



Inoculação com *Bradyrhizobium* e adubação nitrogenada em feijão-caupi cultivado em diferentes solos

Bradyrhizobium inoculation and nitrogen fertilization on cowpea grown in different soils

Kelter Carvalho dos Santos¹, Sandra Catia Pereira Uchôa^{2*}, Valdinar Ferreira Melo², José Maria Arcanjo Alves³, Paulo Roberto Ribeiro Rocha², Carla Klis dos Santos Ximenes⁴

Resumo - A fixação biológica do nitrogênio (FBN) pode ser limitada pela alta disponibilidade de nitrogênio (N). A fração argila e o teor de matéria orgânica do solo controlam a disponibilidade do N, sendo possível que esses atributos venham a interferir na fixação simbiótica em solos adubados com N. Com base nesse pressuposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da adubação nitrogenada na fixação biológica do N em feijão-caupi cultivado em cinco solos, com ampla variação nos seus atributos físicos, químicos e mineralógicos, representativos das áreas de cultivo da Savana de Roraima. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se vasos de polietileno rígido com 5 dm³ de solo coletado na camada de 0-0,20 m. Empregou-se o delineamento experimental em blocos casualizados em esquema fatorial (5x5), sendo 5 classes de solos (LAdx; LVd; PAdx; PVAd; RYve), 4 doses de nitrogênio (0; 20; 40; 80 kg ha⁻¹) em plantas inoculadas e uma testemunha (sem inoculação e sem adubação nitrogenada), com 4 repetições. Utilizaram-se sementes da cultivar de feijão-caupi BRS Guariba inoculadas com a estirpe de *Bradyrhizobium* BR 3262. Avaliaram-se: número, tamanho e massa da vagem, massa seca da raiz, número de nódulos e massa seca de nódulos. A FBN proporcionou aumento nas variáveis estudadas em todos os solos. As doses de N em plantas inoculadas proporcionaram incrementos significativos que variaram entre as classes de solo, sendo de 3 a 18% nos componentes de produção e de 8 a 70% para as demais variáveis. A adubação nitrogenada afeta a nodulação em feijão-caupi, sendo restritiva em alguns solos.

Palavras-chave - Classes de solos. Fixação biológica de nitrogênio. Fertilidade do solo. *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

Abstract - Biological nitrogen fixation (BNF) can be limited by the high availability of nitrogen (N). The soil clay fraction and organic matter content control the availability of N, and it is possible that these attributes affect the symbiotic fixation in soils fertilized with N. Based in that assumption, the objective with this study was to evaluate the effect of N fertilization on biological fixation in cowpea grown in five soils, with wide variation in their physical, chemical and mineralogical attributes, representative of the growing areas of savannah of Roraima. The experiment was carried out in polyethylene pots in randomized blocks design with factorial arrangement 5x5, 5 soils (LAdx; LVd; PAdx; PVAd; RYve), 4 doses of nitrogen (0, 20, 40, 80 kg ha⁻¹) in inoculated plants and a control (without inoculation and nitrogen fertilization), with 4 replications. The seeds of BRS Guariba were inoculated with *Bradyrhizobium* strain BR 3262. The variables studied were: number, size and mass of the pod, root dry mass, nodule number and dry weight of nodules. The BNF provided an increase in the variables studied in all soils. N levels in inoculated plants provided significant increases varying between soil classes, 3-18% for yield components and 8-70% for the other variables. Nitrogen fertilization affects nodulation in cowpea, being restrictive in some soils.

Key words - Soils classes. Biological fixation of nitrogen. Soil fertility. *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

*Autor para correspondência.

Enviado para publicação em 13/04/2013 e aprovado em 04/11/2014

¹Mestre em Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil, keltercarvalho@gmail.com

²Professores do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil, sandra.uchoa@ufr.br; valdinar@yahoo.com; paulo.rocha@ufr.br

³Professor do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil, arcanjo.alves@ufr.br

⁴Bióloga, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-POSAGRO/UFRR, Boa Vista, RR, Brasil, carlaklis@yahoo.com.br

Introdução

O feijão-caupi é uma cultura de grande abrangência nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e de relevância socioeconômica, constituindo-se na principal fonte de proteína de baixo custo para a alimentação humana. Apesar da sua importância, as pesquisas dedicadas a essa cultura são escassas, sobretudo quanto aos aspectos de fertilidade do solo e nutrição.

Historicamente, o feijão-caupi apresenta baixa produtividade devido às condições de cultivos sem adoção de tecnologias (FREIRE FILHO *et al.*, 2005). Níveis ótimos de nitrogênio (N), boas condições de fertilidade e a cultivar adequada elevam o potencial produtivo dessa cultura a uma produtividade superior a 3,5 t ha⁻¹ (OLIVEIRA *et al.*, 2001).

O N necessário ao feijão-caupi pode ser obtido pela fixação biológica de N₂ (FBN). Normalmente, a FBN é eficiente em feijão-caupi, o qual, quando bem nodulado, pode dispensar outras fontes de N e atingir alta produtividade (RUMJANEK *et al.*, 2005; MELO; ZILLI, 2009), não havendo diferenças de produtividade entre o uso de N via adubação e fixação simbiótica (LACERDA *et al.*, 2004).

Por outro lado, a introdução de inoculantes contendo rizóbios eficientes não garante a eficiência da associação, pois estirpes nativas são, em geral, muito competitivas e de baixa eficiência na fixação do N₂ (FREITAS *et al.*, 2012), determinando uma variação de 40 a 90% no acúmulo de N na planta pela FBN (RUMJANEK *et al.*, 2005). É possível que a baixa fertilidade do solo favoreça as estirpes nativas, sobretudo em solos com baixo teor de matéria orgânica, que detém a reserva lábil de N em solos intemperizados. De acordo com Freitas *et al.* (2012), as estirpes nativas de rizóbio podem ser tão eficientes quanto as estirpes recomendadas, na ausência de N.

De modo geral, as pesquisas têm se concentrado na seleção de estirpes mais eficientes para uma dada condição edáfica. Para Roraima, Zilli *et al.* (2006; 2011) sugerem as cepas BR 3267, BR 3262 e SEMIA 587 para inoculação de feijão-caupi, capazes de proporcionar rendimentos semelhantes à aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N no plantio ou 80 kg ha⁻¹ de N parcelada em 2 vezes. No entanto, pouco tem sido investigado sobre o comportamento da estirpe em condições edáficas diversas, uma vez que há registro de efeitos do pH e presença de Al³⁺ (BARBERI *et al.*, 2004), disponibilidade de nutrientes, temperatura e umidade do solo (MARTINS *et al.*, 2003) na eficiência da FBN.

Os solos das áreas de savana em Roraima apresentam baixa fertilidade natural, baixos valores de cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), com Al³⁺ dominando o complexo de troca. O fósforo disponível é baixo, e a

matéria orgânica, principalmente pela ação constante do fogo, é rapidamente mineralizada, apresentando valores inferiores a 2% (MELO *et al.*, 2003).

Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da adubação nitrogenada na fixação simbiótica com a estirpe de *Bradyrhizobium* BR 3262 em feijão-caupi cultivado em solos com variação nos seus atributos químicos, físicos e mineralógicos, representativos das áreas produtivas, em ambiente de savana do Estado de Roraima.

Material e métodos

Para condução do experimento, amostras de 5 classes de solos foram coletadas, na profundidade de 0-0,20 m, em área de savana em Boa Vista (RR). A classificação, localização geográfica, granulometria e teor de matéria orgânica, mineralogia e características químicas são apresentadas nas Tabelas 1 a 3 (EMBRAPA, 1997; 2006).

O clima da área de coleta dos solos é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen, com dominância de uma estação chuvosa e outra seca, quente e úmida. A temperatura média é da ordem de 25°C, e a precipitação pluviométrica anual é em torno de 1.600 mm, concentrando, entre os meses de abril e setembro, cerca de 70% da precipitação anual. A média anual de umidade relativa varia de 70 a 80% (BARBOSA, 1997).

O experimento foi realizado em casa de vegetação pertencente ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Roraima (UFRR), Campus Cauamé, localizado no município de Boa Vista (RR).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial (5x5), com 4 repetições. Os tratamentos consistiram da combinação de 5 solos representativos do ecossistema de savana da região de Boa Vista (LAdx, LVd, PADx, PVAd e RYve) e 5 doses de N (ureia), sendo 4 doses (0; 20; 40; 80 kg ha⁻¹ de N) em plantas inoculadas e uma dose (0 kg ha⁻¹ de N) em plantas não inoculadas (testemunha absoluta). A parcela experimental consistiu de um vaso de polietileno rígido, com capacidade de 5 dm³, com 2 plantas.

Com base nos resultados da análise química de cada solo, foi definida a dose de calcário para elevar a saturação por bases a 50%. O corretivo utilizado consistiu numa mistura de CaCO₃ e MgCO₃ na relação estequiométrica 4:1. Amostras de 5 dm³ de solo foram incubadas durante 30 dias, até a estabilização do pH, sendo o teor de umidade verificado diariamente para que se mantivesse próximo a 80% da capacidade de campo.

Tabela 1 - Classes de solos, localização geográfica, frações granulométricas e teor de matéria orgânica do solo**Table 1** - Soil classes, geographical location, particle size fractions and soil organic matter content

Classe de solo	Coordenadas geográficas (UTM)	Granulometria (g kg ⁻¹)			MOS (g kg ⁻¹)
		Areia	Silte	Argila	
LAdx	N:0754428; E:03176420	663	85	252	9,3
LVd	N:0753049; E: 318138	751	78	171	8,8
PAdx	N:753488 e E:317565	869	21	110	8,3
PVAd	N: 753.308 e E: 317.695	751	78	171	7,1
RYve	N:0751733 e E:0316565	776	163	61	11,7

MOS: matéria orgânica. LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico. Fonte: Benedetti (2007).

MOS: organic matter. LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvi Neosol. Source: Benedetti (2007).

Tabela 2 - Principais minerais presentes na fração argila das classes de solos**Table 2** - Main minerals present in the clay fraction of the soil classes

Classe de solo	Principais minerais presentes na fração argila
LAdx	Caulinita
LVd	Caulinita, Hematita, Boemita, Gibsita, Goethita, Mica
PAdx	Caulinita
PVAd	Caulinita e Hematita
RYve	Caulinita, Esmectita, Vermiculita, Mica e Boemita

LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico. Fonte: Benedetti (2007).

LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvi Neosol. Source: Benedetti (2007).

Tabela 3 - Características químicas das classes de solos empregadas no experimento**Table 3** - Chemical characteristics of soil classes used in the experiment

Solo	pH H ₂ O	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	S	CTC _{ef}	CTC _{pH7}	V	m	P
		cmol _c dm ⁻³							%		mg dm ⁻³	
LAdx	4,9	0,36	0,11	0,03	0,61	2,67	0,50	1,11	3,17	15	55	1,36
LVd	5,5	0,26	0,03	0,03	0,16	1,85	0,37	0,53	2,22	17	30	1,30
PAdx	5,1	0,89	0,27	0,09	0,39	3,70	1,25	1,64	4,95	25	24	0,57
PVAd	5,3	0,31	0,07	0,01	0,11	1,75	0,44	0,55	2,19	20	20	2,36
RYve	5,3	0,25	0,09	0,06	0,79	4,93	0,39	1,18	5,32	7	67	4,60

S: soma de bases; CTC_{ef}: capacidade de troca de cátions efetiva; CTC_{pH7}: capacidade de troca de cátions a pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P: fósforo disponível (Mehlich 1). LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

S: sum of bases; CTC_{ef}: effective cation exchange capacity; CTC_{pH7}: cation exchange capacity at pH 7; V: base saturation; m: aluminum saturation; P: available phosphorus (Mehlich 1); LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvi Neosol

A cultivar de feijão-caupi estudada foi a BRS Guariba, que apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, floração de 30 a 41 dias após a emergência (DAE) e ciclo médio de 65 a 70 dias.

Após a incubação do solo, foi realizada a adubação de base, que consistiu de 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e 40 kg ha⁻¹ de micronutrientes, por meio do FTE BR 12. A adubação nitrogenada teve por base as doses de N estudadas. A aplicação de K em cobertura foi feita com 30 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio), aos 8 DAE, no início do estágio fenológico V2, caracterizado pela presença da segunda folha trifoliada completamente aberta em 80% das plantas. O N também foi parcelado em duas vezes, metade no plantio e aos 8 DAE.

A semeadura foi realizada plantando-se cinco sementes de feijão-caupi por vaso. As sementes dos tratamentos com inoculação foram inoculadas com a estirpe de *Bradyrhizobium* BR 3262 em veículo turfoso, recomendada para as condições locais por Zilli *et al.* (2006). A concentração mínima de rizóbio foi da ordem de 10⁸ células g⁻¹ de inoculante, sendo que a inoculação consistiu da aplicação da proporção 5 g de inoculante para 500 g de sementes. A inoculação foi realizada com o umedecimento prévio das sementes com uma solução açucarada (10% p v⁻¹) na proporção de 6 mL kg⁻¹ de semente, conforme Hungria *et al.* (2001). O desbaste foi realizado dez dias após a semeadura, deixando-se duas plantas por vaso. Os vasos foram mantidos com umidade próxima a 80% da capacidade de campo.

Com relação aos tratamentos fitossanitários, houve o monitoramento diário da cultura, utilizando-se aplicações alternadas dos inseticidas à base de Acefato e Imidacloprid, visando ao controle do pulgão preto (*Aphis craccivora*) e da cigarrinha verde (*Empoasca kraemerii*), principalmente.

A colheita das plantas ocorreu aos 50 DAE, sendo avaliadas as seguintes variáveis: a) comprimento das vagens com no mínimo um grão formado (CV), empregando régua graduada, em centímetros; b) número de vagens por planta (NV) - média obtida pela contagem das vagens; c) massa de vagens (MV), empregando balança analítica (precisão de 0,01 g) em g por vaso; d) massa das raízes mais nódulos (MR) - as plantas foram cortadas no ponto de inserção cotiledonar, sendo o solo mais raízes colocados sobre peneira de 4 mm de malha, por meio de jatos de água. Procedeu-se à lavagem até a retirada total do solo; em seguida, as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa com ventilação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante. Após 72 horas, fez-se a avaliação da massa das raízes em g por vasos, em balança com precisão de 0,01 g, em g por vaso;

e) número de nódulos por vaso (NN): contagem manual dos nódulos nas raízes para cada parcela após as amostras ficarem 72 horas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C; f) massa de nódulos por vaso (MN), calculada em balança com precisão de 0,001 g, g por vaso.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F com uso do *software* SISVAR (FERREIRA, 2008). Para o estudo do fator solo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p≤0,05). Para o estudo dos fatores com e sem inoculação, empregou-se contraste ortogonal e teste F (p≤0,05). Foram realizadas análises de regressão para os efeitos significativos referentes aos tratamentos com inoculação e doses de N. Os coeficientes dos componentes de cada modelo foram testados (p≤0,05), escolhendo-se os modelos significativos, com maior coeficiente de determinação.

Resultados e discussão

No estudo dos componentes de produção da planta, verificou-se que a interação entre fatores foi significativa (p<0,05) apenas para o comprimento de vagem. As variáveis número de vagens e massa de vagens foram afetadas pelos efeitos simples de cada fator estudado (Tabela 4).

O número de vagem por planta, independentemente dos tratamentos sem e com inoculação mais doses de N, foi maior nas plantas cultivadas em RYve (4 vagens por planta), estatisticamente semelhante em PAdx e PVAd e menor em LVD (2,35 vagens por planta). Independentemente do solo, o contraste entre N₀I₀ versus N₀I₁ foi significativo, mas o tratamento N₂₀I₁ determinou o maior número de vagens (4,55 vagens por planta), enquanto que o número médio de vagens obtido no contraste entre N₀I₀ versus N₈₀I₁ não se diferenciou (Tabela 4).

O contraste N₀I₀ versus N₀I₁ afetou o comprimento da vagem, exceto no LAdx (Tabela 4). Nesse solo, verificou-se que na presença de N, 20 ou 40 kg ha⁻¹, a inoculação não foi afetada, resultando em vagens com comprimento superior ao tratamento N₀I₁. Dentro do tratamento N₀I₁, não houve efeito significativo dos solos para o comprimento da vagem, indicando que essa variável é pouco influenciada pelos atributos dos solos estudados. No RYve, o contraste entre N₀I₀ e demais tratamentos foi significativo, destacando-se o contraste entre N₀I₀ versus N₂₀I₁, que determinou as maiores vagens (19 cm).

A massa de vagem nos solos PVAd e RYve, independentemente dos tratamentos sem e com inoculação mais doses de N, apresentou as maiores médias, 13,28 e 13,20 g, respectivamente (Tabela 4). Independentemente dos solos, a inoculação determinou maior massa de vagem,

Tabela 4 - Médias das características de produção da parte aérea de plantas de feijão-caupi em função de doses de N, sem inoculação (I0) e com inoculação (I1) em diferentes classes de solos, Boa Vista (RR)

Table 4 - Averages of production characteristics of shoot of cowpea plants as a function of N doses, without inoculation (I0) and with inoculation (I1) in different soil classes, Boa Vista (RR)

Classe de solo	N ₀ I ₀	N ₀ I ₁	N ₂₀ I ₁	N ₄₀ I ₁	N ₈₀ I ₁	Média
Número de vagens por planta (F _{Solo} = 7,765***; F _N = 20,240***; F _{S*N} = 1,071 ^{ns} ; DMS = 0,77; C.V. = 16%)						
LAdx	1,75	3,50	4,00	3,75	2,50	3,10 bc
LVd	2,00	2,50	3,25	2,50	1,50	2,35 c
PAdx	3,50	4,25	4,50	3,50	2,50	3,65 ab
PVAd	2,25	4,00	5,00	3,50	2,00	3,30 ab
RYve	3,50	5,00	6,00	4,25	2,00	4,00 a
Média	2,60	3,85***	4,55***	3,50***	2,10 ^{ns}	
Comprimento da vagem (cm) (F _{Solo} = 38,266***; F _N = 58,858***; F _{S*N} = 4,000*; DMS = 2,48; C.V. = 8,45%)						
LAdx	14,38 a	15,13 a ^{ns}	18,28 ab***	16,80 a***	13,83 b ^{ns}	15,68
LVd	9,88 b	14,53 a***	15,13 c***	13,18 c***	11,00 c ^{ns}	12,74
PAdx	13,00 a	15,20 a*	16,00 bc**	14,25 bc	13,50 b ^{ns}	14,39
PVAd	14,00 a	16,50 a**	17,13 abc***	15,75 ab*	12,00 bc*	15,08
RYve	13,25 a	15,75 a**	19,00 a***	17,25 a***	16,50a***	16,35
Média	12,90	15,42	17,11	15,45	13,37	
Massa da vagem por vaso (g) (F _{Solo} = 52,199***; F _N = 39,193***; F _{S*N} = 3,352 ^{ns} ; DMS = 1,58; C.V. = 10,53%)						
LAdx	8,93	9,63	10,78	9,66	7,98	9,71 b
LVd	9,68	12,00	13,00	11,25	11,00	10,81 b
PAdx	8,81	10,13	12,63	11,25	10,50	10,66 b
PVAd	10,00	14,13	16,00	15,00	11,25	13,28 a
RYve	11,00	12,25	15,25	14,25	15,25	13,20 a
Média	9,68	11,63**	13,53***	12,28***	11,20*	

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Dentro de cada solo, as comparações entre a testemunha e os tratamentos inoculados se deram por contrastes ortogonais. *, ** e *** significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. F_{Solo}: teste F para o fator solos; F_N: teste F para o fator nitrogênio; F_{S*N}: testes F para a interação solo versus nitrogênio; ns: não significativo; DMS: diferença mínima significativa; C.V.: coeficiente de variação; LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

Means followed by the same letters in the column do not differ by Tukey test ($p \leq 0,05$). Within each soil, comparisons between control and inoculated treatments were given by orthogonal contrasts. *, ** and *** significant at 5, 1 and 0.1% probability, respectively. F_{soil}: F-test for soil factor; F_N: F-test for nitrogen factor; F_{S*N}: F-tests for interaction soil versus nitrogen; ns: not significant; DMS: significant minimal difference; CV: coefficient of variation; LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutrophic Vertisol Fluvisol Neosol.

destacando-se os contrastes entre N₀ I₀ versus N₂₀ I₁ e N₀ I₀ versus N₈₀ I₁.

De modo geral, a significância do contraste N₀ I₀ versus N₀ I₁ para as variáveis relacionadas com a produção da planta revela que a inoculação proporcionou resultados médios comparáveis ou superiores ao uso das doses de N (N₀ I₀ versus N₈₀ I₁). Esses resultados reforçam o que outros trabalhos desenvolvidos em várias regiões brasileiras têm apresentado quanto aos benefícios da inoculação para aumento de produtividade de grãos do

feijão-caupi (LACERDA *et al.*, 2004; SOARES *et al.*, 2006; RUMJANEK *et al.*, 2005; Zilli *et al.*, 2006; MELO; ZILLI, 2009; SOARES *et al.*, 2014).

Por outro lado, independentemente dos tratamentos sem e com inoculação mais N, verificou-se que os diferentes solos afetaram a resposta da planta em decorrência de seus atributos. De modo geral, os solos RYve e LVd determinaram, respectivamente, os maiores e menores resultados para as variáveis de produção do feijão-caupi. É possível que o maior teor de matéria

orgânica (Tabela 1) e o tipo argila (Tabela 2) do RYve estejam relacionados com seus melhores resultados para as variáveis. Alfaia (1997) verificou maior contribuição do N do solo e da fixação simbiótica para o feijão-caupi, comparados à ureia ou sulfato de amônio, na dose de 30 kg ha⁻¹ de N, e não houve resposta em produção à aplicação desse nutriente. A disponibilidade de N na solução do solo na fase inicial da cultura pode influenciar a magnitude da FBN (TSAI *et al.*, 1993; MARTINS *et al.*, 2003). É possível que, após a inoculação e início da FBN, ocorra deficiência de N, decorrente de assincronismo entre o esgotamento de N dos cotilédones e o início da nodulação (FRANCO; DÖBEREINER, 1968; HUNGRIA *et al.*, 1991; XAVIER *et al.*, 2007). Conforme Brito *et al.* (2009), a FBN forneceu a maior parte do N acumulado em plantas de feijão comum e feijão-caupi, seguida, em ordem decrescente, pelo solo e fertilizante, sendo que a maior taxa de FBN ocorreu a partir da fase de prefloração das culturas. Considerando o assincronismo entre nodulação e fixação simbiótica e que a maior taxa de fixação se dá na prefloração da planta, a mineralização da matéria orgânica e N adsorvido as argilas podem funcionar como reserva lábil do N, disponibilizando-o na fase inicial do processo de infecção, afetando a eficiência da FBN e, conseqüentemente, a produção.

Conforme Martins *et al.* (2003), as condições edafoclimáticas, particularmente a disponibilidade de N na solução do solo que está relacionado ao teor de matéria orgânica de cada solo, na fase inicial da cultura, podem influenciar na magnitude da FBN. O teor de N fornecido via adubação pode contribuir para solos com baixo teor de matéria orgânica, possibilitando o arranque da cultura e o estabelecimento sustentável da FBN.

Em Roraima, assim como em outros estados da Amazônia, os solos apresentam baixo teor de matéria orgânica, pH ácido e elevada saturação por alumínio (MELO *et al.* 2003). Esses fatores, reconhecidamente, afetam a FBN da planta e a manutenção da população de rizóbio no solo (HUNGRIA; VARGAS, 2000; WATKIN *et al.*, 2003). Condições de fertilidade do solo pela correção do fósforo (P) com diferentes fontes foram correlacionadas significativamente com nodulação, teores de clorofila nas folhas e o N acumulado na parte aérea do feijão-caupi (SILVA *et al.*, 2010). Guedes *et al.* (2010) ressaltaram que diferenças em produtividade de plantas de feijão-caupi inoculadas devem-se ao potencial produtivo das cultivares, bem como às condições edafoclimáticas particulares a cada estudo.

No estudo dos componentes da raiz, verificou-se que a interação entre fatores foi significativa ($p < 0,05$) para as variáveis avaliadas (Tabela 5). De modo geral, o contraste entre $N_0 I_0$ versus $N_0 I_1$ foi significativo, sendo a magnitude do efeito da inoculação afetada pelos

diferentes solos. Dentro de cada solo, verificou-se que as plantas inoculadas com ou sem N tiveram maior massa de raiz, número de nódulos e massa de nódulos em relação às plantas que não foram inoculadas. No entanto, no PADx, o número de nódulos não se diferenciou para $N_0 I_0$ versus $N_{80} I_0$, indicando que a dose de 80 kg ha⁻¹ de N afetou a nodulação das estirpes inoculadas. Ressalta-se, ainda, que o PADx apresentou maior nodulação no $N_0 I_0$, indicando possível competição entre estirpes nativas e inoculadas. Para os demais solos, adubação até 40 kg ha⁻¹ de N determinou número de nódulos superior a não inoculação.

No tratamento $N_0 I_0$, verificou-se maior massa da raiz nos solos LVD e LADx e maior número de nódulos no PADx, sendo possivelmente esses resultados mais relacionados às condições físicas de cada solo. Particularmente, o LVD, pela presença de minerais oxidicos e textura com 17% de argila, apresentou um arranjo das partículas mais favorável ao equilíbrio entre ar e água do solo, favorecendo o maior crescimento das raízes. Contudo, o maior crescimento da raiz pode reduzir a matéria seca da parte aérea, por serem drenos preferencial de fotoassimilados (PACE *et al.*, 1999).

Independentemente da classe de solo, verificou-se que o número de nódulos e massa de nódulos no $N_0 I_0$ foi significativamente inferior aos tratamentos com inoculação (Tabela 5), mas houve nodulação por rizóbios nativos. A capacidade de os rizóbios nativos nodularem plantas de feijão-caupi tem registro na literatura, com eficiência variando entre 40 a 90% (RUMJANEK *et al.* 2005; HARA; OLIVEIRA, 2007; ZHANG *et al.*, 2007; MELO; ZILLI, 2009; FREITAS *et al.*, 2012). A relação entre número e massa de nódulos no $N_0 I_0$ e $N_0 I_1$ indicam que 37 a 88% do número e 45 a 80% da massa de nódulos estão relacionados com estirpes nativas, talvez explicando a baixa relação entre essas variáveis e a resposta da parte aérea. Nos solos PADx e RYve, que apresentam menor proporção de nódulos, 37 e 59%, respectivamente, tiveram melhores resultados para variáveis da parte aérea. Logo, a nodulação por estirpes nativas também foi influenciada pelos atributos dos solos.

No estudo dos níveis de N em plantas inoculadas ($N_0 I_1$; $N_{20} I_1$; $N_{40} I_1$; $N_{80} I_1$) e classes de solos, verificou-se que houve interação entre os fatores, sendo desdobradas e estudadas por regressão linear (Figuras 1A a 1F). Para os modelos quadráticos, foi calculada a dose de máxima eficiência técnica de N (DMET), igualando-se a zero a derivada primeira da equação de regressão.

O número de vagens em plantas de feijão-caupi inoculadas variou com os solos e doses de N. Os solos PADx e PVAd apresentaram comportamento diferenciado do grupo, sendo a relação entre número de vagens e dose de N nas plantas inoculadas foi melhor explicada pelo

Tabela 5 - Médias de massa de raiz, número de nódulos e massa seca de nódulos por planta de feijão-caupi em função de doses de N, sem inoculação (I0) e com inoculação (I1), em diferentes classes de solos, Boa Vista (RR)

Table 5 - Average root mass, nodule number and dry mass of nodules per plant of cowpea as a function of N doses without inoculation (I0) and with inoculation (I1) in different soil classes, Boa Vista (RR)

Classe de solo	N ₀ I ₀	N ₀ I ₁	N ₂₀ I ₁	N ₄₀ I ₁	N ₈₀ I ₁
Massa seca de raiz por vaso (g) ($F_{\text{Solo}} = 39,489^{***}$; $F_{\text{N}} = 21,526^{***}$; $F_{\text{S*N}} = 0,848^{***}$; C.V. = 4,60%)					
LAdx	3,40 ab	5,90 a ^{***}	6,80 a ^{***}	7,80 a ^{***}	6,15 a ^{***}
LVd	3,60 a	5,50 b ^{***}	6,20 b ^{***}	5,90 b ^{***}	5,60 b ^{***}
PAdx	3,10 b	4,10 c ^{***}	4,70 c ^{***}	4,60 c ^{***}	4,50 c ^{***}
PVAd	1,40 c	3,50 d ^{***}	4,40 c ^{***}	4,00 d ^{***}	3,50 d ^{***}
RYve	1,30 c	2,50 e ^{***}	3,00 d ^{***}	3,20 e ^{***}	3,50 d ^{***}
Número de nódulos por vaso ($F_{\text{Solo}} = 3.070,16^{***}$; $F_{\text{N}} = 4.872,16^{***}$; $F_{\text{S*N}} = 406,36^{***}$; C.V. = 4,61%)					
LAdx	39 b	65 bc ^{***}	77 b ^{***}	75 b ^{***}	58 c ^{***}
LVd	40 b	98 a ^{***}	112 a ^{***}	90 a ^{***}	74 a ^{***}
PAdx	55 a	68 b ^{***}	80 b ^{***}	71 b ^{***}	57 c ^{ns}
PVAd	19 c	42 d ^{***}	52 d ^{***}	71 b ^{***}	56 c ^{***}
RYve	43 b	62 c ^{***}	70 c ^{***}	74 b ^{***}	68 b ^{***}
Massa de nódulo seco (g) por vaso ($F_{\text{Solo}} = 0,209^{***}$; $F_{\text{N}} = 0,171^{***}$; $F_{\text{S*N}} = 0,013^{***}$; C.V. = 8,15%)					
LAdx	0,40 a	0,45 b ^{***}	0,49 b ^{***}	0,52 b ^{***}	0,46 b ^{***}
LVd	0,40 a	0,56 a ^{***}	0,60 a ^{***}	0,66 a ^{***}	0,70 a ^{***}
PAdx	0,28 b	0,32 c ^{***}	0,43 bc ^{***}	0,45 c ^{***}	0,48 b ^{***}
PVAd	0,13 c	0,35 c ^{***}	0,47 b ^{***}	0,55 b ^{***}	0,34 c ^{***}
RYve	0,18 c	0,32 c ^{***}	0,37 c ^{***}	0,40 c ^{***}	0,34 c ^{***}

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Dentro de cada solo, as comparações entre a testemunha e os tratamentos inoculados se deram por contrastes ortogonais. *, ** e ***: significativo a 5, 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente. F_{Solo} : teste F para o fator solos; F_{N} : teste F para o fator nitrogênio; $F_{\text{S*N}}$: testes F para a interação solo versus nitrogênio; ns: não significativo; C.V.: coeficiente de variação; LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

Means followed by the same letters in the column do not differ by Tukey test ($p \leq 0,05$). Within each soil, comparisons between control and inoculated treatments were given by orthogonal contrasts. *, ** and ***: significant at 5, 1 and 0.1% probability, respectively. F_{Solo} : F-test for soil factor; F_{N} : F-test for nitrogen factor; $F_{\text{S*N}}$: F-tests for interaction soil versus nitrogen; ns: not significant; C.V.: coefficient of variation; LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvic Neosol.

modelo linear. Nos demais solos em que a resposta da planta às doses de N foi descrita por modelo quadrático, a eficiência das doses de N não ultrapassou 11% (Tabela 6), indicando pouca dependência dos solos à adubação com N em plantas inoculadas para aumentar número de vagens. Porém, deve-se ressaltar que, dependendo do solo, o efeito negativo do N sobre a nodulação pode ser relevante na produção final.

Para comprimento da vagem, verificou-se que, nos solos LAdx e RYve, a resposta da planta às doses de N foi descrita por modelo quadrático (Figura 1B), sendo possível o uso de até 40 kg ha⁻¹ de N (DMET) em plantas inoculadas, porém com eficiência máxima de 14% (Tabela 6). Nos demais solos, a adubação nitrogenada afetou

negativamente essa variável, sendo a inoculação suficiente para a máxima resposta da planta (Figura 1B).

A massa de vagem em função das doses de N foi descrita por modelo quadrático nos solos, exceto no LVd (Figura 1C), que se deu por função linear negativa. Os modelos quadráticos indicaram que, até 37,3 kg ha⁻¹ de N (Tabela 6), há eficiência na adubação com N no aumento da massa de vagem. No entanto, é necessário verificar se o uso da adubação é economicamente viável.

A baixa eficiência ou resposta negativa à adubação nitrogenada constatada para os componentes de produção nos solos estudados (Figuras 1A a 1C) revelou que a nodulação proporcionou aporte de N necessário à nutrição

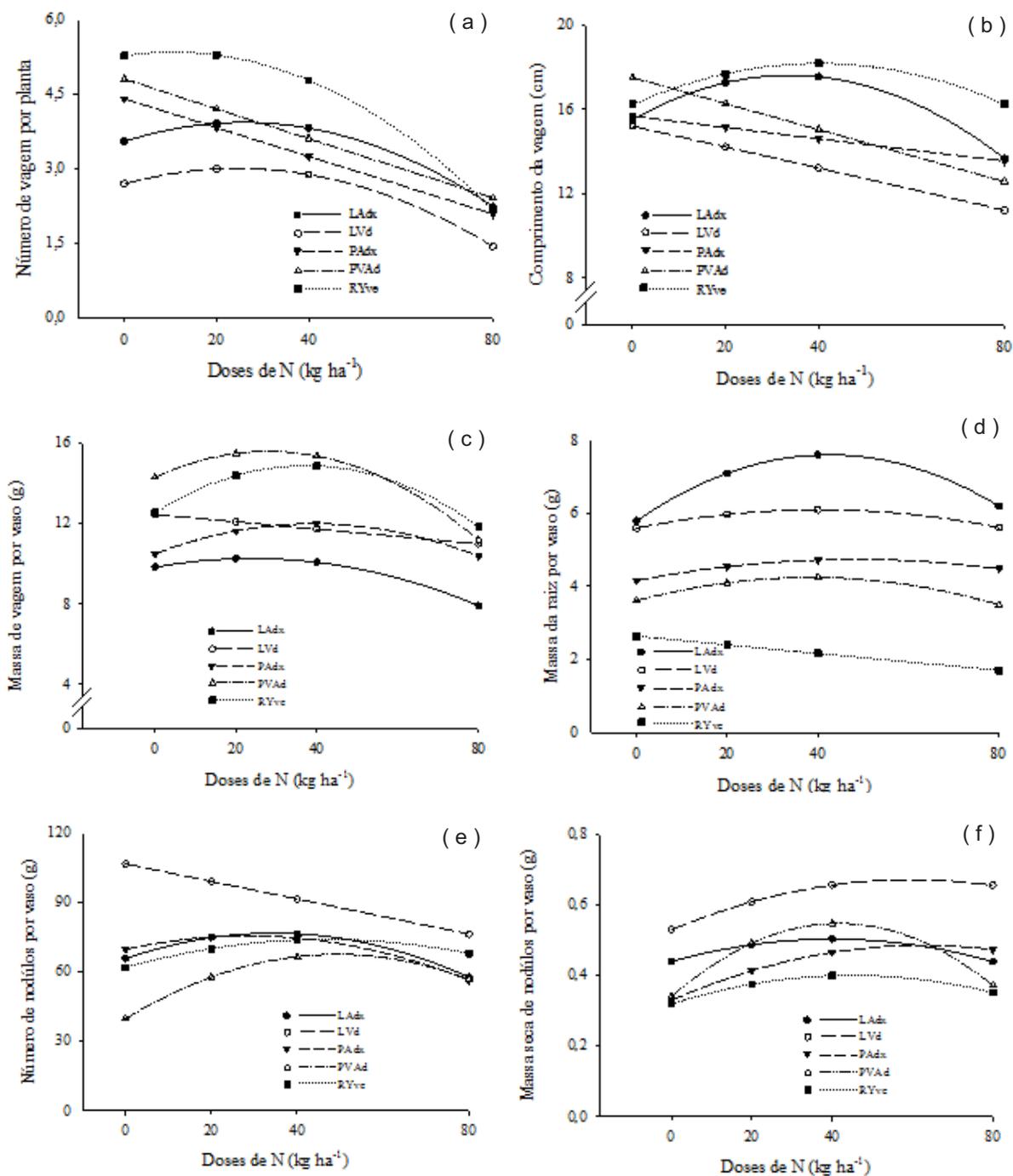


Figura 1 - (A) Número de vagens por planta; (B) comprimento da vagem; (C) massa de vagem por vaso; (D) massa seca de raízes por vaso; (E) número de nódulos por vaso; (F) massa de nódulos por vaso em função de doses de nitrogênio, em diferentes solos, Boa Vista (RR). LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

Figure 1 - (A) Number of pods per plant; (B) length of pod; (C) mass of pods per vase; (D) root dry mass per vase; (E) nodule number per vase; (F) nodule mass per vase of cowpea inoculated with rhizobium on the basis of nitrogen, in different soils, Boa Vista (RR). LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvic Neosol.

Tabela 6 - Equações de componentes de produção da parte aérea em função das doses de N em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista (RR)**Table 6** - Equations of yield components of shoot as a function of N levels in plants of cowpea inoculated with rhizobium, Boa Vista (RR)

Solo	Equação	R ²	DMET	Variável na DMET	Incremento ¹	Eficiência (%) ²
Número de vagem por planta						
LAdx	= 3,54 + 0,030 ^{ns} X - 0,00058*X ²	0,99	25,86	3,92	0,44	11
LVd	= 2,69 + 0,025 ^{ns} X - 0,00051*X ²	0,78	24,51	2,99	0,30	11
PAdx	= 4,40 - 0,029 ^{***} X	0,81	-	-	-	-
PVAd	= 4,80 + 0,030 ^{***} X	0,76	-	-	-	-
RYve	= 5,27 + 0,014X - 0,00066 ^{***} X ²	0,87	10,61	5,41	0,14	3
Comprimento de vagem (cm)						
LAdx	= 15,50 + 0,125 ^{***} X - 0,00185 ^{***} X ²	0,85	33,8	17,61	2,11	14
LVd	= 15,20 - 0,04982 ^{***} X	0,87	-	-	-	-
PAdx	= 15,67 - 0,026643*X	0,70	-	-	-	-
PVAd	= 17,50 - 0,06161 ^{***} X	0,84	-	-	-	-
RYve	= 16,23 + 0,097*X - 0,0012*X ²	0,51	40,4	18,19	1,96	12
Massa de vagem por vaso (g)						
LAdx	= 9,83 + 0,036*X - 0,00075*X ²	0,88	24,0	10,26	0,43	04
LVd	= 12,45 - 0,01821*X	0,50	-	-	-	-
PAdx	= 10,50 + 0,076*X - 0,00097*X ²	0,55	39,2	11,98	1,48	14
PVAd	= 14,31 + 0,092** X - 0,00164 ^{***} X ²	0,97	28,1	15,60	1,29	09
RYve	= 12,57 + 0,124 ^{***} X - 0,00166 ^{***} X ²	0,83	37,3	14,88	2,31	18

¹Incremento: variável na DMET-variável na dose 0 kg ha⁻¹ de N₀ I₀ em cobertura; ²eficiência (%) = {[variável na DMETx100]/(variável na dose 0 kg ha⁻¹ de N₀ I₀ em cobertura)]-100}. DMET: dose de máxima eficiência técnica de N; LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

¹Increment: variable in DMET-variable in 0 kg ha⁻¹ of N₀ I₀ dose in coverage; ²efficiency (%) = {[variable in DMETx100]/(variable in 0 kg ha⁻¹ of N₀ I₀ dose in coverage)]-100}. DMET: dose of maximal technical efficiency of N; LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvic Neosol.

das plantas de feijão-caupi, sendo também constatado por Brito *et al.* (2009). Os resultados obtidos corroboram dados de Xavier *et al.* (2008), que recomendam o uso de 20 kg ha⁻¹ de N em plantas inoculadas, desde que não comprometa a viabilidade econômica da cultura. No entanto, o uso de doses superiores a 40 kg ha⁻¹ de N não é recomendado, pois reduziu todas as variáveis, independentemente da classe de solo. Conforme Martins *et al.* (2003), essas leguminosas, quando em simbiose com estirpes eficientes de rizóbios, são favorecidas pela maior disponibilidade de N, o que é necessário para uma produção agrônômica viável e equivalente a 50 kg ha⁻¹ de N. Os resultados apresentados demonstram eficiência da FBN em feijão-caupi, sendo uma forma de incrementar a

produtividade, evitando custos com adubos nitrogenados solúveis (FRANCO *et al.* 2002; SOARES *et al.*, 2006).

As doses de N aumentaram de modo quadrático a massa da raiz, número de nódulos e massa de nódulos na maioria das classes de solos estudadas (Figuras 1D a 1F). De modo geral, essas variáveis foram mais beneficiadas pela adubação nitrogenada do que as variáveis da parte aérea. A massa de raiz, exceto no RYve, aumentou em até 31% em resposta a 42,5 kg ha⁻¹ de N; nos demais solos, a eficiência variou de 0 a 14%.

O número de nódulos em função das doses de N nos solos apresentou incrementos quadráticos, exceto no LVd, que apresentou incremento linear negativo (Figura

1E), com eficiência variando de 0 a 70% (Tabela 7). A maior eficiência, 70%, foi observada no PVAd na dose 49,22 kg ha⁻¹ de N. No entanto, essa elevada eficiência na nodulação, pela maior disponibilidade de N, não propiciou aumento na produção de massa de vagem, que foi de 9% (Tabela 6).

A massa de nódulos foi favorecida pelas doses de N em todos os solos, sendo descrita por modelo quadrático (Figura 1F). A DMET variou de 40,0 a 62,5 kg ha⁻¹ de N, proporcionando eficiência em massa de nódulo, que variou de 14 a 62%.

Esses resultados para número de nódulos e massa de nódulo, relativamente altos em dose de N superior a 40 kg ha⁻¹, contrariam relatos da literatura. A boa nodulação verificada no tratamento N₀I₀ é uma indicação da capacidade de nodulação de estirpes nativas em nodularem o feijão-caupi (RUMJANEK *et al.*, 2005; HARA; OLIVEIRA, 2007; ZHANG *et al.*, 2007). A maior disponibilidade de N deve ter favorecido sua proliferação, ao contrário do que é relatado na literatura, em que a adubação nitrogenada restringe também a nodulação espontânea (SALVAGIOTTI *et al.*, 2008; MELO; ZILLI, 2009).

Tabela 7 - Equações dos componentes da raiz em função das doses de N em plantas de feijão-caupi inoculadas com rizóbio, Boa Vista (RR)

Table 7 - Equations of the components of the root as a function of N doses in cowpea plants inoculated with rhizobium, Boa Vista (RR)

Solo	Equação	R ²	DMET	Variável na DMET	Incremento ¹	Eficiência (%) ²
Massa da raiz (g) por vaso						
LAdx	= 5,79 + 0,085***X - 0,00100***X ²	0,93	42,50	7,57	1,78	31
LVd	= 5,59 + 0,025***X - 0,00031***X ²	0,71	40,32	6,25	0,66	12
PAdx	= 4,16 + 0,024***X - 0,00025***X ²	0,67	48,00	4,74	0,58	14
PVAd	= 3,61 + 0,033***X - 0,00043***X ²	0,72	38,37	6,07	0,48	8
RYve	= 2,64 - 0,01171***X	0,91	-	-	-	-
Número de nódulos por vaso						
LAdx	= 65,79 + 0,640***X - 0,00926***X ²	0,97	34,56	76,85	11,06	17
LVd	= 106,80 - 0,380***X	0,67	-	-	-	-
PAdx	= 69,83 + 0,409***X - 0,00722***X ²	0,85	28,32	75,62	5,79	8
PVAd	= 39,82 + 1,130***X - 0,01148***X ²	0,87	49,22	67,63	27,81	70
RYve	= 61,95 + 0,521**X - 0,00557***X ²	0,99	46,77	74,13	12,18	20
Massa de nódulos (g) por vaso						
LAdx	= 0,44 + 0,0032***X - 0,00004**X ²	0,98	40,00	0,50	0,06	14
LVd	= 0,53 + 0,0047***X - 0,00004***X ²	0,95	67,04	0,84	0,31	59
PAdx	= 0,33 + 0,0050**X - 0,00004**X ²	0,97	62,50	0,49	0,16	49
PVAd	= 0,34 + 0,0100**X - 0,00012**X ²	0,98	41,67	0,55	0,21	62
RYve	= 0,32 + 0,0036**X - 0,00004**X ²	0,99	45	0,40	0,08	25

¹Incremento=variável na DMET-variável na dose 0 kg ha⁻¹ de N₀I₀ em cobertura; ²eficiência (%)={[(variável na DMETx100)/(variável na dose 0 kg ha⁻¹ de N₀I₀ em cobertura)]-100}. DMET: dose de máxima eficiência técnica de N; LAdx: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PAdx: Argissolo Amarelo distrocoeso típico; PVAd: Argissolo Vermelho-amarelo distrófico; RYve: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico Vertissólico.

¹Increment=variable in DMET-variable in 0 kg ha⁻¹ of N₀I₀ dose in coverage; ²efficiency (%)={[(variable in DMETx100)/(variable in 0 kg ha⁻¹ dose of N₀I₀ in coverage)]-100}. DMET: dose of maximal technical efficiency of N; LAdx: dystrophic cohesive Yellow Latosol (Oxisol); LVd: dystrophic Red Latosol (Oxisol); PAdx: dystrophic cohesive Yellow Argisol (Ultisol); PVAd: dystrophic Red-Yellow Argisol (Ultisol); RYve: Eutorphic Vertisol Fluvic Neosol.

Conclusões

Os teores de matéria orgânica e tipo de argila são atributos do solo que podem estar relacionados com a variação de resposta da planta à FBN;

A eficiência da adubação nitrogenada em plantas inoculadas varia com as classes de solos;

A FBN em feijão-caupi é suficiente para prover o N de que a planta necessita para sua produção, respondendo por mais de 80% do incremento de produção.

Agradecimentos

À Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado Roraima, pelo financiamento da pesquisa. Ao Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas de Iniciação Científica. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado.

Literatura científica citada

ALFAIA, S. S. Destino de fertilizantes nitrogenados (^{15}N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.). *Acta Amazônica*, v.27, p.65-72, 1997.

BARBERI, A.; MOREIRA, F. M. S.; FLORENTINO, L. A.; RODRIGUES, M. I. D. Crescimento de *Bradyrhizobium elkanii* estirpe BR 29 em meios de cultivo com diferentes valores de pH inicial. *Ciência e Agrotecnologia*, v.28, n.2, p.397-405. 2004.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: BARBOSA, R. I.; FERREIRA, E. J. G.; CASTELLON, E. G. (Ed.). Homem, ambiente e ecologia no Estado de Roraima. Manaus: INPA, 1997. p.267-293.

BENEDETTI, U. G. **Estudo detalhado dos solos do Campus do Cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima.** 2007. 128 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista.

BRITO, M. de M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. da S. 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 ^{15}N . *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.4, p.895-905, 2009.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA; CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

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

FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Interferência do cálcio e nitrogênio na fixação simbiótica do N por duas variedades de *Phaseolus vulgaris* L. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.3, p.223-227, 1968.

FRANCO, M. C.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C.; TSAI, S. M. Nodulação em cultivares de feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.8, p.1145-1150, 2002.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos.** Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica; Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2005. p.211-228.

FREITAS, A. D. S.; SILVA, A. F.; SAMPAIO, E. V. S. B. Yield and biological nitrogen fixation of cowpea varieties in the semi-arid region of Brazil. *Biomass and Bioenergy*, v.45, p.109-114, 2012.

GUEDES, G.; SOUZA, A. dos S.; ALVES, L. de S. Eficiência agrônômica de inoculantes em feijão-caupi no Município de Pombal - PB. *Revista Verde*, v.5, n.4, p.82-96, 2010.

HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbio oriundos de solos ácidos do município do Rio Preto da Eva, Amazonas. *Revista de Ciências Agrárias*, v.48, p.55-70, 2007.

HUNGRIA, M.; BARRADAS, C. A. A.; WALLSGROVE, R. M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Experimental Botany*, v.42, n.7, p.839-844, 1991.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja.** Londrina, PR: EMBRAPA Soja, 2001.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. Environmental factors affecting N_2 fixation in grain legumes in the tropics, with emphasis on Brasil. *Field Crops Research*, v.65, p.151-164, 2000.

LACERDA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. ANDRADE, M. J. B.; SOARES, A. L. L. Yield and nodulation of cowpea inoculated with selected strains. *Revista Ceres*, v.51, p.67-82, 2004.

MARTINS, L. M.; XAVIER, G. R.; RANGEL, F. W.; RIBEIRO, J. R. A.; NEVES, M. C. P.; MORGADO, L. B.; RUMJANEK, N. G. Contribution of biological nitrogen fixation to cowpea: a strategy for improving grain yield in the semi-arid region of Brazil. *Biology and Fertility of Soil*, v.38, p.333-339, 2003.

MELO, S. R. de; ZILLI, J. E. Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão-caupi recomendadas para o estado de Roraima. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.1177-1183, 2009.

MELO, V. F.; GIANLUPPI, D.; UCHÔA, S. C. P. Características edafológicas dos solos do Estado de Roraima. Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2003. 28 p. (Embrapa Roraima. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 1).

- OLIVEIRA, A. P.; BRUNO, R. L. A.; BRUNO, G. B.; ALVES, E. U.; PEREIRA, E. L. Produção e qualidade de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em função de doses e formas de aplicação do nitrogênio. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.215-221, 2001.
- PACE, P. F.; CRALLE, H. T.; EL-HALAWANY, S. H. M.; COTHREN, J. T.; SENSEMAN, S. A. Drought-induced changes in shoot and root growth of young cotton plants. **The Journal of Cotton Science**, v.3, p.183-187, 1999.
- RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R.; NEVES, M. C. P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. p.281-335.
- SALVAGIOTTI, F.; CASSMAN, K. G.; KENNETH, G.; SPECHT, J. E.; WALTERS, D. T.; WEISS, A. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: a review. **Field Crops Research**, v.108, n.1, p.1-13, 2008.
- SILVA, E. F. L.; ARAÚJO, A. S. F. de; SANTOS, V. B. dos; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. Fixação biológica do N₂ em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.394-402, 2010.
- SOARES, A. L. L.; PEREIRA, A. R.; FERREIRA, P. A. A.; VALE, H. M. M.; LIMA, S.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG). I. Caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.795-802, 2006.
- SOARES, B. L.; FERREIRA, P. A. A.; OLIVEIRA-LONGATTI, S. M.; MARRA, L. M.; RUFINI, M.; ANDRADE, M. J. B.; MOREIRA, F. M. S. Cowpea symbiotic efficiency, pH and aluminum tolerance in nitrogen-fixing bacteria. *Scientia Agricola*, v.71, n.3, p.171-180, 2014.
- TSAI, S. M.; BONETTI, R.; AGBALA, S. M.; ROSSETO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. **Plant Soil**, v.152, p.131-138, 1993.
- WATKIN, E. L. J.; O'HARA, G. W.; GLENN, A. R. Physiological responses to acid stress of an acid-soil tolerant and an acid-soil sensitive strain of *Rhizobium leguminosarum* biovar trifolii. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p.621-624, 2003.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Ontogenia da nodulação em duas cultivares de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.37, n.2, p.561-564, 2007.
- XAVIER, T. F.; ARAÚJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; CAMPOS, F. L. Inoculação e adubação nitrogenada sobre a nodulação e a produtividade de grãos de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p.2037-2041, 2008.
- ZHANG, W. T.; YANG, J. K.; YUAN, T. Y.; ZHOU, J. C. Genetic diversity and phylogeny of indigenous rhizobia from cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, p.201-210, 2007.
- ZILLI, J. E.; SILVA NETO, M. L.; FRANÇA JÚNIOR, I.; PERIN, L.; MELO, A. R. Resposta do feijão-caupi à inoculação com estirpes de *Bradyrhizobium* recomendadas para a soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.35, p.739-742, 2011.
- ZILLI, J. E.; VALICHESKI, R. R.; RUMJANEK, N. G.; SIMÕES-ARAÚJO, J. L.; FREIRE FILHO, F. R.; NEVES, M. C. P. Eficiência simbiótica de estirpes de *Bradyrhizobium* isoladas de solo do Cerrado em caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.811-818, 2006.