

DIVISÃO 3 - USO E MANEJO DO SOLO

Comissão 3.1 - Fertilidade do solo e nutrição de plantas

NODULAÇÕES E PRODUTIVIDADES DE GRÃOS DE FEIJOEIROS DIANTE DA ADUBAÇÃO NITROGENADA OU DA INOCULAÇÃO COM *RHIZOBIUM FREIREI*

Renato Yagi^{(1)*}, Diva Souza Andrade⁽²⁾, Ariadne Waureck⁽³⁾ e José Carlos Gomes⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto Agronômico do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

⁽²⁾ Instituto Agronômico do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil.

⁽³⁾ Universidade Estadual de Ponta Grossa, Programa de Pós-graduação em Agronomia, *Campus* Uvaranas, Ponta Grossa, Paraná, Brasil.

* Autor correspondente.

E-mail: ryagi@iapar.br

RESUMO

O conhecimento das respostas de feijoeiros em razão da adubação nitrogenada ou da inoculação das sementes com rizóbios pode direcionar seus cultivos para diferentes nichos de mercado, em níveis tecnológicos diversos. Foram avaliadas as nodulações das raízes e as produtividades de grãos de 10 cultivares de feijão diante da adubação nitrogenada e da inoculação das sementes com *Rhizobium freirei*, objetivando-se identificar em termos de produtividades de grãos, as mais eficientes e responsivas à adubação nitrogenada, bem como à nutrição simbiótica de N em relação à adubação nitrogenada. Foram conduzidos dois experimentos em duas safras (seca-2012 e águas-2012/2013), empregando-se, em cada qual delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 10×3 com quatro repetições. Avaliaram-se as quantidades e massas de nódulos radiculares e produtividades de grãos de 10 cultivares de feijão dos grupos comerciais preto (IPR Gralha, IPR Tuiuiú, Rio Tibagi, BRS Esplendor e IPR Uirapuru) e carioca (IPR Tangará, Iapar 81, IPR Campos Gerais, BRS Pontal e Carioca), em razão de três tratamentos, visando variações em nutrições nitrogenadas: testemunha, sem N; com adubação nitrogenada; e inoculação das sementes com *R. freirei*. Feijões do grupo comercial carioca são mais produtivos e, independentemente da nodulação com rizóbios nativos ou exógenos, são mais propensos à nutrição simbiótica nitrogenada. A adubação nitrogenada é prejudicial, principalmente para as nodulações das cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal na safra da seca. Em termos de produtividades de grãos, as cultivares Rio Tibagi, BRS Esplendor, BRS Pontal e IPR Uirapuru são relativamente mais eficientes com a inoculação das sementes com *R. freirei* do que com a adubação

nitrogenada, e as cultivares IPR Gralha e IPR Tangará se destacam como responsivas e eficientes à adubação nitrogenada.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L., ureia, fixação biológica de nitrogênio.

ABSTRACT: NODULATIONS AND GRAIN YIELDS OF COMMON BEANS IN RESPONSE TO NITROGEN FERTILIZATION OR SEED INOCULATION WITH RHIZOBIUM FREIREI

*Knowledge of the responses of bean plants as a function of N fertilization or seed inoculation with rhizobia can direct crops to different market niches in different technological levels. The roots nodulation and the yield grains of 10 bean cultivars on nitrogen fertilization and seed inoculation with *Rhizobium freirei* were evaluated aiming to identify, in terms of grain yield, the more efficient and responsive to nitrogen fertilization, as well to symbiotic N fixation in relation to N fertilization. Two experiments were conducted in two seasons (the 2012 dry season and the 2012/2013 rainy season) using a randomized block design in a 10 × 3 factorial arrangement with four replications. We evaluated the amount and mass of root nodules and grain yield of 10 common bean cultivars in the black marketing-group (IPR Gralha, IPR Tuiuiu, Rio Tibagi, BRS Esplendor, and IPR Uirapuru) and the carioca (beige with brown stripes) marketing-group (IPR Tangará, Iapar 81, IPR Campos Gerais, BRS Pontal, and Carioca) with three treatments with variations in N nutritional levels: control, without N; with N fertilization; and seed inoculation with *R. freirei*. Beans of the carioca commercial group are higher yielding and, regardless of nodulation with native or exogenous rhizobia, are more prone to symbiotic nitrogen nutrition. Nitrogen fertilization is especially harmful to nodulation of BRS Esplendor, Carioca, and BRS Pontal at lower water availability. In terms of grain yield, the cultivars Rio Tibagi, BRS Esplendor, BRS Pontal, and IPR Uirapuru are relatively more efficient with seed inoculation with *R. freirei* than with N fertilization, and the cultivars IPR Tangará and IPR Gralha stand out as responsive and efficient in respect to N fertilization.*

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., urea, biological nitrogen fixation.

INTRODUÇÃO

A fixação biológica de N (FBN), o solo e a adubação nitrogenada são identificados em ordem decrescente de magnitude, como as principais fontes de N para o feijoeiro (Brito et al., 2009), havendo respostas distintas de genótipos de feijão às espécies e estirpes de *Rhizobium* (Ferreira et al., 2000; Franco et al., 2002) e à adubação nitrogenada (Furtini et al., 2006; Salgado et al., 2012). Outrossim, a simbiose com a população nativa de *Rhizobium* spp. pode reduzir a magnitude de respostas do feijão à inoculação das sementes com *R. tropici* (Ferreira et al., 2000) e à adubação nitrogenada (Nascimento et al., 2004).

A utilização de cultivares eficientes no uso do N e que respondam satisfatoriamente à adubação nitrogenada, promovendo ganhos de produtividade e redução de custos, é uma das soluções buscadas para maximizar o uso do N e minimizar os problemas ambientais advindos da adubação nitrogenada (Sousa et al., 2012). Em coleção de 12 genótipos de feijoeiro, Salgado et al. (2012) verificaram que as cultivares BRS-Grafite e Princesa evidenciaram-se eficientes quanto à utilização do N, além de serem responsivos à aplicação do nutriente. Entretanto, a ausência de respostas do feijão IAC Carioca Etê à adubação nitrogenada em solo argiloso com 25 g

dm⁻³ de matéria orgânica em sistema plantio direto de quatro anos foi atribuída à mineralização do N orgânico e à população nativa de *Rhizobium* do solo (Nascimento et al., 2004).

Em contrapartida, tem-se também que há interação significativa entre a população nativa e os genótipos de feijoeiro comum, indicando interdependência desses fatores bióticos (Ferreira et al., 2000). A adubação nitrogenada, por sua vez, inibe a formação de nódulos nas raízes das plantas (Silva et al., 2009), particularmente em condições de baixa fertilidade do solo (Tsai et al., 1993), havendo correlação negativa ($r = -0,95^{**}$) entre a dose de N aplicada e a quantidade de N proveniente da fixação biológica no feijão (Brito et al., 2011). A seleção de linhagens de feijoeiro na presença de N mineral produz plantas com menor capacidade para a fixação simbiótica de N, em detrimento das estudadas em condições de inoculação e sem adubação nitrogenada (Pereira e Braidotti, 2002). A identificação de cultivares eficientes na fixação biológica de N e não responsivas à adubação nitrogenada permite seu aproveitamento em programas de melhoramento, pois essas características estão relacionadas à eficiência simbiótica destes genótipos (Salgado et al., 2012).

A nodulação do feijoeiro é dependente da cultivar ser nodulante e ser cultivada em solo com população

de rizóbio infectivo ou da inoculação de estirpes de rizóbio eficiente em FBN em cultivar nodulante (Ferreira et al., 2000). Ao avaliarem a inoculação de sementes das cultivares Carioca, IAC Pyatã, IAC Aruã, IAC Carioca, IAPAR 14, IAC Maravilha, IAC Una, Rio Tibagi, IAPAR 65 e Ônix e das linhagens AN 512672 (CNPAP) e México 309, com *R. tropici* estirpe CM 255, Lemos et al. (2003) observaram que os genótipos Carioca, Iapar 14 e México 309 alcançaram, em média, 19,6 % da produtividade máxima. Incrementos significativos ($p < 0,05$) na produtividade de grãos não foram observados por Pelegrin et al. (1999) ao inocularem sementes da cultivar Pérola com *R. tropici* estirpe CIAT 899 (SEMIA 4077), com acréscimo ou não de N na semeadura do feijoeiro. Avaliando a inoculação de sementes de BRSMG Talismã com *R. tropici* CIAT 899, Soares et al. (2006) notaram aumento significativo ($p < 0,05$) de 552,5 kg ha⁻¹ (130,9 %) na produtividade de grãos em relação à não inoculação. A estirpe PRF 81 recomendada pelo MAPA para o cultivo do feijão no Brasil, foi isolada inicialmente no Estado do Paraná (Hungria et al., 2000) e foi reclassificada como nova espécie de *R. tropici* para *R. freirei* (Dall'agnol et al., 2013). Aumento médio significativo ($p < 0,05$) de 35,5 % (435 kg) de grãos de Pérola e Diamante Negro com o tratamento de sementes com *R. freirei* em relação ao tratamento sem N, foi observado nas safras da seca e das águas, em Londrina, PR, e em Ponta Grossa, PR (Hungria et al., 2003). Os mesmos autores observaram ainda que a inoculação de sementes de IAPAR 14 com *R. freirei* acarretou em aumento ($p < 0,05$) de produtividade de grãos em Londrina, PR, de 689 a 966 kg ha⁻¹, mas não em Ponta Grossa, PR, cuja produtividade média foi de 2.144 kg ha⁻¹ de grãos. Em comparação com tratamento sem inoculação de sementes, Hungria et al. (2013) observaram que na safra das águas-2009/2010, houve aumento ($p < 0,05$) de 16 % de produtividade de grãos (147 kg ha⁻¹) em Londrina, PR, mas não novamente em Ponta Grossa, PR, enquanto na safra da seca-2010, não houve respostas em ambos os municípios.

A identificação de cultivares comerciais de feijão dos grupos carioca e preto responsivos a diferentes estratégias de fornecimento de N viabilizaria seus empregos em condições tecnológicas diversas. Diante da hipótese de que cultivares comerciais de feijão dos grupos carioca e preto diferem quanto ao potencial

de resposta à adubação nitrogenada e ao potencial de simbiose com *R. freirei*, este, este trabalho objetivou-se identificar cultivares de feijão mais eficientes e responsivos à adubação nitrogenada e à FBN.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), um na safra da seca-2012 (dezembro de 2011 a abril de 2012) e outro no das águas-2012/2013 (outubro de 2012 a janeiro de 2013), na estação experimental do Instituto Agronômico do Paraná de Ponta Grossa, PR (25° 13' S, 50° 1' W e 880 m de altitude; e clima Cfb, conforme a classificação de Köppen-Geiger), em Latossolo Vermelho (Embrapa, 2006), textura argilosa com 489 g kg⁻¹ de argila, 170 g kg⁻¹ de silte e 341 g kg⁻¹ de areia (Embrapa, 1997). Os experimentos foram instalados em áreas distantes 100 m uma da outra e cultivadas em semeadura direta na última década, com as seguintes culturas nos anos anteriores ao experimento da safra seca-2012: milho (*Zea mays* L.) (2006/2007); girassol (*Helianthus annuus*) (2007); soja (*Glycine max* L.) (2007/2008); trigo (*Triticum aestivum* L.) (2008); soja (2008/2009); pousio (2009), milho (2009/2010); pousio, predominando gramíneas (2010); soja (2010/2011); trigo (2011); e milho (2011/2012). No caso do experimento da safra das águas de 2012/2013, com pousio no inverno de 2012.

Em ambas as safras, o delineamento experimental foi de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial 10 × 3. Os tratamentos foram 10 cultivares de feijão com ciclo de 88-90 dias (IPR Gralha, IPR Uirapuru, IPR Tuiuiú, BRS Esplendor, Rio Tibagi, IPR Tangará, Iapar 81, IPR Campos Gerais, BRS Pontal e Carioca) e três formas de suprimento de N (adubação nitrogenada, inoculação das sementes com *R. freirei* e sem adubação com N e sem inoculação). Antes das implantações dos experimentos 20 amostras simples por amostra composta foram coletadas na camada de 0,00-0,20 m para a caracterização química (Pavan et al., 1992) (Quadro 1).

Conforme a caracterização químicas de solo e recomendações de Parra (2003), foram aplicados 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) nas

Quadro 1. Características químicas dos solos (0,00-0,20 m) das áreas experimentais, antes das instalações dos experimentos nas safras da seca-2012 e das águas-2012/2013

Safra	P	MO	pH(CaCl ₂)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	V
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³			%
Seca	2,9	53	5,5	0,31	5,6	4,4	14,9	70
Águas	5,0	46	5,4	0,18	5,0	2,9	12,4	65

P e K: extrator Mehlich-1; MO: matéria orgânica, extrator Walkley-Black; pH em solução de CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; Ca²⁺ e Mg²⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹. CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases.

semeaduras de ambas as safras e 25 e 35 kg ha⁻¹ de K₂O respectivamente nas semeaduras das safras da seca-2012 e das águas-2012/2013. Nos tratamentos com N foram aplicados 20 kg ha⁻¹ de N na linha de semeadura próximo ao local da adubação com PK e 60 kg ha⁻¹ de N, posteriormente, aos 20-25 dias após a emergência aplicado em filete superficialmente ao lado da planta, utilizando-se ureia em ambas. Imediatamente antes da semeadura, a inoculação das sementes com rizóbio foi realizada com 10 g kg⁻¹ inoculante turfoso contendo 2×10⁹ unidades formadoras de colônia g⁻¹ da estirpe de *R. freirei* recomendada para o feijoeiro e 6 mL kg⁻¹ de solução açucarada a 10 % (p/v).

As semeaduras foram realizadas nos dias 31 de dezembro de 2011 (safra da seca) e 30 de outubro de 2012 (safra das águas), com semeadora mecânica de parcelas experimentais, considerando-se de 12 a 18 sementes por metro linear conforme variedade e o poder de germinação determinado em laboratório. As parcelas experimentais foram constituídas por quatro linhas de 9 m de comprimento, espaçadas em 0,45 m. Nos dois experimentos, as épocas de semeaduras foram conforme zoneamento agrícola para a cultura do feijão no Estado do Paraná (Caramori et al., 2001). Os dados de precipitação pluvial e temperatura do ar obtidos em estação agrometeorológica da estação experimental em ambas as safras estão apresentados na figura 1.

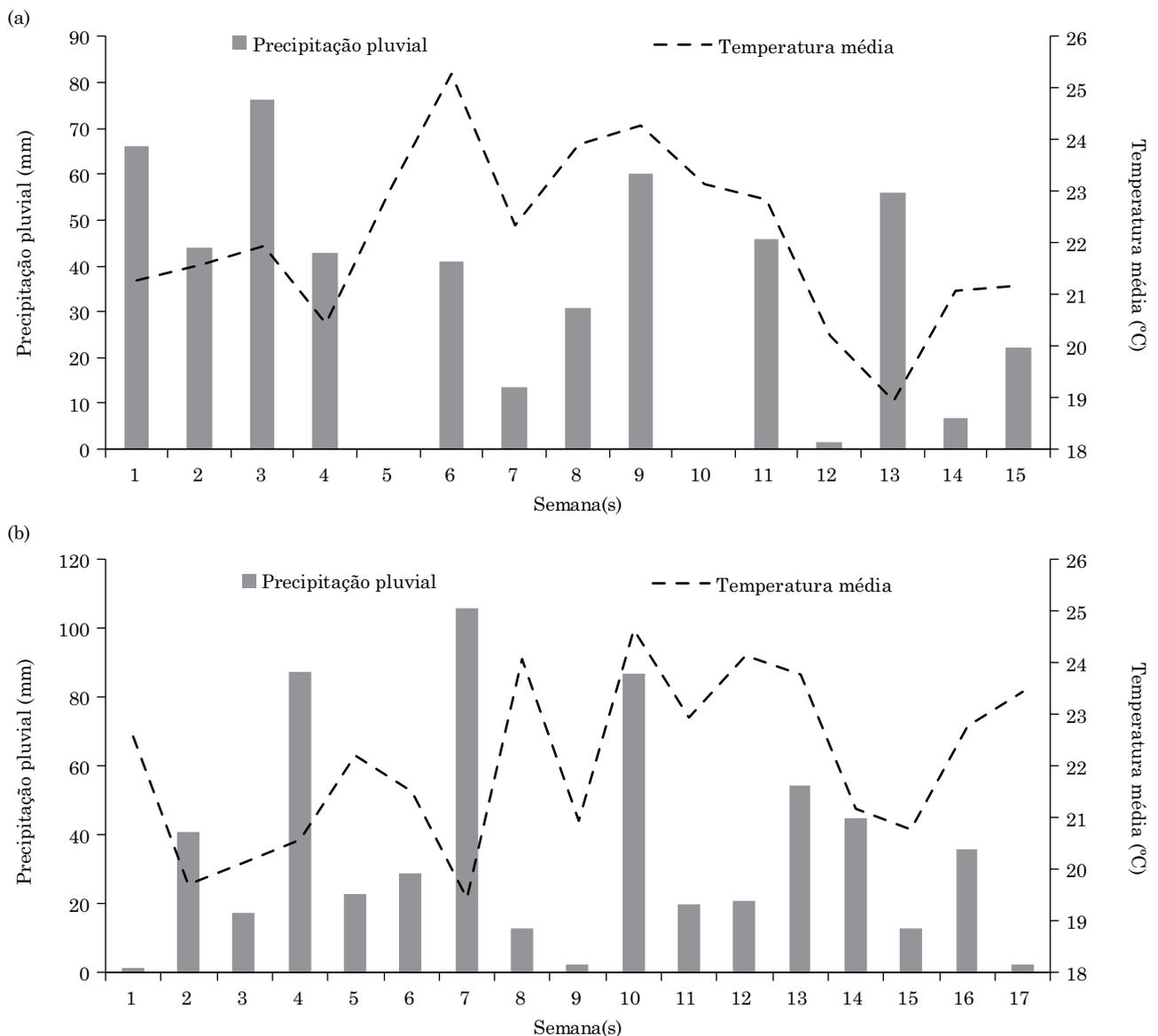


Figura 1. Precipitações pluviiais e temperaturas médias referentes aos períodos experimentais das safras da seca - 2012 (a) e das águas - 2012/2013 (b). Estação experimental do Iapar, Ponta Grossa, PR.

Para avaliar os nódulos radiculares, empregou-se procedimento proposto por Cardoso et al. (2009), separando-se o sistema radicular compreendido entre o nó codiledonar e os primeiros 0,07 m, no pleno florescimento de todas as cultivares em ambas as safras, dos 70 aos 80 dias após a emergência das plantas. As raízes foram lavadas em peneira de 0,75 mm, retirando-se e quantificando-se os nódulos, os quais foram inseridos em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar a 20-30 °C por 24 h, para estimativas de massas de matéria seca dos nódulos radiculares. Para a colheita dos grãos nas safras da seca (10/04/12) e das águas (28/01/2013), foram consideradas as duas linhas centrais menos 2,5 m de suas extremidades, utilizadas como bordadura e para avaliações de nódulos radiculares.

Os resultados de cada experimento, da safra da seca-2012 e da das águas-2012/2013, foram submetidos à análise de variância, sob condições de homogeneidade das variâncias residuais, com aplicação do teste F. Para as comparações entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste Tukey a 5 %. Os valores médios (duas safras) de número e massa de nódulos e de produtividade de grãos também foram comparados entre os grupos comerciais, Carioca e Preto, a partir do teste T, após verificar a normalidade dos dados e homocedasticidade das variâncias. Para classificar as cultivares quanto à eficiência e resposta à adubação nitrogenada, foi feito o procedimento descrito em Fageria e Kluthcouski (1980), empregando-se representação gráfica no plano cartesiano para caracterizar as cultivares eficientes e responsivas, não eficientes e responsivas, eficientes e não responsivas e não eficientes e não responsivas à adubação nitrogenada. Para distinguir a eficiência da inoculação das sementes, foram calculadas as eficiências relativas (ER) de cada cultivar, adaptando-se o procedimento para classificar as estirpes (Soares et al., 2006) a partir da equação: $ER = (\text{Produtividade de grãos no tratamento com inoculação de sementes com rizóbio} / \text{Produtividade de grãos no tratamento com adubação nitrogenada}) \times 100$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cultivares de feijoeiro apresentaram, em média, 12 nódulos por planta tanto na safra da seca-2012 quanto na das águas-2012/2013, ou aproximadamente 15 nódulos totais por planta, considerando a equação citada por Cardoso et al. (2009) para conversão das quantidades de nódulos nos primeiros 0,07 m de raízes para as quantidades totais de nódulos, havendo interação ($p < 0,05$) entre cultivares e nutrições nitrogenadas (Figuras 2a e 2b). Comparativamente a dados da literatura (Franco et al., 2002; Araújo et al., 2007; Silva et al., 2009), pode-se considerar que as nodulações foram

sistematicamente baixas. Também em um Latossolo Vermelho de Ponta Grossa, PR, Hungria et al. (2013) observaram quantidades de nódulos similares a deste trabalho, cerca de 13 e 9 nódulos por planta de IPR Colibri nas safras das águas e da seca, respectivamente, sem inoculações das sementes com *R. freirei*.

Considerando que as amplitudes no tratamento-controle, sem aporte de N e sem inoculação das sementes com *R. freirei*, foram de 4 a 33 nódulos por planta na safra da seca-2012 e de 3 a 21 na safra das águas-2012/2013, observou-se que, em condições de menor disponibilidade hídrica, as cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal também se destacaram nesse tratamento, nodulando 164 % em média a mais ($p < 0,05$) que as cultivares IPR Gralha e Rio Tibagi, embora diferenças entre essas e as demais cultivares não tenham sido observadas ($p > 0,05$). Ademais, somente as cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal apresentaram diminuições (média de 77 %; $p < 0,05$) das quantidades de nódulos radiculares com o aporte de N na safra da seca-2012 (Figura 2a), considerando-se os tratamentos-controle e com adubação nitrogenada. Redução de 2,2 vezes na quantidade de N assimilada simbioticamente por plantas de feijoeiro em condições de estresse hídrico, em relação às plantas irrigadas, foi observada por Calvache e Reichardt (1996), inferindo que a deficiência de água durante a floração e o enchimento de vagens influencia drasticamente a FBN. No período que compreendeu esses estádios, da floração ao enchimento de vagens, houve aproximadamente 79 % mais precipitação pluvial na safra das águas-2012/2013 em relação à da seca-2012 (Figura 1); desse modo, especula-se que a condição hídrica foi responsável pela diminuição dos nódulos radiculares das cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal.

No entanto, notou-se redução ($p < 0,05$) de 18 (79,0 %) nódulos por planta com a inoculação de sementes de BRS Esplendor (Figura 2a). Reconhecidamente, a cultivar Carioca possui bom desempenho nodulante por apresentar maior atividade indutora de genes *nod*, que lhe conferem maior quantidade de pelos radiculares nas raízes primárias e secundárias (Araújo et al., 2007). Considerando que o cultivo de cultivar nodulante em solo com população de rizóbio eficiente representa uma das alternativas para o sucesso da FBN no feijoeiro (Ferreira et al., 2000), as cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal foram as mais aptas a nodularem com os rizóbios nativos do solo, na ausência de N e inoculação de sementes, em área em que não havia sido cultivado feijão anteriormente.

Não houve aumento ($p > 0,05$) das quantidades de nódulos radiculares com as inoculações das sementes dos feijoeiros com rizóbio nas duas safras, considerando as diferenças entre os

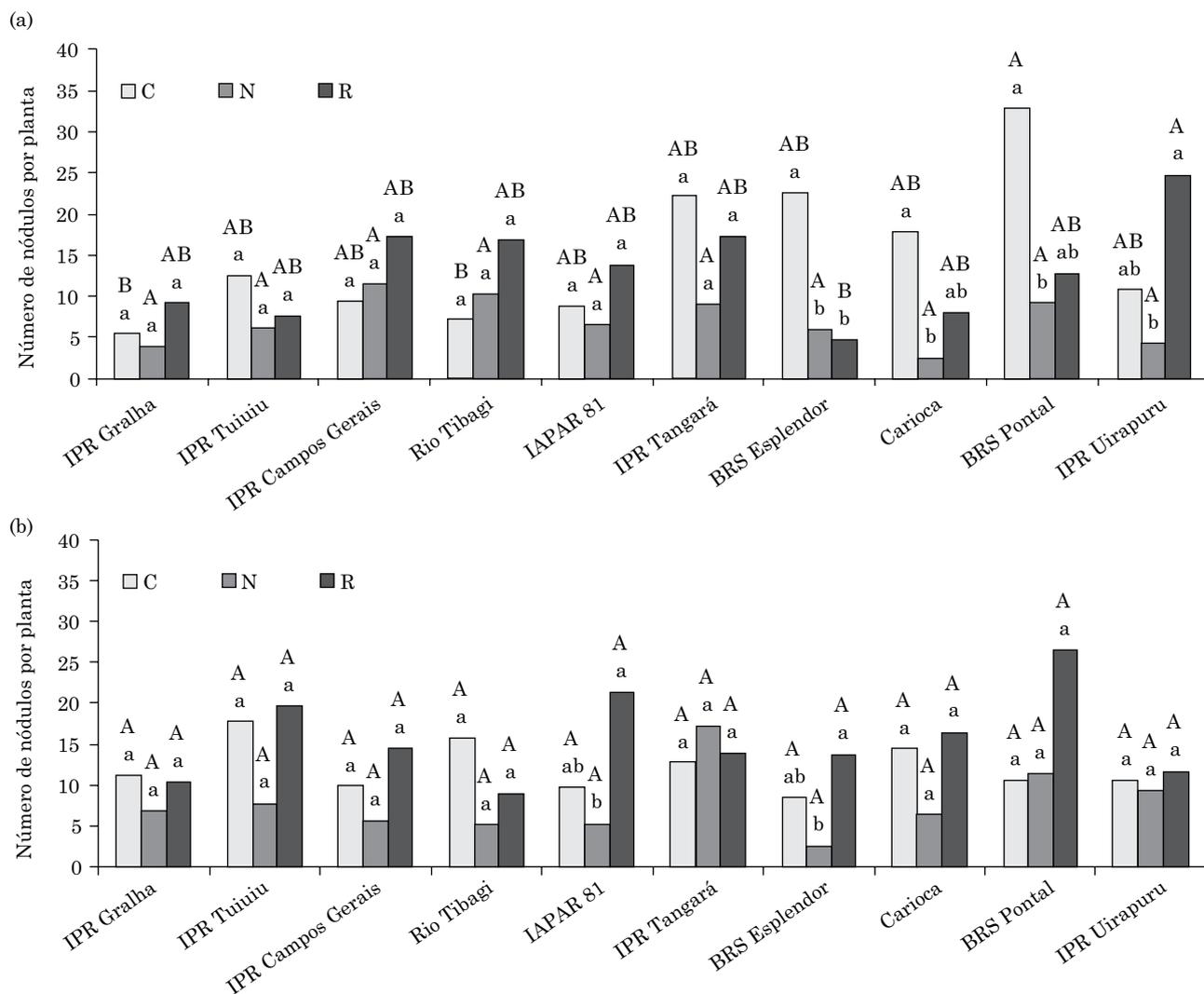


Figura 2. Números de nódulos em cultivares de feijoeiro na safra da seca-2012 (a) e das águas-2012/2013 (b) cultivados sem N e sem inoculação de sementes (C); com adubação nitrogenada (N) e com a inoculação das sementes com *Rhizobium freirei* (R). Letras iguais, maiúsculas, entre cultivares no mesmo tratamento em nutrição nitrogenada, e minúsculas, entre tratamentos em nutrições nitrogenadas para a mesma cultivar, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%. Coeficientes de variação, safra da seca-2012: 35,9 % e safra das águas: 38,8 %.

tratamentos-controle e com inoculação das sementes com rizóbio (Figuras 2a e 2b). Com a inoculação de sementes de Colibri com *R. freirei*, Hungria et al. (2013) observaram aumentos de 34 (162 %) e 21 (138 %) nódulos por planta nas safras das águas-2012/2013 e da seca-2012, respectivamente. Em cultivar Carioca, foram observados 4,5 nódulos por planta em tratamento-controle, apenas com P e K, e aumento médio de aproximadamente 28 nódulos por planta com inoculação de uma mistura de *R. freirei* com *R. tropici*, associada ou não a tratamento de sementes com fungicida (Araújo et al., 2007). não foram observaram efeito da inoculação de sementes de IAPAR 81 com mistura de *R. freirei* e *R. tropici* na quantidade de nódulos radiculares não

foi observado por Silva et al. (2009), uma vez que o tratamento-controle, com P e K apenas, apresentou cerca de 44 nódulos por planta em média.

A quantidade de nódulos radiculares das cultivares IPR Uirapuru na safra da seca-2012 e Iapar 81 e BRS Esplendor na safra das águas-2012/2013 foi maior ($p < 0,05$) no tratamento com inoculação de sementes com *R. freirei* em relação ao tratamento com adubação nitrogenada, não havendo diferenças ($p < 0,05$) entre os tratamentos com adubação nitrogenada e inoculação de sementes com *R. freirei* para o tratamento-controle para essas cultivares (Figuras 2a e 2b). Comparando os grupos comerciais, Preto e Carioca, em ambas as safras, observou-se que os feijões

Carioca nodularam 26,6 % mais e produziram 8,2 % mais grãos que as cultivares do grupo Preto ($p < 0,05$), independentemente da forma de nutrição nitrogenada e da simbiose com rizóbios nativos ou com estirpe inoculada às sementes. Também existem indicações que cultivares com tegumento de coloração preta, IAPAR 20 e Rio Tibagi, apresentam indiretamente menor atividade de indução de genes relacionados à nodulação, menores quantidades de células recuperadas de raízes secundárias e, conseqüentemente, menor nodulação e menores quantidades de N fixadas simbioticamente, em relação a outros cinco cultivares de feijão com

tegumentos de coloração bege ou amarela (Araújo et al., 1996). Em comparação de métodos de melhoramento de feijoeiros para fixação simbiótica de N, a cultivar Rio Tibagi também foi considerada e utilizada por Pereira e Braidotti (2001), como de baixo potencial de FBN.

As produtividades médias de grãos foram de 3.099 kg ha⁻¹ na safra da seca-2012 e de 2.479 kg ha⁻¹ na das águas-2012/2013, havendo interação ($p < 0,05$) entre cultivares e nutrições nitrogenadas somente na última safra (Figuras 3a e 3b). As produtividades médias dos dois experimentos podem ser consideradas altas em comparação com

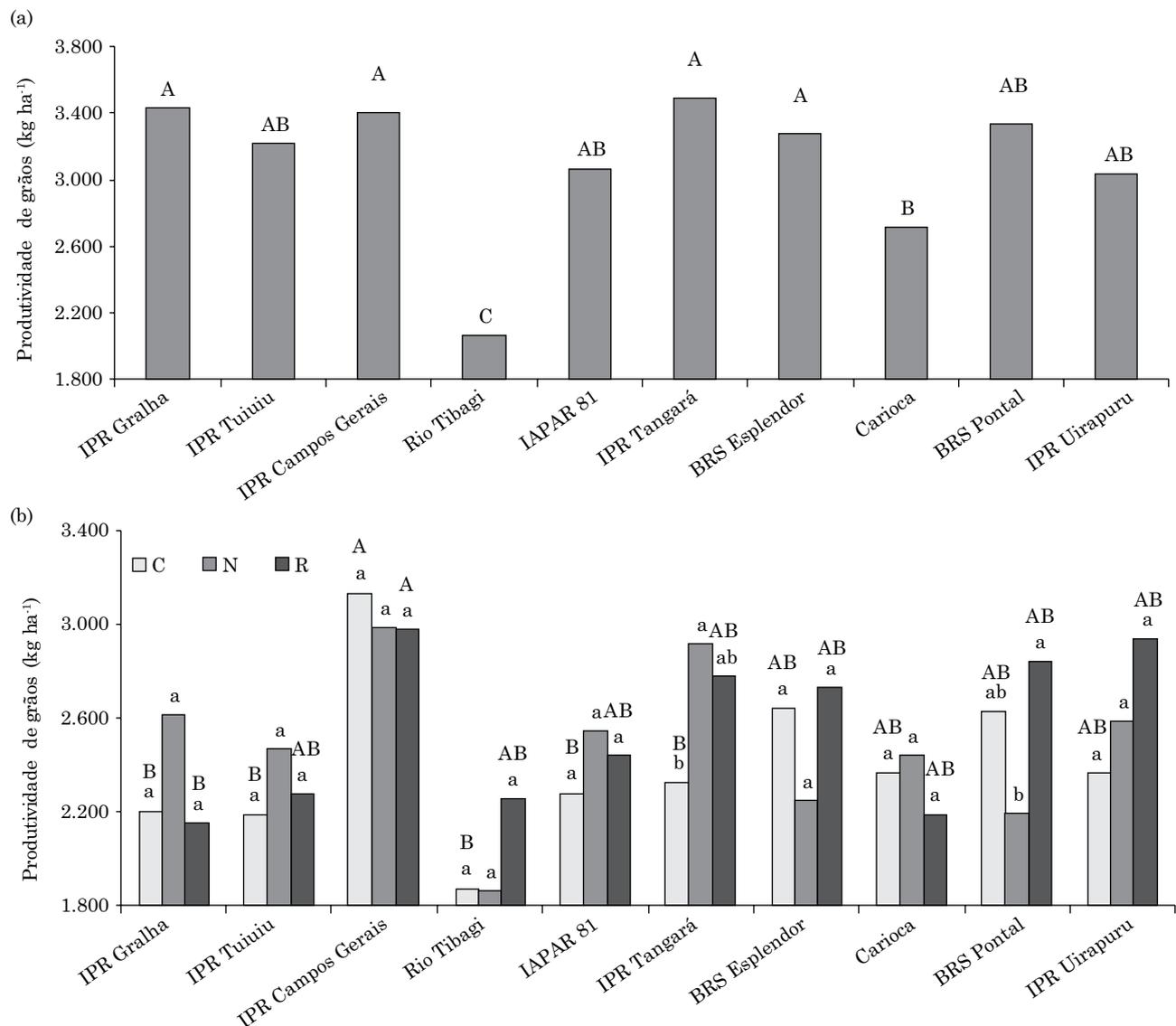


Figura 3. Produtividades de cultivares de feijoeiro comum na safra da seca-2012 (a) e das águas-2012/2013 (b) em Ponta Grossa, PR, cultivados sem N e sem inoculação de sementes (C); com adubação nitrogenada (N) e com a inoculação das sementes com *Rhizobium freirei* (R). Letras iguais, maiúsculas, entre cultivares no mesmo tratamento em nutrição nitrogenada, e minúsculas, entre tratamentos em nutrições nitrogenadas para a mesma cultivar, indicam ausência de diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 %. Coeficientes de variação, safra da seca-2012: 12,2 % e safra das águas: 14,0 %.

as produtividades médias estaduais paranaenses de 1.584 e 1.419 kg ha⁻¹, respectivamente, e locais (Ponta Grossa, PR) de 2.390 e 1.870 kg ha⁻¹, respectivamente (SEAB, 2013). Na safra da seca-2012, IPR Tangará, IPR Gralha, IPR Campos Gerais e BRS Esplendor alcançaram as maiores produtividades, sendo superiores em 1.009 kg ha⁻¹ ($p < 0,05$) do que a média produzida pelas cultivares Carioca e Rio Tibagi, porém não diferindo estatisticamente de IPR Tuiuiu, Iapar 81, BRS Pontal e IPR Uirapuru (Figura 3a). A ausência de respostas à adubação nitrogenada e à inoculação das sementes com rizóbio na safra da seca-2012, em relação à safra das águas-2012/2013, pode estar relacionada às condições edafoclimáticas da safra inicial, em que foram observadas 15 % mais chuvas no primeiro bimestre (Figura 1) e 23 % mais matéria orgânica do solo (Quadro 1) do que na safra das águas-2012/2013, propiciando fornecimento adequado de N às plantas via mineralização do N orgânico e fixação simbiótica de N a partir de rizóbios nativos.

Na safra das águas, observou-se aumento ($p < 0,05$) de 26 % de produtividade de grãos para a cultivar IPR Tangará em resposta à adubação nitrogenada, do tratamento-controle para o com adubação nitrogenada. Contudo, não houve respostas das cultivares com a inoculação com rizóbio, observada por meio de ausência de diferenças significativas entre os tratamentos-controle e com inoculação de sementes com rizóbio (Figura 3b). Ainda na safra das águas, a produtividade de grãos de BRS Pontal foi cerca de 30 % ($p < 0,05$)

maior no tratamento com N mineral do que no inoculado, apesar de sem respostas à aplicação de N e da inoculação com rizóbio, em relação ao tratamento-controle. A inoculação de sementes de feijoeiro IPR Colibri com a estirpe Semia 4080 (*R. freirei*) aumentou as produtividades de grãos tanto na safra das águas-2009/2010 quanto na seca-2010 em Ponta Grossa, PR, somente quando foi feita aplicação conjunta e no sulco de semeadura de *Azopirillum brasiliense*, exclusivamente na dose de $2,5 \times 10^5$ células (Hungria et al., 2013).

A classificação das cultivares com dados das duas safras evidenciou que a IPR 81 não foi eficiente, nem responsiva à adubação nitrogenada; Rio Tibagi e BRS Pontal foram eficientes e não responsivas; BRS Esplendor, IPR Tuiuiu, IPR Uirapuru e IPR Campos gerais foram não eficientes e responsivas; e IPR Gralha e IPR Tangará foram eficientes e responsivas à adubação nitrogenada (Figura 4). Das cultivares avaliadas neste trabalho, Salgado et al. (2012) observaram que a cultivar BRS Esplendor foi classificada como não responsiva e não eficiente, por obter rendimento baixo em condição com estresse de N, inferior a outras cultivares, e também por obter baixo índice de resposta à adubação nitrogenada. Entretanto, Sousa et al. (2012) observaram que a cultivar BRS Esplendor foi classificada como não eficiente, mas responsiva à adubação nitrogenada, pois embora tenha apresentado rendimento acima da mediana com a aplicação de N, sem a adubação nitrogenada não alcançou rendimento mediano de grãos, em relação a outros 25 genótipos.

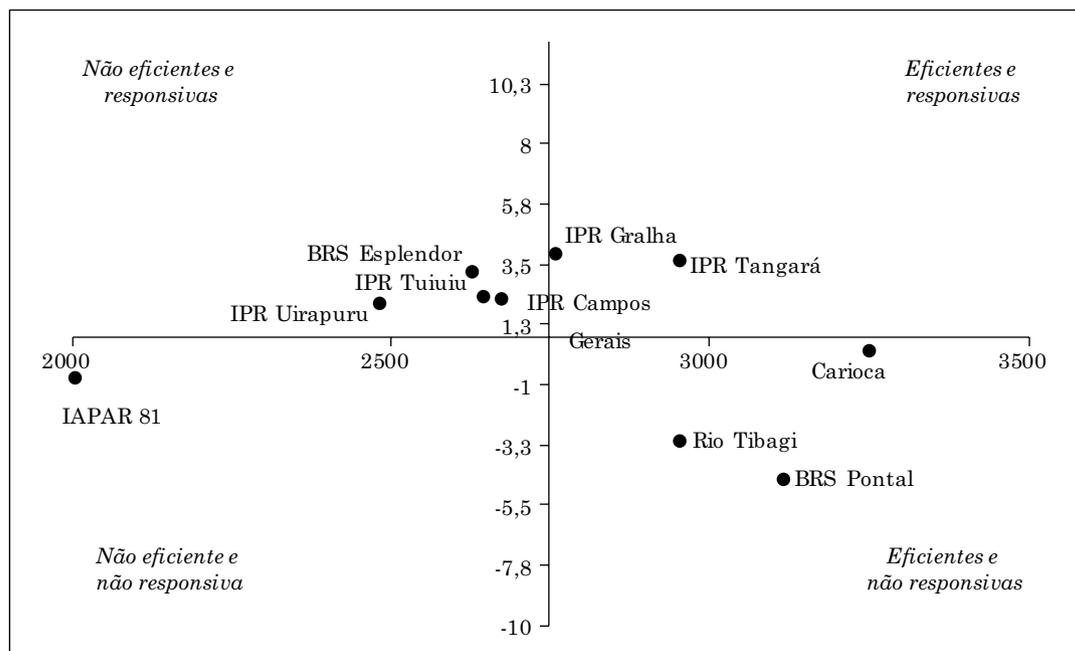


Figura 4. Classificação de cultivares de feijão cultivados na safra da seca-2012 e das águas-2012/2013 em Ponta Grossa, PR, segundo a eficiência no uso do N e na resposta à adubação nitrogenada.

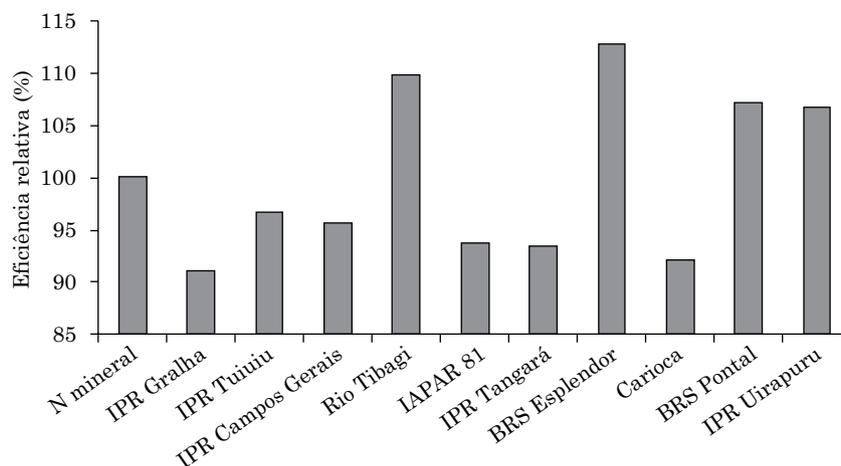


Figura 5. Eficiências relativas médias da inoculação de sementes de cultivares de feijão com *Rhizobium freirei* em relação à adubação nitrogenada.

Considerando-se também os resultados médios de produtividades das safras da seca-2012 e das águas-2012/2013, e tendo como padrão de referência o tratamento com adubação nitrogenada para cada cultivar (100 % de produtividade), as cultivares IPR Gralha, IPR Tuiuiu, IPR Campos Gerais, IAPAR 81, IPR Tangará e Carioca ficaram aquém dos seus respectivos tratamentos com nutrição nitrogenada mineral, com 91, 97, 96, 94, 93 e 92 %, respectivamente. Já Rio Tibagi, BRS Esplendor, BRS Pontal e IPR Uirapuru apresentaram eficiências relativas maiores que as de seus respectivos tratamentos com aplicação de N mineral de 110, 113, 107 e 107 %, respectivamente (Figura 5). Com média de 92 % de produtividades com a inoculação de sementes em relação à adubação nitrogenada, as cultivares IPR Gralha e IPR Tangará demonstraram as menores eficiências relativas, ao passo que também foram classificadas como eficientes e responsivas à adubação nitrogenada.

CONCLUSÕES

Os feijões do grupo comercial Carioca são mais produtivos e mais eficientes na FBN tanto com as estirpes de rizóbios nativos ou exógenos.

A adubação nitrogenada comprometeu as nodulações das cultivares BRS Esplendor, Carioca e BRS Pontal.

De acordo com as produtividade das cultivares Rio Tibagi, BRS Esplendor, BRS Pontal e IPR Uirapuru são mais eficientes com a inoculação das sementes com *R. freirei*

As cultivares IPR Gralha e IPR Tangará se destacam como responsivas à adubação nitrogenada.

REFERÊNCIAS

- Araújo FF, Munhoz REV, Hungria M. Início da nodulação em sete cultivares de feijoeiro inoculadas com duas estirpes de *Rhizobium*. *Pesq Agropec Bras*. 1996;31:435-43.
- Araújo FF, Carmona FG, Tiritan CS, Creste JE. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. *Acta Sci Agron*. 2007;29:535-40.
- Brito MMP, Muraoka T, Silva EC. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. *Bragantia*. 2011;70:206-15.
- Brito MMP, Muraoka T, Silva EC. Marcha de absorção do nitrogênio do solo, do fertilizante e da fixação simbiótica em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada com uso de 15N. *R Bras Ci Solo*. 2009;33:895-905.
- Calvache AM, Reichardt K. Efeito de épocas de deficiência hídrica na eficiência do uso do nitrogênio da cultura do feijão cv. Imbabello. *Sci Agric*. 1996;53:343-53.
- Caramori PH, Caviglione JH, Gonçalves SL, Wrege MS, Oliveira D, Faria RT, Lollato MA, Mariot, EJ, Kranz WM, Parra MS. Zoneamento da cultura do feijão no Estado do Paraná. *R Bras Agrometeorol*. 2001;9:477-85.
- Cardoso JD, Gomes DF, Goes KCGP, Fonseca Junior NS, Dorigo Junior OF, Hungria M, Andrade DS. Relationship between total nodulation and nodulation at the root crown of peanut, soybean and common bean plants. *Soil Biol Biochem*. 2009;41:1760-3.
- Dall'agnol RF, Ribeiro RA, Ormeno-Orrillo E, Rogel MA, Delamuta JRM, Andrade DS, Martínez-Romero E, Hungria M. *Rhizobium freirei*, a symbiont of *Phaseolus vulgaris* very effective in fixing nitrogen. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2013;63:4167-73.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos; 1997.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Rio de Janeiro; 2006.

- Fageria ND, Kluthcouski J. Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo. Brasília, DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; 1980.
- Ferreira AN, Arf O, Carvalho MAC, Araújo RS, Sá ME, Buzzetti S. *Rhizobium tropici* strains for inoculation of the common bean. *Sci Agric*. 2000;57:507-12.
- Franco MC, Cassini STA, Oliveira VR, Vieira C, Tsai SM. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. *Pesq Agropec Bras*. 2002;37:1145-50.
- Furtini IV, Ramalho MAP, Abreu AFB, Furtini Neto AE. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. *Ci Rural*. 2006;36:1696-700.
- Hungria M, Andrade DS, Chueire LMDO, Probanza A, Guttierrez-Manero FJ, Megias M. Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. *Soil Biol Biochem*. 2000;32:1515-28.
- Hungria M, Campo RJ, Mendes IC. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium tropici* strains. *Biol Fert Soils*. 2003;39:88-93.
- Hungria M, Nogueira MA, Araujo RS. Co-inoculation of soybeans and common beans with *Rhizobia* and *Azospirilla*: strategies to improve sustainability. *Biol Fert Soils*. 2013;49:791-801.
- Lemos LB, Fornasieri Filho D, Camargo MB, Silva TRB, Soratto RP. Inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada em genótipos de feijoeiro. *Agronomia*. 2003;37:26-31.
- Nascimento MS, Arf O, Silva MG. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar. *Acta Sci Agron*. 2004;26:153-9.
- Parra MS. Feijão. In: Oliveira EL, editor. Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná; 2003. p.17-8.
- Pavan MA, Bloch MF, Zempulski HC, Miyazawa M, Zocoler DC. Manual de análise química do solo e controle de qualidade. Londrina: Instituto Agronômico do Paraná; 1992. (Circular, 76).
- Pelegri R, Mercante FM, Otsubo IMN, Otsubo AA. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. *R Bras Ci Solo*. 2009;33:219-26.
- Pereira PAA, Braidotti W. Comparação de métodos de melhoramento de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) para o incremento da fixação simbiótica de nitrogênio. *Pesq Agropec Trop*. 2001;31:15-21.
- Salgado FHM, Silva J, Oliveira TC, Barros HB, Passos NG, Fidelis RR. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. *Pesq Agropec Trop*. 2012;42:368-74.
- Secretaria da Agricultura e Abastecimento - SEAB. Produção agrícola paranaense por município [internet]. Curitiba; 2013. [Acesso em 13 nov 2013]. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/bdpanet.xls>.
- Silva EF, Marchetti ME, Souza LCF, Mercante FM, Rodrigues FT, Vitorino ACT. Inoculação do feijoeiro com *Rhizobium tropici* associada à exsudato de *Mimosa flocculosa* com diferentes doses de nitrogênio. *Bragantia*. 2009;68:443-51.
- Soares ALL, Ferreira PAA, Pereira JPAR, Vale HMM, Lima AS, Andrade MJB, Moreira FMS. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). II - Feijoeiro. *R Bras Ci Solo*. 2006;30:803-11.
- Sousa AS, Silva J, Ramos DP, Oliveira TC, Gonzaga LAM, Fidelis RR. Eficiência e resposta à aplicação de nitrogênio de genótipos de feijão comum cultivados em várzea tropical do Estado do Tocantins. *J Biotecnol Biodivers*. 2012;3:31-7.
- Tsai SM, Bonetti R, Agbala SM, Rossetto R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. *Plant Soil*. 1993;152:131-8.