respectivamente), obtiveram incremento na produtividade de 338 kg ha⁻¹ (10,7%), comparado ao controle (3159 kg ha⁻¹) e de 13,8%, quando comparado ao controle sem aplicação (3216 kg ha⁻¹), respectivamente, sendo necessário maiores estudos para verificação da influência deste fator sobre a produtividade.

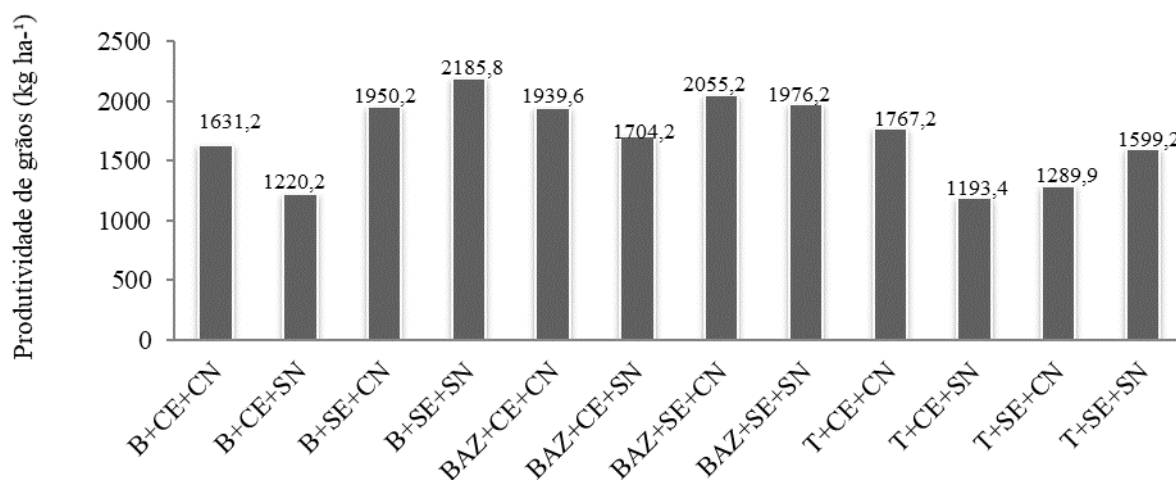
TABELA 7 - Comparação para número de grãos por vagem e produtividade de grãos de soja em plantas cultivadas com coberturas vegetais e aplicação de N foliar.

Cobertura Vegetal (Tb)	NGV	
	Aplicações de N Foliar (Tc)	
	Com N Foliar	Sem N foliar
AV+AZ+ER	2,08 aA*	1,88 aB
AV+AZ	1,90 aA	2,02 aA
DMS (colunas)	0,20	
DMS (linhas)	0,15	
CV(%)b	12,03	
CV(%)c	7,59	
	Médias do Tb	
AV+AZ	28,698 a	
AV+AZ+ER	23,207 b	
DMS	5,489	
Cobertura Vegetal (Tb)	PRODG (kg ha ⁻¹)	
	Aplicações de N Foliar (Tc)	
	Com N Foliar	Sem N foliar
AV+AZ+ER	1723,4 aA	1315,8 bB
AV+AZ	1692,9 aA	1841,7 aA
DMS (colunas)	357,28	
DMS (linhas)	254,97	
CV(%)b	25,08	
CV(%)c	15,11	

*Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, DMS = diferença mínima significativa, CV(%)a = coeficiente de variação para os tratamentos de inoculação, CV(%)b = coeficiente de variação para tratamentos de cobertura de inverno, CV(%)c = coeficiente de variação para tratamentos de aplicação de nitrogênio foliar, AV+AZ+ER = aveia preta+azevém+ervilhaca, AV+AZ = aveia preta+azevém, NGV = número de grãos por vagem e PRODG = produtividade de grãos.

Avaliando os efeitos entre tratamentos Ta x Tb e Ta x Tc, observa-se não haver interação entre os mesmos para PRODG, demonstrando que, para este trabalho, o tratamento de inoculação não foi influenciado pelos demais tratamentos, bem como não diferiu do controle (Figura 1), tendo uma diferença de 992,4 kg ha⁻¹ a mais

para o tratamento com *Bradyrhizobium japonicum* sem N e sem ervilhaca, em comparação ao tratamento controle. Esses diferentes resultados podem ser atribuídos as diferentes condições ambientais registradas durante o experimento, como déficit hídrico e temperatura do ambiente e do solo.



Tratamentos: B = *Bradyrhizobium japonicum*; BAZ = coinoculado; T = controle; CE = com ervilhaca; SE = sem ervilhaca; CN = com N; SN = sem N.

FIGURA 1 - Produtividade de grãos de soja sob tratamentos de inoculação, coberturas de inverno e aplicação de N via foliar, em sistema de integração lavoura pecuária. Fonte: SCHNEIDER, R. J. (2018).

Devido a esses diferentes resultados e a carência de pesquisas neste sentido, é necessário conduzir maiores estudos e avaliações para determinar a capacidade efetiva dos tratamentos e suas inter-relações, tanto para o crescimento quanto para a produtividade da soja.

CONCLUSÕES

O tratamento com coinoculação gerou aumento da nodulação inicial mesmo com déficit hídrico, porém, não apresentou efeito sobre o crescimento de plantas e produtividade, assim como no tratamento com N foliar.

O consórcio com ervilhaca como cultura antecessora gerou interação com a aplicação de N foliar, tendo efeito sinérgico para o número de grãos por vagem e produtividade de grãos de soja.

O nitrogênio foliar apresentou efeito sinérgico compensatório para a produtividade de grãos, na ausência da ervilhaca, obtendo incremento de 525,9 kg ha⁻¹ para o tratamento com *Bradyrhizobium japonicum* sem ervilhaca e sem aplicação de nitrogênio foliar em relação ao tratamento controle sem ervilhaca e sem aplicação de nitrogênio foliar.

REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.601-612, 2003.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ANPII. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES. **Comportamento do mercado de inoculantes é alvo de pesquisa da Anpii**. 2017. Disponível em: <<http://www.anpii.org.br/site/>>. Acesso em: 22 out. 2018.

BARBARO, I.M.; MACHADO, P.C.; BÁRBARO JUNIOR, L.S.; TICELLI, M.; BERGANTINI, F.; SILVA, J.A.A. Produtividade da soja em resposta à inoculação padrão e co-inoculação. **Colloquium Agrariae**, v.5, n.1, p.1-7, 2009.

BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.

BHERING, S.B.; SANTOS, H.G.; BOGNOLA, I.A.; CÚRCIO, G.R.; MANZATTO, C.V.; CARVALHO JUNIOR, W.; CHAGAS, C.S.; ÁGLIO, M.L.D.; SOUZA, J.S. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. EMBRAPA/IAPAR, Rio de Janeiro, p.74, 2008.

BRANDELEIRO, E.M.; PEIXOTO, C.P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.3, p.581-588, 2009.

BURKO, J.; VIDAL, A.; PIOVESAN, L.R.; ROYER, R.; NOVAKOWSKI, J.H.; SANDINI, I.E. Efeito da aplicação de nitrogênio complementar via foliar sobre a produtividade e massa de mil grãos de soja. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (EAIC) e ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO (EAITI), 22., 3., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...Foz de Iguaçu, PR**. 2013.

- CAMPOS, B.H.C.; GNATTA, V. Inoculantes e fertilizantes foliares na soja em área de populações estabelecidas de *Bradyrhizobium* sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, n.1, p.69-76, 2006.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira, safra 2014/15**. 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.
- COOPER, J.E. Multiple responses of rhizobia to flavonoids during legume root infection. **Advances in Botanical Research**, v.41, p.1-62, 2004.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Fixação biológica de nitrogênio (FBN)**. 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil**. 2013. (Sistemas de Produção/Embrapa Soja, n.16) - Londrina: Embrapa Soja, p.265, 2013.
- FERLINI, H.A. **Co-inoculación en soja (*Glycine max*) con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense***. Artículos Técnicos - Agricultura. 2006. Disponível em: <http://www.engormix.com/co_inoculacion_soja_glycine_s_articulos_800_AGR.htm>. Acesso em: 17 out. 2018.
- FREEBORN, J.R.; HOLSHOUSER, D.L.; ALLEY, M.M.; POWELL, N.L.; ORCUTT, D.M. Soybean yield response to reproductive stage soil applied nitrogen an foliar applied boron. **Agronomy Journal**, v.93, n.6, p.1200-1209. 2001.
- GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L.; CHERUBIN, M.R.; KUNZ, J.; GREGORI, T.T. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1234-1244, 2014.
- HUNGRIA, M. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. **Nitrogen nutrition in plant productivity**, p. 43-93, 2006.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Embrapa Soja. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2001.
- HUNGRIA M.; FRANCHINI, J.C.; CAMPO, R.J.; GRAHAM, P.H. The Importance of Nitrogen Fixation to Soybean Cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W.E. (Eds). **Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment**. Nitrogen fixation: origins, applications, and research progress, v.4, p.25-42. Springer, Dordrecht, 2005.
- HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M.A.; ARAUJO, R.S. Co-inoculation of soybeans and common beans with rhizobia and azospirilla: strategies to improve sustainability. **Biology and Fertility of Soils**, v.49, n.7, p.791-801, 2013.
- HOFFMANN, L. Biologia molecular da fixação biológica do nitrogênio. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S. (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. p.153-164, 2007.
- MIGUEL, D.L.; MOREIRA, F.M.S. Influência do pH do meio de cultivo e da turfa no comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium*. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25, n.4, p.873-83, 2001.
- NOLLA, A.; SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Crescimento, morfologia radicular e liberação de compostos orgânicos por plântulas de soja em função da atividade de alumínio na solução do solo de campo natural. **Revista Ciência Rural**, v.37, n.1/6, p.97-101, 2007.
- PACENTCHUK, F.; NOVAKOWISKI, J.H.; NOVAKOWISKI, J.H.; SANDINI, I.E. Nitrogênio complementar via foliar nas culturas do milho, soja e feijão: doses e estádios fenológicos de aplicação. **Revista Plantio Direto**, v.142, n.1, p.143-29, 2014.
- PAVANELLI, L.E.; ARAÚJO, F.F. Fixação biológica de nitrogênio em soja em solos cultivados com pastagens e culturas anuais no oeste paulista. **Bioscience Journal**, v.25, n.1, p.21-29, 2009.
- PEREIRA, A.V.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; KASCHUK, G.; CHUEIRE, L.M.O.; CAMPO, R.J.; TORRES, E. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.6, p.1397-1412, 2007.
- SANTOS, H.P. FONTANELLI, R.S.; PIRES, J.L.F.; FONTANELI, R.S.; BIAZUS, V.; VERDI, A.C.; VARGAS, A.M. Rendimento de grãos e características agrônomicas de soja em função de pastagens perenes em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.73, n.3, p.319-326, 2014.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6a. ed. Artmed Editora, 888p., 2017.
- ZILLI, J.E.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R.J.; ROUWS, J.R.C.; HUNGRIA, M. Inoculação da soja com *Bradyrhizobium* no sulco de semeadura alternativamente à inoculação de sementes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.6, p.1875-1881, 2010.
- ZILLI, J.E. MARSON, L.C.; MARSON, B.F.; GIANLUPPI, V.; CAMPO, R.J.; HUNGRIA, M. Inoculação de *Bradyrhizobium* em soja por pulverização em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.4, p.541-544, 2008.