

49700

MFN 34962

DIÉRCULES RODRIGUES DOS SANTOS

**FÓSFORO, FUNGO MICORRÍZICO E AZORHIZOBIUM NA
PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIÇÃO DE *Sesbania virgata* (Cav.)
Per. E *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas para obtenção do título de "Doutor".

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Fátima Maria de Souza Moreira

BIBLIOTECA CENTRAL - UFLA



49700

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2000

BIBLIOTECA CENTRAL

N.º CLAS. UFLA 1633.208891

SAU

N.º REGISTRO 49700

DATA 25/08/00

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Santos, Diércules Rodrigues dos

**Fósforo, fungo micorrízico e *Azorhizobium* na produção de fitomassa e
nutrição de *Sesbania virgata* (Cav.) Per e *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.) /
Diércules Rodrigues dos Santos. – Lavras : UFLA, 2000.**

88 p. : il.

Orientador: Fátima Maria de Souza Moreira.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

**1. Leguminosa. 2. Sesbania. 3. Nutrição. 4. Fósforo. 5. Fungo micorrízico. 6.
Azorhizobium. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.**

**CDD-631-46
-633.208891**

DIÉRCULES RODRIGUES DOS SANTOS

**FÓSFORO, FUNGO MICORRÍZICO E *AZORHIZOBIUM* NA
PRODUÇÃO DE FITOMASSA E NUTRIÇÃO DE *Sesbania virgata* (Cav.)
Per. E *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Solos e Nutrição de Plantas para obtenção do título de "Doutor".

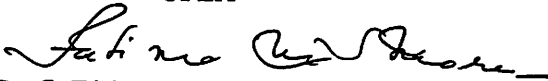
APROVADA em 28 de março de 2000

Prof.: José Oswaldo Siqueira UFLA

Prof.: Antonio E. Furtini Neto UFLA

Prof^a.: Janice G. de Carvalho UFLA

Prof.: Romildo da Silva UFLA


Prof.^a Fátima M. S. Moreira
(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2000

*Aos meus pais Didier e Terezinha, pelo esforço dedicado
a minha formação,*

DEDICO

*À minha esposa Márcia, pelo amor, carinho e companheirismo,
meus filhos Camila e Rodrigo pela paciência, carinho e alegria
que me proporcionam,*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela concessão e guia de minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo (Laboratório de Microbiologia do Solo), pelo acolhimento e oportunidade oferecida para realização desse trabalho.

À Coordenação de Pesquisa e Pós-Graduação da UFPB e Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela oportunidade de realização do curso e pela concessão da bolsa de estudos via PICDT.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal da UFPB, pelo apoio incondicional nesse período de afastamento.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro.

À professora Fátima M. De Souza Moreira pela orientação, apoio e ensinamentos durante o curso.

Ao professor José Oswaldo Siqueira pelos conselhos e ensinamentos.

Aos professores Moacir, Janice, Eduardo Furtini, José Maria, Valdemar Faquin, Nilton Curi pela contribuição na minha formação acadêmica.

Aos amigos Aldo, Eliane, João Batista, Paulo Henrique, Marco Aurélio, Alexandre, Marcos Gonçalves, Vagner, Cláudio, Adão, Ianê, Adriana, Paula, Mateus, Osmar, Isabel Trannin, Valdo, Marcos Carolino, Romilson, pelos bons momentos, em especial ao Reginaldo, Alcivânia e Rogério pelo apoio, dedicação e companheirismo no momento decisivo.

À todos os funcionários do Departamento de Solos, em especial ao Manuel pela boa vontade e dedicação, aos funcionários Jairo Lima e Maria Aparecida F. Barbosa (*in memoriam*).

Ao apoio e amizade das famílias Arriel e Torres, durante a minha estadia em Lavras, MG.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introdução Geral.....	1
2. Referencial Teórico.....	3
2.1 Fósforo, fungos micorrízicos arbusculares e nutrição de plantas.....	3
2.2 Sinergismo em Leguminosas – interação rizóbio-FMA.....	5
2.3 Efeito de P no FMA.....	9
2.4 Fatores que afetam a dupla inoculação FMA-rizóbio.....	12
2.5 O gênero <i>Sesbania</i>	15
2.5.1 Produção de biomassa.....	16
2.5.2 Nodulação caulinar e radicular.....	18
3 Referências bibliográficas.....	21
CAPÍTULO 2: Fósforo, fungo micorrízico e <i>Azorhizóbio</i> no crescimento e nutrição de <i>Sesbania virgata</i> (Cav.) Per. e <i>Sesbania rostrata</i> (Brem. & Oberm.).....	31
Resumo.....	31
Abstract.....	32
1. Introdução.....	33
2. Material e Métodos.....	35
3. Resultados e Discussão.....	38
3.1 Altura, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea de espécies de <i>Sesbania</i>	38
3.2 Colonização radicular.....	43
3.3 Nodulação radicular.....	45
3.4 Nodulação caulinar.....	47

3.5 Teores de macronutrientes nas espécies de <i>Sesbania</i>	48
4. Conclusões.....	51
5. Referências bibliográficas.....	52
CAPÍTULO 3: Interação fósforo, fungo micorrízico e <i>Azorhizobium</i> no crescimento, nodulação radicular e caulinar de <i>Sesbania rostrata</i> (Brem & Oberm.).....	57
Resumo.....	57
Abstract.....	58
1. Introdução.....	59
2. Material e Métodos.....	60
2.1 Aspectos gerais.....	60
2.2 Experimento I.....	61
2.3 Experimento II.....	63
3. Resultados e Discussão.....	64
3.1 Experimento I.....	64
3.1.1 Matéria seca da parte aérea e acúmulo de N e P foliares.....	64
3.1.2 Nodulação radicular e atividade da nitrogenase.....	65
3.1.3 Nodulação caulinar e atividade da nitrogenase.....	66
3.2. Experimento II.....	68
4. Conclusões.....	72
5. Referências bibliográficas.....	73
ANEXOS.....	77

RESUMO

SANTOS, Diércules Rodrigues dos. **Fósforo, fungo micorrízico e *Azorhizobium* na produção de fitomassa e nutrição de *Sesbania virgata* (Cav.) Per. e *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.).** Lavras: UFLA, 2000. 88p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*

A produtividade nos trópicos é limitada principalmente pela baixa fertilidade dos solos. As leguminosas tornam-se importantes nessas áreas pela capacidade de suprirem seus requerimentos nutricionais, especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P), através da dupla simbiose radicular rizóbio-fungo micorrízico arbuscular (FMA). Dentre as leguminosas com potencial para recuperação e manutenção da produtividade, destacam-se as espécies do gênero *Sesbania*. Entretanto, são raros os registros de estudos com as espécies *S. rostrata* e *S. virgata*, ambas noduladas por *Azorhizobium*, relacionando esses aspectos no Brasil. No capítulo 2, consta um experimento conduzido em casa de vegetação, onde se avaliou o efeito de 4 condições de inoculação (*Azorhizobium* (Az), *Glomus etunicatum* (Ge), Az+Ge, um controle sem inoculação) e 5 doses de P (0, 60, 120, 240 e 600 mg dm⁻³) no crescimento e nutrição das espécies de *Sesbania*. Com exceção da colonização radicular por FMA, verificou-se efeito positivo de P nas variáveis estudadas. Os maiores valores de altura, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea das espécies foram obtidos em doses próximas a 500 mg dm⁻³ de P, nos tratamentos com Ge em *S. virgata* e com Az, Ge e Az+Ge, respectivamente, em *S. rostrata*. Os melhores efeitos na nodulação radicular e caulinar foram obtidos em doses próximas a 400 mg dm⁻³ de P, principalmente no tratamento Az+Ge. No capítulo 3, constam dois experimentos conduzidos em casa de vegetação. No experimento I, avaliou-se o efeito de doses de P (0, 15, 60, 120 e 180 mg dm⁻³), FMA (*G. etunicatum*) e *Azorhizobium* no crescimento e nodulação radicular e caulinar de *S. rostrata*. Os maiores valores das variáveis relacionadas ao crescimento, nutrição mineral e nodulação radicular e caulinar foram obtidos entre as doses 120 e 180 mg dm⁻³ de P, em plantas inoculadas com *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*. No experimento II, avaliou-se o efeito de P (60 e 300 mg dm⁻³ de P), ausência e presença de Ge, ausência e presença de 14 mg dm⁻³ de N, com inoculação de *Azorhizobium* em todos os tratamentos. Verificou-se efeito positivo da maior dose de P na produção de matéria seca da parte aérea e efeito negativo na porcentagem de colonização radicular das plantas. Plantas inoculadas com

* Comitê Orientador: Fátima Maria de Souza Moreira - UFLA (Orientadora), José Oswaldo Siqueira - UFLA.

Glomus etunicatum, independentemente da presença de N, apresentaram maiores valores de produção de nódulos radiculares e caulinares, e maior acúmulo de P e micronutrientes Fe, Cu e B.

ABSTRACT

SANTOS, Diércules Rodrigues dos. Phosphorus, Arbuscular mycorrhizal fungus and *Azorhizobium* on dry matter production and nutrition of *Sesbania virgata* (Cav.) Per. and *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.). Lavras: UFLA, 2000. 88p. (Thesis – Doctorate in Soils and Plant Nutrition)*

The productivity in the Tropics is limited mainly by low soil fertility. The leguminous plants become important on these areas for their capacity of meeting their nutritional requirements, specially nitrogen (N) and phosphorus (P), by the double root symbiosis rhizobia-arbuscular mycorrhizal fungus (AMF). Among the leguminous plants with the potential for recuperation and maintenance of productivity, species of the *Sesbania* genus stand out. However, the records of studies on the species *S. rostrata* and *S. virgata*, both nodulated by *Azorhizobium*, relating these aspects in Brazil are rare.. In chapter 2, there is an experiment performed under greenhouse conditions, evaluating the effect of 4 types of inoculation (*Azorhizobium* (Az), *Glomus etunicatum* (Ge), Az+Ge, one control without inoculation) and 5 P levels (0, 60, 120, 240 and 600 mg dm⁻³) on growth and nutrition of the species of *Sesbania*. Excepting root colonization by AMF, a positive effects of P on parameters evaluated was evaluated. The highest values of height, stem diameter and shoot dry matter of species were obtained at doses close to 500 mg dm⁻³ of P in the treatments with Ge on *S. virgata* and with Az, Ge and Az+Ge, respectively on *S. rostrata*. The best effects on root and stem nodulation were obtained doses near to 400 mg dm⁻³ of P, mainly in the Az+Ge treatment. In chapter 3, there are 2 experiments performed under greenhouse conditions. In experiment I, the effect of doses of P (0, 15, 60, 120 and 180 mg dm⁻³), AMF (*G. etunicatum*) and *Azorhizobium* on growth and root and stem nodulation of *S. rostrata* was evaluated.. The highest values of parameters related to growth, mineral nutrition and root and stem nodulation were obtained between 120 and 180 mg dm⁻³ of P, on *Azorhizobium* and *Glomus etunicatum* inoculated plants. In experiment II, the effect of P (60 and 300 mg dm⁻³ de P), absence and presence of Ge, absence and presence of 14 mg dm⁻³ of N, with inoculation of *Azorhizobium* in all treatments. Positive effect of the highest dose of P on shoot dry matter production and negative effect on the percentage of root colonization of plants. Plants inoculated with *Glomus etunicatum*, independently of the presence of N, presented the highest

* Guidance Committee: Fátima Maria de Souza Moreira - UFLA (Major Professor), José Oswaldo Siqueira – UFLA.

values of root and stem nodule production, and greatest accumulation of P and micronutrients (Fe, Cu and B)

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A necessidade de aumento da produção em regiões tropicais, para atender à crescente demanda de alimento é afetada negativamente por fatores socio-econômicos e edafoclimáticos. Uma das principais limitações na maioria das terras cultivadas dos trópicos é a baixa fertilidade dos solos que, em sua maioria, são ácidos e apresentam deficiências acentuadas de nitrogênio (N) e fósforo (P).

Várias pesquisas têm demonstrado que a produtividade das culturas nos solos tropicais poderia ser melhorada, principalmente se utilizadas quantidades relativamente elevadas de fertilizantes fosfatados e nitrogenados. Entretanto, o uso maciço desses insumos, na maioria dos casos, seria dispendioso para o produtor, pois o processo de produção do N e do P consome energia proveniente de combustíveis fósseis, contribuindo para o breve esgotamento das reservas mundiais, e prejuízos ao meio ambiente. Há, assim, necessidade do desenvolvimento de técnicas que permitam manejo dos recursos naturais do solo e uso de espécies vegetais que possam manter a produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção em solos deficientes.

Pesquisas visando obter alternativas ou redução do uso de fertilizantes nitrogenados inorgânicos têm ocorrido não somente impulsionado pelo alto custo da fertilização, mas também com o objetivo de manter a produtividade e sustentabilidade ecológica do solo ao longo do tempo.

A integração de leguminosas arbustivas, pioneiras e eficientes na fixação de nitrogênio em sistemas agroflorestais nos trópicos, pode trazer uma grande contribuição para a reestruturação e manutenção da fertilidade do solo,

melhorias nas propriedades físicas e químicas, e menor degradação do meio ambiente.

Destacam-se dentre as leguminosas com potencial para recuperação e manutenção da produtividade dos solos, as espécies de *Sesbania*, leguminosas que apresentam versatilidade para adaptação a diversas condições edafoclimáticas, crescimento rápido e podem ser empregadas como adubo verde, utilização na recuperação de solos marginais e até mesmo na suplementação de alimentação animal. Além disso, algumas espécies como a *Sesbania rostrata*, originária do oeste da África, e a *Sesbania virgata* do Brasil, são capazes de uma prolífica nodulação radicular, sendo que a *S. rostrata* também nodula no caule, ambas com bactérias do gênero *Azorhizobium*. Isto confere vantagem adicional ao uso dessa leguminosa em relação a outras leguminosas, principalmente quando sob condições edáficas adversas (como: salinidade, inundação e acidez). Entretanto, o sucesso no uso de leguminosas como biofertilizante depende de sua produção, da fixação do N₂, e disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente do P. Sua eficiente absorção depende de atributos do sistema radicular, e em muitos casos, esta absorção pode ser incrementada pela associação com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs).

Assim, são destacados os efeitos benéficos que a tríplice simbiose rizóbio-FMA-leguminosas podem trazer para o crescimento dessas plantas em solos pobres. Entretanto, são raros os registros de estudos com *S. virgata* e *S. rostrata*, relacionando esses aspectos no Brasil.

O presente estudo teve o objetivo de avaliar o crescimento e nutrição da *S. virgata* e da *S. rostrata* sob a presença de fósforo, fungo micorrízico e *Azorhizobium*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fósforo, fungos micorrízicos arbusculares e nutrição de plantas

Em contraste com a importância do P como nutriente mineral de plantas, sua disponibilidade no solo é frequentemente baixa. Aproximadamente 95-99% do P total existente no solo encontram-se na forma insolúvel, sendo indisponível para a absorção vegetal (Hayman, 1983).

O principal mecanismo pelo qual a simbiose micorrízica pode melhorar a capacidade absorptiva do P pelas plantas é resultante de um processo fisiológico, no qual as hifas externas do fungo crescem além da zona de depleção, aumentando a absorção de P e outros nutrientes de baixa solubilidade, resultando no mais destacado benefício atribuído aos fungos micorrízicos à planta hospedeira, que é a sua melhoria nutricional (Cooper, 1984). Quando a disponibilidade desse nutriente no solo é baixa, a associação micorrízica melhora sua absorção e facilita sua translocação para o hospedeiro (Cox et al., 1980).

A maioria das plantas forma, em suas raízes, associações mutualísticas, com fungos do solo da ordem Glomales (Zigomicetos). Os principais benefícios das micorrizas sobre o crescimento das plantas são devidos ao aumento da superfície de absorção e maior exploração do volume do solo pelo sistema radicular das plantas. Isto reflete em maior absorção de nutrientes, principalmente aqueles que se movem no solo por difusão, notadamente o P.

Os efeitos dessa associação nos parâmetros cinéticos de absorção em culturas agrícolas (Karumaratine, Baker e Barker, 1986; Faquin, Malavolta e Muraoka, 1990; Silveira, 1990) são relativamente conhecidos. Embora os resultados sejam ainda discordantes, parece que devido ao aumento da superfície da absorção, o $V_{máx}$ é maior e o C_{min} é menor nas plantas

micorrizadas, conferindo às mesmas maior capacidade de absorção à uma determinada concentração de P na solução.

Contudo, existem grandes diferenças entre as espécies na sua dependência micorrízica para o seu crescimento e absorção de P. As espécies de plantas com sistema radicular pivotante e com poucos pêlos absorventes, como a maioria das arbóreas, são consideradas altamente dependentes do fungo micorrízico para a absorção de nutrientes do solo, estando sua sobrevivência e capacidade produtiva condicionadas à micorrização (Siqueira, 1997), essencial no estabelecimento de comunidades vegetais (Francis e Read, 1994). Assim, a simbiose com FMAs é altamente desejável para o estabelecimento e desenvolvimento dessas espécies vegetais em solos pobres, pois permite redução dos investimentos com fertilizantes (Siqueira, Collozzi Filho e Oliveira, 1989; Siqueira et al., 1998). Esses benefícios às plantas ocorrem também em ambientes estressantes, limitantes ao crescimento da hospedeira (Sylvia e Willians, 1992).

Atualmente são conhecidas apenas cerca de 140 espécies de FMAs, distribuídas nos gêneros *Gigaspora* e *Scutellospora* (Gigasporaceae), *Glomus* e *Sclerocystis* (Glomaceae) e *Acaulospora* e *Entrophospora* (Acaulosporaceae) (Morton e Benny, 1990). As espécies de FMA diferem em sua capacidade associativa e efetiva nas hospedeiras, em função da espécie inoculada (Lopes e Siqueira, 1980). Embora a quantidade de micorrizas seja, a princípio, considerada a mesma em diferentes zonas geográficas, os máximos resultados benéficos estão associados a solos áridos (Varma e Schuepp, 1995). A variabilidade dos diferentes fungos de ocorrência natural é alta, tanto na infectividade, quanto na efetividade simbiótica (Mosse, Warner e Clarke,

1982; Siqueira e Franco, 1988), para diferentes combinações fungo-planta e condições ambientais (Abbott e Robson, 1985).

A exploração em larga escala desses fungos passa necessariamente pela seleção de espécies e ou isolados efetivos e compatíveis com a cultura e com condições edafoclimáticas do ecossistema que se pretende explorar. Como os FMAs são mais influenciados por variações ambientais do que a planta hospedeira (Mosse, Powell e Haiman, 1975; Siqueira e Collozzi Filho, 1986), a avaliação simbiótica de fungos nativos isolados no próprio ecossistema em que se pretende explorar a simbiose é um procedimento que deve ser adotado para obtenção de fungos ou populações mistas com elevada efetividade (Siqueira e Franco, 1988).

Assim, MAs têm sido extensivamente estudadas com relação à aquisição de nutrientes, notadamente em relação àqueles que se movem por difusão. Vários trabalhos têm demonstrado a sua importância na melhoria nutricional, especialmente em P, em várias espécies vegetais (Siqueira e Paula, 1986; Paula e Siqueira, 1987; Siqueira e Franco, 1988; Monteiro, 1990; Siqueira, 1994; Saggin-Júnior, Siqueira e Guimarães, 1994; Saggin-Júnior e Siqueira, 1996).

2.2 Sinergismo em leguminosas - interação rizóbio-FMA

Atualmente o efeito das micorrizas em leguminosas arbóreas tem recebido atenção especial em vários estudos. A fixação biológica do N₂ (FBN) por bactérias gram-negativas (*Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* e *Azorhizobium*), genericamente denominadas rizóbio, em simbiose com plantas da família das Leguminosae apresentam alto requerimento de P. Assim, a concentração de P nos nódulos geralmente é três vezes maior do que nas raízes jovens, e compostos ricos em P fornecem energia suficiente para o processo de FBN.

Em decorrência da baixa disponibilidade de P no solo, além da morfologia do sistema radicular das leguminosas, geralmente pouco ramificado, a FBN é frequentemente restringida pela carência de P. Entretanto, as leguminosas podem, simultaneamente, interagir mutualisticamente com rizóbio, e fixando N₂ em nódulos radiculares e fungos micorrízicos arbusculares (família Endogonaceae), que podem aumentar a absorção de nutrientes de plantas, principalmente de P (Smith, 1980; Allan e Allen, 1981), apresentando na maioria das vezes, alta dependência micorrízica.

Cluett e Boucher (1983) resumiram resultados a partir de seu estudo e de 20 trabalhos subsequentes, em diversas leguminosas de uso agrícola, publicados entre 1977 e 1981. Em dezesseis dos 20 estudos, a inoculação micorrízica incrementou significativamente a nodulação e FBN. A inoculação micorrízica diminuiu a nodulação em um estudo, e o benefício não foi verificado em três estudos restantes. Os autores concluíram, também, que o efeito micorrízico na produção de matéria seca foi mediado pela melhoria na nutrição da planta hospedeira.

Nos últimos 30 anos, várias pesquisas relacionadas à dupla inoculação têm demonstrado benefícios para espécies arbóreas (Daft e El-Giahmi, 1975; Habte, 1987; Michelsen e Rosendahl, 1990) e arbustivas (Rahmam e Parson, 1997), tanto em relação a aumento do crescimento inicial de mudas, como em aumentos significativos na nodulação, fixação do N₂ e acúmulo de nutrientes, notadamente N e P.

Em leguminosas, as micorrizas arbusculares estimulam a nodulação por rizóbio devido a uma maior absorção de fósforo, promovendo maior crescimento da planta hospedeira.

Manjunath, Bagyaraj e Golapagowa (1984), avaliando o efeito do P em solos com baixa disponibilidade desse nutriente em leucena (*Leucaena leucocephala*), observaram que a presença de *Glomus fasciculatum*,

isoladamente, promoveu aumento da nodulação induzida por rizóbio nativo. O mesmo estímulo também foi observado em presença apenas do rizóbio e na colonização de raízes por FMAs nativos. Quando a leucena foi duplamente inoculada, a nodulação, colonização micorrízica, peso de matéria seca e conteúdo de N e P foram superiores a inoculação de ambos isoladamente. Resultados positivos da dupla inoculação em relação à inoculação simples, também foram obtidos para a produção de matéria seca, com aumentos do conteúdo de N e P na parte aérea da planta, nodulação e colonização micorrízica em mudas de acácia (*Acacia auriculiformis*) (Chang, Hu e Cao, 1986); e em leucena (*L. leucocephala*) (Costa e Paulino, 1990).

Segundo Michelsen e Rosendhal (1990), a nodulação com acácia (*Acacia nilotica*) e leucena (*L. leucocephala*), responde de maneira diversa a dupla inoculação, com efeito apenas na primeira, e indicando a existência de sinergismo e respostas diferenciadas em função dos simbiontes.

Em um experimento de campo em Karnataka, Índia, com caupi (*Vigna unguiculata* cv. C-152), *Rhizobium*, *Glomus fasciculatum* e aplicação de 0, 50 ou 100% do N e P recomendados (25 kg N e 50 kg P ha⁻¹), observou-se que número e massa de nódulos foi mais altos com a dupla inoculação e 50% de N e P. O rendimento de grãos mostrou tendência semelhante, enquanto o conteúdo de N e P foi maior com a dupla inoculação nas doses de N e P recomendadas. Respostas similares foram observadas por Dhingra et al. (1994), para a lentilha (*Lens esculenta* L.), inoculada com *R. leguminosarum* e *G. etunicatum* e aplicação de P (60 kg P₂O₅ ha⁻¹). Kumutha e Santhanakrishnam (1994) estudaram o efeito da dupla inoculação *Bradyrhizobium japonicum* e *Glomus fasciculatum* em soja (*Glycine max*) cv. Co.1, avaliados em vasos, e verificaram o dobro da fixação do N₂ em relação à inoculação isolada do rizóbio.

Faria et al. (1995) observaram que a nodulação em *Albizia lebbbeck* foi igualmente aumentada pela aplicação de fósforo e inoculação com FMAs, e que tanto a inoculação com rizóbio q

uanto com *Glomus etunicatum* promoveram crescimento e fornecimento de N e P. A inoculação com rizóbio e FMAs promoveu, em mudas de *Acacia mangium*, crescimento satisfatório quando P foi fornecido, no entanto, a inoculação com rizóbio foi menos eficiente que a adubação nitrogenada em termos de crescimento e acúmulo de N na parte aérea. Evidenciou-se, portanto, a necessidade de aplicação de pequenas doses de fertilizantes contendo estes nutrientes e inoculação com rizóbio eficiente e FMAs para o crescimento inicial pleno das mudas (Faria et al., 1996).

Resposta à simples e dupla inoculação com FMAs (*G. fasciculatum*) e uma estirpe de *Rhizobium* tolerante à salinidade foi objeto de estudo em *S. grandiflora* cultivada em vaso com solo arenoso, no Oeste de Bengala, Índia. Os resultados, após 120 dias, mostraram que tanto a simples como a dupla inoculação promoveram aumentos significativos no peso das raízes e produção de matéria seca da parte aérea em relação às plantas não inoculadas. As diferenças entre a simples inoculação de *Rhizobium* ou de FMA não foram significativas, entretanto, a dupla inoculação apresentou aumento significativo na produção e nodulação (Sengupta e Chaudhuri, 1995) em relação à inoculação simples.

As associações micorrízicas, juntamente com sistema simbióticos fixadores de nitrogênio, representam importantes mecanismos que habilitam as leguminosas a mobilizar e reutilizar fontes restritas de fósforo e nitrogênio, em solos de baixa fertilidade, em ecossistemas degradados (Siqueira, 1997). O manejo dos fatores que beneficiam a dupla inoculação FMA-rizóbio é de vital importância quando se pretende obter o estabelecimento de leguminosas e os

benefícios promovidos pelas mesmas, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, em áreas de solos pobres.

2.3 Efeito do P no FMA

As micorrizas são influenciadas por fatores inerentes à planta, ao fungo e ao ambiente. Várias práticas podem afetar o potencial de inóculo no solo tais como rotação de cultura, erosão, preparo do solo, fogo, uso de pesticidas, fertilizantes, calagem, monocultura, pastejo intensivo (Johnson e Pflieger, 1992). Estas atuam sobre os propágulos ou nas diferentes fases da simbiose, exercendo grande influência sobre a formação, funcionamento e relações ecológicas dessas associações (Siqueira, 1997).

A micorrização geralmente é inibida em condições de elevada fertilidade. Dentre os macronutrientes, o N e o P são os que exercem efeitos depressivos mais acentuados, sendo esses mais documentados no estabelecimento e funcionamento da simbiose e na distribuição e composição das espécies fúngicas. Esses nutrientes não exercem efeitos fungistáticos sobre os propágulos do fungo na rizosfera, quando em concentrações próximas a ótima requerida pela planta hospedeira. A capacidade dos FMAs em absorver, translocar e transferir o fósforo para a planta está relacionada à efetividade das micorrizas e ao nível de fósforo no solo (Menge, Johnson e Platt, 1978).

Vários estudos relatam que alta disponibilidade do P no solo, promove restrição à infecção micorrízica e redução da porcentagem de raízes colonizadas (Thompson, Robson e Abbott, 1986; Siqueira, Collozzi Filho e Oliveira, 1989; Amijee, Stribkey e Tinker, 1990). Esse fato vem sendo atribuído a uma possível redução de metabólitos fúngicos, carboidratos solúveis, compostos não nitrogenados (Same, Robson e Abbott, 1983), e outros, pela presença de exudatos radiculares (Thompson, Robson e Abbott, 1986). Segundo Siqueira, Nair e Hammerschimididi (1991), os efeitos do P sobre as plantas são indiretos,

de modo que o aumento na disponibilidade do nutriente no solo promove maior absorção e concentração na parte aérea, onde atua em processos fisiológicos e ou metabólicos relacionados à fotossíntese (crescimento, partição e distribuição de fotoassimilados na planta) que atuam no estabelecimento e funcionamento da associação como um mecanismo auto-regulador. Esse mecanismo difere nos diferentes tipos de micorrizas, e até diferentes sistemas fungo-planta.

A dependência micorrízica, que define o grau de micotrofismo existente entre planta e fungo, varia de espécie para espécie e geralmente diminui com o aumento nos níveis de P disponível (Habte e Manjunath, 1991). Espécies arbóreas tropicais geralmente apresentam elevada dependência micorrízica, como leucena (*L. leucocephala*) (Taufiq e Habte, 1985), acácias (*A. auriculiformis*) (Aggangan et al., 1992) e *A. sp.* (Sankaran, 1992), evidenciando o benefício da inoculação com FMAs, que propicia aumentos significativos no crescimento inicial das mudas, biomassa da parte aérea, colonização micorrízica e conteúdo de P total na planta, quando em solos deficientes nesse nutriente.

Amijee, Stribkey e Tinker (1990) mostraram que na concentração de P do solo em que há a redução na taxa de infecção micorrízica, a concentração de carboidratos é elevada. Eles observaram, ainda, um elevado número de pontos de infecção abortados na raiz e sugeriram que elevadas concentrações de P no solo reduzem a infecção micorrízica pela mudança na anatomia radicular que se tornaria mais resistente à penetração dos fungos.

A elevação da disponibilidade de P no solo pode promover efeitos diferenciados entre as espécies de fungos. Se esta for muito reduzida, pode favorecer o aparecimento de distúrbios nutricionais e/ou doenças do sistema radicular, aumentando o requerimento de nutrientes pelas culturas, reduzindo sua tolerância ao estresse hídrico, comprometendo sua sobrevivência e produtividade (Johnson e Pflieger, 1992).

A disponibilidade de P pode determinar o custo metabólico da simbiose, a natureza da relação simbiótica e a magnitude dos benefícios da micorrização (Bethlenfalvay e Yoder, 1981; Amijee Stribkey e Tinker, 1989; Siqueira e Saggin Júnior, 1995). As concentrações de fósforo no solo acima do requerido para o crescimento máximo da planta podem provocar efeitos adversos nos FMAs, diminuindo a colonização micorrízica e a esporulação (Siqueira, Hubbell e Valle, 1984; Thonmpson, Robson e Abbott, 1991). Segundo Siqueira e Colozzi-Filho (1986), teores de P acima de 50 mg dm^{-3} de P extraível no solo (Mehlich-1), em café (*Coffea arabica* L.), sob condições controladas e a campo, reduzem rapidamente os benefícios da micorrização, indicando a existência de um nível de P no solo, acima do qual não há mais benefício para a planta. No entanto, algumas espécies de FMAs podem também se estabelecer de maneira efetiva em condições de elevada disponibilidade de fósforo, dependendo da planta hospedeira (Koide, 1991).

A importância das micorrizas para o estabelecimento de espécies florestais nativas do Brasil tem despertado, recentemente, grande interesse. Estudos conduzidos por Carneiro et al. (1996) avaliaram a resposta a P e inoculação com fungos micorrízicos *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* em 31 espécies florestais, sendo 25 nativas e seis exóticas, e verificaram que, das espécies testadas, cinco (16%) não apresentaram sinais de colonização micorrízica e apenas três (9,6%) não responderam à adição conjunta de P e inoculação com FMAs. Os autores verificaram, também, que a nodulação das leguminosas foi máxima para a interação fósforo-micorriza, e no tratamento controle as plantas não nodularam. De maneira geral, entre as espécies avaliadas, a produção de raízes no tratamento controle foi inferior à dos demais. Estes resultados ilustram a importância das micorrizas e do suprimento adequado de P para o estabelecimento destas espécies, que teriam seu

crescimento muito limitado e sua sobrevivência comprometida em solos desprovidos de endófitos efetivos.

Siqueira et al. (1998) avaliaram o micotrofismo de 28 espécies arbóreas pertencentes a diferentes grupos sucessionais, a maioria representante do Sudeste brasileiro, sendo cinco pioneiras, oito secundárias iniciais, oito tardias e sete em clímax. Esses autores verificaram que as espécies pioneiras foram mais responsivas à inoculação com FMAs do que as em clímax na fase de mudas. Neste experimento, as plantas micorrizadas e adubadas com fósforo acumularam, em média, 40% mais matéria seca na parte aérea do que as apenas micorrizadas, sendo estas respostas homólogas entre as espécies do mesmo grupo sucessional, demonstrando que apresentam um mesmo padrão de resposta à adubação com P. Entretanto, quando se compararam plantas micorrizadas e adubadas com as somente adubadas, foram encontrados valores da ordem de 66, 31 e 11% para espécies pioneiras, secundárias e clímax, respectivamente. Essa grande diferença entre grupos sucessionais sugere que a micorriza é um importante fator ecológico para o crescimento inicial e estabelecimento dessas espécies.

2.4 Fatores que afetam a dupla inoculação rizóbio-FMA

Vários fatores podem limitar a fixação de N_2 nas leguminosas (baixa luminosidade, temperatura elevada, umidade, elevada acidez, baixo teor de P, de K, micronutrientes, excessos de N, uso de pesticidas entre outros). As variações dos fatores ambientais como temperatura e umidade, aeração e pH e dos fatores biológicos são de grande importância para a sobrevivência e persistência do rizóbio no solo. Assim, as variações em quaisquer desses fatores podem interferir direta ou indiretamente sobre o desenvolvimento dos organismos e afetar a diversidade e atividade dos microrganismos diazotróficos no solo. A

deficiência de P é um importante fator limitante para a fixação biológica do N₂ (FBN) que tem alto requerimento nesse nutriente.

O sistema radicular das leguminosas, por sua geometria, é mais restrito do que o das gramíneas, tornando-as mais dependentes da adubação fosfatada e dos fungos micorrízicos, que podem aumentar sua capacidade de absorver P do solo.

Em experimento de campo na estação das chuvas de 1989/90 com amendoim (*Arachis hypogea* L.) cv. LG-19 inoculado com FMA (*Glomus fasciculatum*) e *Rhizobium*, comprovou-se que a dupla inoculação aumentou o comprimento e peso de raiz, produção de biomassa, nodulação, FBN, acúmulo de P e rendimento de grãos (Mane, Haud e Kohide, 1993). O aumento na massa de nódulo devido a inoculação de FMA a 0,4 mg P L⁻¹ sugere que fatores não relacionados a nutrição da planta em P possam estar envolvidos. Os autores sugerem que a falta resposta ao FMA em níveis mais altos de P (0,8 mg P L⁻¹), apesar da colonização com FMA comparável à observada em níveis de P mais baixos (0,4 mg L⁻¹), ratificam esta hipótese.

Em 1989-91, durante o inverno em Punjab, Índia, lentilhas inoculadas ou não com *R. leguminosarum* e ou *G. fasciculatum* cv LL-56 foram semeadas antes da aplicação de 0-60 kg P₂O₅ ha⁻¹. Os rendimentos de grãos não diferiram significativamente entre tratamentos de inoculação ou entre tratamentos de P em dois anos, mas variaram significativamente quando se empregaram 40 kg P₂O₅ apenas no primeiro ano, quando houve uma interação significativa entre inoculação e P (Dhingra et al., 1994), indicando redução das respostas à dupla inoculação em anos sucessivos, provavelmente pelo estabelecimento dos simbiontes no ambiente.

Resposta de trevo (*Trifolium repens*) para inoculação com FMA, *Rhizobium* (R), FMA + *Rhizobium* (FMA+R) e o efeito de P (6 a 117 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para experimento com vaso e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a campo) foram avaliadas

(Lin et al., 1993). Infecção micorrizica (48,75% aos 80 dias), número de nódulos no experimento de campo, peso de folhas e raízes (0,49 e 0,12 g planta⁻¹ a 240 dias no experimento de campo), teor de P (aumentos de 4,4-4,7 vezes) e N (aumentos de 10-13 vezes), e a recuperação de P em *T. repens* foram mais elevadas em plantas inoculadas com FMA+R, sendo as resposta à inoculação expressivas com 60 kg P₂O₅ha⁻¹ na forma de superfosfato.

Em um estudo para se determinar os mecanismos que mediam a eficiência da dupla inoculação, Olsen e Habte (1995) estudaram a interação de FMA (*Glomus agragatum*) em solo fumigado. As concentrações iniciais do P na solução do solo foram estabelecidas em 0,06; 0,2; 0,4 e 0,8 mg de P L⁻¹. A 0,06 e 0,2 mg de P L⁻¹, a inoculação com FMA aumentou significativamente a concentração de P na planta, assim como o número e peso de nódulos. A presença de FMA também aumentou o peso de nódulos e a concentração de P a 0,4 mg de P L⁻¹, mas não influenciou significativamente outras variáveis. Os resultados indicaram que os aumentos na nodulação estão associados com a inoculação de FMA, em concentrações de P abaixo de 0,4 mg L⁻¹.

Portanto, para maximização dos benefícios das MAs são recomendadas práticas de manejo do solo como a redução no uso de fertilizantes, principalmente nitrogenados e fosfatados, além de outros citados por Siqueira (1997) como fungicidas, manutenção da cobertura vegetal e conservação do solo, rotação e consorciação com espécies formadoras de micorrizas, melhoria das condições edáficas através da calagem e adubação orgânica, adoção de cultivo mínimo e o emprego da inoculação quando requerida.

Os requerimentos nutricionais da planta hospedeira para o seu crescimento e processo de FBN têm sido relativamente bem estudados.

A influência do P na FBN é citada em um considerável número de trabalhos, mas os mecanismos envolvidos ainda carecem de mais estudos. Robson, O'Hara e Abbott (1981) observaram que o N-combinado aumentou o

crescimento de trevo (*Trifolium subterraneo* L.) devido à presença do P. Os autores concluíram que o P aumentou a FBN na planta, estimulando a sua taxa de crescimento pelo efeito específico exercido na sobrevivência e desenvolvimento do rizóbio ou na formação e funcionalidade dos nódulos. Estudos com estilosantes (*Stilosanthes humilis* H.B.K.), soja (*Glycine max* L.) e ervilha (*Pisum sativum* L.) têm sugerido efeito mais específico do P na iniciação, crescimento e desenvolvimento e função dos nódulos (Bethlenfalvay e Yoder, 1981; Cassman, Whitney e Stckger, 1981; Gates e Muller, 1979). Israel (1987) observou que a presença de P promoveu aumento na taxa de iniciação, crescimento e funcionalidade dos nódulos com resposta no desenvolvimento da planta hospedeira.

As conclusões baseadas na maioria das observações relatam que o aumento no suprimento de P em plantas dependentes da FBN tem origem apenas no incremento do N fixado, induzido pela maior nodulação (número e massa de nódulos), maior taxa de crescimento da planta hospedeira e maior atividade da nitrogenase específica dos nódulos.

2.5 O gênero *Sesbania*

As leguminosas da família Papilionoideae do gênero *Sesbania*, compreendem cerca de 70 espécies, amplamente distribuídas em regiões tropicais e subtropicais (Allan e Allen, 1981). A maioria das espécies é anual ou bianual, algumas são arbustos semiperenes de estações curtas, e poucas espécies são perenes. Todas são potencialmente úteis para promover melhorias na qualidade do solo. Sua capacidade de fixar N₂ permite seu crescimento rápido em solos deficientes de N, favorecendo sua utilização como adubo verde (Rinaldo, Dreyfus e Dommergues, 1988),

cobertura do solo e em sistemas de produção agroflorestais e florestais (Ndoye, Dreyfus e Becker, 1989).

A *Sesbania virgata* (Cav.) Per. é uma espécie arbustiva, pioneira, de crescimento rápido, semiperene, de ocorrência generalizada no Sudeste do Brasil (Monteiro, 1994), e pode fixar o N₂ em nódulos radiculares induzidos por *Azorhizobium johannense* (Moreira et al., 2000). Em estudo do crescimento e nodulação em treze espécies de leguminosas arbustivas/arbóreas no Brasil, Veasey et al. (1997) não observaram nodulação por rizóbio nativos na *S. virgata*, indicando especificidade da hospedeira para com o rizóbio. A espécie apresenta plasticidade morfo-anatomica que permitem sua adaptação a condições edáficas redutoras (Davanso-Fabro et al., 1998).

A *Sesbania rostrata* Brem. & Oberm., leguminosa arbustiva, nativa da oeste da África, vem sendo bastante estudada como adubo verde em pré-cultivo de cereais, em vários países da África e da Ásia, por apresentar prolífica nodulação no caule por *Azorhizobium caulinodans*, além das raízes (Alazard and Duhoux, 1987; Rinaudo, Dreyfus e Dommergues, 1988; Dreyfus, Garcia e Gillis, 1988), capacidade para fixar grandes quantidades de N₂ em apenas 45-56 dias (Becker, Ladha e Ottow, 1990; Pareek, Ladha e Watanabe, 1990) e rápido crescimento.

2.5.1 Produção de biomassa

S. rostrata pode produzir até 8,5 t ha⁻¹ de biomassa, acumulando até 252 kg ha⁻¹ de N (Tiwari et al., 1995). Por isso, ela vem sendo objeto de estudos em diversas áreas de conhecimento. Vários estudos relacionados ao seu aproveitamento como adubo relatam, com frequência, acúmulo de nitrogênio a níveis que oscilam entre 50-150 kg ha⁻¹ em 45-60 dias, com 80 - 90% deste nutriente proveniente da fixação do N₂ (Ladha, Watanabe e Saono, 1988; Becker et al., 1991; Bhuiyan et al., 1996; Ndoye, Dreyfus e Becker, 1996).

A produção de biomassa da *S. virgata*, avaliada em experimento de campo, é comparável a *Cajanus cajan*, *Desmanthus* sp., *Desmodium descoram*, *Desmodium distortum*, *Desmodium leiocarpum*, *Desmodium* sp., *Leucaena diversifolia*, *Leucaena leucocephala*, *Sesbania punicea*, *Sesbania sesban* var. *bicolor* (Veasey et al., 1995), sendo por isso, potencialmente promissora para uso nos trópicos.

O alto desempenho das *Sesbanias* como melhoradoras das condições físicas, químicas e biológicas do solo é objeto de vários estudos (Ilyas, Muller e Qureshi, 1993; Alvarez et al., 1996; Bhattacharya e Mandal, 1996; Alam, Magid e Islam, 1997). A incorporação de *S. rostrata* na presença de gesso implica no efetivo controle da saturação de sódio, sendo que a remoção do mesmo pela sua incorporação foi similar à adição de 12,5 e 24,0 t ha⁻¹ de gesso na ausência do adubo verde. A imobilização de Ca pela incorporação da *S. rostrata* foi equivalente a 12,5 t de gesso ha⁻¹ (Hargopal-Singh, Bajva e Sing, 1994).

Como alternativa para fertilizantes nitrogenados inorgânicos, objetivando aumento da produção de cereais, notadamente do arroz e do trigo, o uso de *Sesbania* tem merecido destaque em vários estudos. Quando incorporadas, isoladamente ou combinados com uréia em quantidades que oscilam entre 50-150 kg ha⁻¹, em condições aeróbicas, e 307 kg de N ha⁻¹, em condições anaeróbicas (Patel, Sidhu e Beri, 1996), promovem aumento de produção e uma economia de até 60% no uso do N-inorgânico (Tiwari et al., 1995; Marapatra & Sharma, 1996). Os efeitos residuais de sua incorporação são citados como promotores de aumentos nas produções da cana-de-açúcar (*Saccarum officinarum*) (Alam, Magid e Islam, 1997), arroz (*Oriza sativa*) e trigo (*Triticum aestivum*) (Tiwari et al., 1995; Budhar e Palaniappan, 1996), e *Cucurbita moschata* (Garcia et al., 1996), dentre outras. Segundo Moreno, Leyva e Domini (1995), o uso da *S. rostrata*, em latossolo, como adubo verde contribui com 140,4 kg de N; 15,3 kg de P e 133,3 kg de K por hectare para as

culturas subsequentes. Uddin, Bokhtiar e Islam (1996) avaliaram, em campo, o uso de *Crotalaria juncea*, *Sesbania rostrata*, *S. aculeata* e *Indigofera tinctoria* para cana-de-açúcar e concluíram que *C. juncea* foi a mais indicada para uso na cultura devido ao seu rápido crescimento, contribuindo com 52 kg N ha⁻¹ contra 42 kg ha⁻¹ da *S. rostrata*. De forma geral, o incremento na produção da cana situou-se entre 7-25% com adubação verde, contra 21-48% da adubação inorgânica (50-200 kg de N ha⁻¹), e os adubos verdes aumentaram significativamente o C-orgânico, N-total, P e S disponíveis e K trocável no solo. Respostas das contribuições, resultantes da incorporação de resíduos de *S. rostrata* e *Aeschynomene afraspera* no aumento das concentrações de P, K, Fe e Mn na solução do solo, também foram citadas por Medhi e Dedatta (1997).

2.5.2 Nodulação caulinar e radicular

A capacidade da *S. rostrata* nodular no caule pode promover oportunidade adicional para a fixação do N₂ em solos sob condições estressantes (Ladha, Watanabe e Saono, 1988). Tomekpe, Dreyfus e Holsters, (1996), estudando a natureza competitiva da nodulação de *A. caulinodans* nos sítios de infecção localizados no caule de *S. rostrata*, avaliaram os microrganismos *Azorhizobium caulinodans* (ORS571) e *Sinorhizobium teranga* (ORS51 e ORS52), simbiontes da mesma planta hospedeira. O *Sinorhizobium*, embora freqüentemente presente em nódulos de raiz, foi também encontrado em nódulos do caule, porém em menor frequência. Segundo os mesmos autores, o fato se deve a abundante presença de *Azorhizobium* na superfície da folha e no caule da planta hospedeira. Outros fatores plausíveis que determinam o maior especificidade do *Azorhizobium* no caule foram estudados. Em condições experimentais, nas quais raízes não são inoculadas, todas as estirpes nodularam muito bem. Porém, estirpes de *Sinorhizobium* ORS51 e de ORS52 são muito

mais sensíveis que a de *Azorhizobium* ORS571 à supressão de nodulação do caule através de inoculação prévia da raiz.

Boivin et al. (1997), avaliando as propriedades simbióticas formadoras de nódulos caulinares *Azorhizobium* sp., *Azorhizobium caulinodans* e as recentemente descritas *Sinorhizobium saheli* e *Sinorhizobium teranga* bv. *sesbaniae*, em diferentes espécies de *Sesbania*, mostraram que estirpes *S. saheli* e *S. teranga* bv. *sesbaniae* nodulam efetivamente o caule de *Sesbania rostrata*. Porém, *Azorhizobium* e *Sinorhizobium* exibem clara diferença em outros aspectos simbióticos. *Azorhizobium*, *S. teranga* bv. *sesbaniae* e *S. saheli* não induzem nodulação caulinar em plantas inoculadas previamente nas raízes. Para *S. rostrata* a nodulação radicular por *Sinorhizobium* aparentemente foi mais sensível que por *Azorhizobium*, na presença de N combinado. *S. saheli* e *S. teranga* bv. *sesbaniae* foram efetivos simbiotes em todas espécies de *Sesbania* avaliadas, enquanto a estirpe de *Azorhizobium* apenas fixou N₂ em simbiose com *S. rostrata*.

Becker e Ladha (1997) avaliaram doze leguminosas tolerantes à inundação, promissoras para adaptação (acumulação de N e fixação biológica N₂) em solos inundados. Leguminosas do gênero *Sesbania* e *Aeschynomene* foram cultivadas em áreas para cultivo de arroz (Entisol arenoso, Inceptisol P-deficiente, Ultisol ácido, e Mollisol salino) durante dias curtos (11,7 h) e dias longos (12,3 h) e obtiveram uma grande variabilidade na acumulação de N entre espécie de leguminosas e diferentes ambientes, a uma amplitude de <1 a >70 mg N planta⁻¹. O nitrogênio derivado da atmosfera (Ndfa) respondeu, em média, por 82% de acumulação de N total. A *Sesbania virgata* foi pouco afetada pelas condições desfavoráveis, embora o Ndfa, tenha sido o mais baixo entre as espécies avaliadas (<60%). A origem da formação de nódulo não acarretou vantagem significativa às leguminosas crescendo sob condições adversas do solo, porém, em solos inundados, a fixação de N₂ em leguminosas que nodulam

no caule foi menos reduzida do que nas espécies que nodulam somente nas raízes. Para a maioria das espécies, o acúmulo de N foi drasticamente reduzido sob condições de dias curtos, sendo que *Aeschynomene afraspera* e *S. speciosa* foram menos afetadas pelo fotoperíodo. A considerável variabilidade genética no germoplasma disponível permite a seleção de leguminosas potencialmente apropriadas à maioria das condições estudadas, assim como para maior acúmulo de N dos adubos verdes.

McDonagh et al. (1995), avaliando o potencial para utilização como adubo verde da *S. rostrata* em campo, em plantio simples, observaram que a aplicação de P e K contribuiu para que houvesse fixação de 65-85% do seu N, acumulando de 59-102 kg ha⁻¹ em 90 dias, e a mineralização do N nos resíduos declinou em 80% apenas nos vinte primeiros dias, enquanto a do C declinou apenas 40% no mesmo período. Já o caupi (*Vigna unguiculata*), nas mesmas condições, apresentou uma redução da mineralização do N e C em 50-65% no mesmo período, após a incorporação. Resultados similares também foram obtidos por Tiwari et al. (1995) e Ventura e Ladha,(1997), demonstrando a rápida liberação de nutrientes dos resíduos da *S. rostrata*, favorecendo os cultivos subsequentes.

Na maioria dos casos, fatores nutricionais são responsáveis pela larga variação na quantidade de N₂ fixado pela estirpe de rizóbio em associação simbiótica com várias espécies de leguminosas hospedeiras. O desbalanço de nutrientes, especialmente N, P e K, tem sido considerado um dos principais fatores limitantes ao pleno crescimento e fixação do N₂ desse promissor adubo verde. É necessária a obtenção de doses equilibradas de fertilizantes que estejam em consonância com o potencial de benefício máximo da simbiose.

Com relação a plantas hospedeiras, observações das respostas de espécies florestais pioneiras (*Lithraea molleoides*, *Schinus terebinthifolius*, *Piptadenia gonoacantha*, *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Sesbania virgata*) e clímax

(*Hymenaea courbaril*, *Calophyllum brasiliensis*, *Tabebuia serratifolia*, *Myroxylon peruiferum*), ao suprimento de P, mostraram que as pioneiras e, dentre elas, a *S. virgata*, foram as mais responsáveis a doses de P fornecidas, indicando maior necessidade de suprimento do nutriente para o adequado crescimento dessas espécies (Resende et al., 1999).

Embora os efeitos do P na simbiose rizóbio-FMA-leguminosa tenham sido objeto de alguns estudos, mesmo assim, de maneira geral, ainda são poucas as pesquisas envolvendo a capacidade de nodulação e fixação do nitrogênio, em plantas micorrizadas, e as implicações nutricionais das plantas hospedeiras, especialmente com a *S. virgata* e *S. rostrata*, consideradas regeneradoras de solos degradados. Por outro lado, são inexistentes os estudos que quantifiquem os níveis de P ótimos para o bom desempenho da tripla simbiose o melhor entendimento das exigências nutricionais, notadamente em N e P, requeridas pela simbiose tripartite leguminosa-FMA-rizóbio, podem se tornar um instrumento de importância vital no uso de estratégias que visem a recuperação e manejo de áreas em que os solos apresentam baixa fertilidade e processo de degradação.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. The effect of soil pH on the formatin of VA mycorrhizas by species of *Glomus*. *Australian Journal of Soil Reserch*. Melboune, v. 23, p. 253-261, 1985.
- AGGANGAN, N.S.; LORILLA, E.B.; ZARATE, J.C.; CRUZ, R.E. de la. Screening for effectiveness of three VAM fungi or four provenances de *Acacia auriculiformes*. In: THE INTERNATIONAL OF MANEGEMENT OF MYCORRHIZAS IN AGRICULTURE, HORTICULTURE AND FORESTRY, 1992, Perth, Anais ... Perth, Australia, 1992. p. 103.

- ALAM, F.; MAJID, M.A.; ISLAM, M.J. Improvement of soil and substitution of nitrogen with green-manure crops on follow-up sugarcane (*Saccharum officinarum*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, New Delhi v. 67, n.10, p.455-458, Oct. 1997.
- ALAZARA, D.; DUHOUX, E. Nitrogen-fixing stem nodules on *Aeschynomene afraspera*. *Biology and Fertility of Soil*, Heidelberg, v. 4 n.1, p.61-66, 1987.
- ALLAN, O.N.; ALLEN, E.K. *The leguminosae*. Madison: University of Wisconsin, 1981. 821 p.
- ALVAREZ, M.; GARCIA, M.; TRETO, E.; FERNANDEZ, L. Effect of different types of intercropped legumes on the yield of *Xanthosoma* sp. *Cultivos Tropicales*, La Habana, v.17, n. 2, p.5-8, 1996.
- AMIJEE, F.; STRIBKEY, D.D.; TINKER, P.B. Soluble carbohydrates in roots of leek (*Allium porrum*) plants in relation to phosphorus supply and VA mycorrhizas. *Plant and Soil*, The Hague, v. 124, n. 2, p.195-198, Jun, 1990.
- AMIJEE, F.; STRIBKEY, D.D.; TINKER, P.B. The development of endomycorrhizal root systems. VII. Effects of soil phosphorus and fungal colonization on the concentration of soluble carbohydrates in roots. *The New Physiologist*, London, v. 123, n. 2, p. 297-306, Feb. 1993.
- BECKER, M.; DIEKMANN, K.H.; LADHA, J.K.; DeDATTA, S. K.; OTTOW, J.C.G. Effect of NPK on growth and nitrogen-fixation of *Sesbania rostrata* as a green manure for lowland rice (*Oryza sativa* L.). *Plant and Soil: The Hague*, v. 132, n.1, p. 149-158, Apr. 1991.
- BECKER, M.; LADHA, J.K.; OTTOW, J.C.G. Growth and N₂-fixation of two stem-nodulating legumes and their effects as green manure on low land rice. *Soil Biology and Biochemistry*, Elmsford, v. 22, n.8, p. 1109-1111, 1990.
- BETHLENFALVAY, G.J.; YODER, J.F. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbiosis. I. Phosphorus effects nitrogen fixation and mycorrhizal infection. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 52, p. 141-145, 1981.
- BHATTACHARYA, K.; MANDAL, S.R. Effect of green manuring on growth parameters and yield of rainfed rice. *Environment and Ecology*, Calcuta, v. 14, n. 2, p. 46-450, 1996.
- BHUIYAN, N.I.; ZAMAN, S.K.; Hartmann, A. Use of green manuring crops in rice fields for sustainable production in Bangladesh agriculture. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION ASSOCIATED WITH RICE PRODUCTION, DHAKA, BANGLADESH, 28 Nov.2 Dec. 1994, p.51-64, 1996.

- BOIVIN, C.; NDOYE, I.; LORTET, G.; NDIAYE, A.; LAJUDIE, P.de; DREYFUS, B. The *Sesbania* root symbionts *Sinorhizobium saheli* and *S. teranga* bv. *saesbaniae* can from stem nodules on *Sesbania rostrata*, although they are less adapted to stem nodulation than *Azorhizobium caulinodans*. *Applied and Environmental Microbiology*. Washington, v.36 n. 3, p. 1040-1047, 1997
- BUDHAR, M.N.; PALANIAPPAN, S.P. Effect of conjunctive and individual application of fertiliser and green manure nitrogen on N uptake and yield of lowland rice. *Fertiliser News*, New Delhi, v. 41, n.8, p. 51-54, 1996.
- CARNEIRO, M.A.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C.; GOMES, L.J.; MILTON, C.; VALE, F.F.do. Fungo micorrizico e superfosfato no crescimento de espécies arbóreas tropicais. *Science Florestalis*, Piracicaba, v. 50, p 21-36, Dez. 1996.
- CASSMAN, K.G.; WHITNEY, A.S.; STCKNGER, K.R. Root growth and dry matter distribution soyben as affected by phosphorus stress, nodulation and nitrogen source. *Crop Science*. Madison, v. 20, n.2, p. 39-244, 1981.
- CHANG, K.P.; HU, H.T.; KAO, P.C. Effect of endomycorrhizal fungi and *Rhizobium* inoculation on growth of *Acacia auriculiformis* A.Cunn. ex Benth. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, Taiwan, v.4, p. 40-41, 1986.
- CLUETT, H.C.; BOUCHER, D.H. Indirect mutualism in the legume-*Rhizobium*-mycorrhizal fungus interaction. *Oecologia*, Berlin, v. 59, p. 405-408, 1983.
- COOPER, K. M. Physiology of VA nycorrhizal associations. In: POWELL, C. L.; BAGYARAJ, D. J. (eds). *VA mycorrhiza*. Boca Raton: CRC, 1984. p. 155-186.
- COSTA, N. L. DE; PAULINO,V.T. Response of leucaena to single and combined inoculation with *Rhizobium* and mycorrhiza. *Leucaena Research Reports*, Oxford, v. 11, p. 45-46, 1990.
- COX, G.; MORAN, K. J.; SANDERS,F.E.; NICKOLDS, C.; TINKER, P.B. Translocation and transfer of nutrientes in VA mycorrhizas. III. Poliphosphate granules and phophorus translocation. *New Phytologist*, London, v. 84, n. 4, p. 649-659, Apr.1980.
- DAFT, M.J.; EL-GIAHMI, A.A. Effects of *Glomus* infection on three legumes. SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B. *Endomycorrhizas.*, London:Academic Press, 1975. p. 581-592.
- DAVANSO-FABRO, V.M.; MEDRI, M.E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J.A. Food resistance: Aspects of the ecological anatomy and development of

- Sesbania virgata* (Cav.) Pers.(Fabaceae). **Arquivos Brasileiros de Biologia e Tecnologia, Curitiba**, v. 41, n. 4, p. 475-481, 1998.
- DHINGRA, K.K.; GUPTA, R.P.; JAGRUP-SINGH; HARPAL-KAUR; SINGH, J.; KAUR, H. Response of lentil to vesicular-arbuscular mycorrhiza (*Glomus fasciculatum*) and *Rhizobium leguminosarum* inoculation in relation to phosphorus levels. **Lens Newsletter, Dublin**, v. 21, n. 1, p.36-38, 1994.
- DREYFUS, B.; GARCIA, J.L.; GILLIS, M.; Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen.. nov. sp. nov. a stem-nodulation nitrogen-fixing bacterium isolated from *Sesbania rostrata*, **International Journal Systematic Bacteriology, Washington**, v. 38, p.89-98, 1988.
- FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética de absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza visiculo arbuscular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 14, n.1, p. 41-48, jan/abr. 1990.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURI, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo nitrogênio, fungos micorrízicos e rizóbio. I. *Albizia lebbek* (L.) Benth. **Revista Árvore: Viçosa**. v. 19, n. 3, p. 293-307, jul/set.1995.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURI, N. Crescimento inicial da Acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência Solo, Campinas**, v. 20, n.2, p. 209-216, maio/ago. 1996.
- FRANCIS, R.; READ, D.J. The contribution of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. **Plant and Soil, The Hague**, v.159, n.1, p. 11-25, 1994.
- GARCIA, M; TRETO, E; ALVAREZ, M; FERNANDEZ, L; HERNANDEZ, T. Comparative study of different species of green manure and quantification of nitrogen contribution to a pumpkin crop. **Cultivos Tropicales, La Habana**, v.17, n.3, 9-16, 1996.
- GATES, C.T.; MÜLLER. W.J. Nodule and plant development in the soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] growth response to nitrogen, phosphorus and sulfur. **Australian Journal of Botany, melbourne**, v.27, p.203-215, 1979.
- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Soil solution phosphorus status and mycorrhizal dependency in *Leucena leucocephala*, **Applied and Environmental Microbiology, Oxford**, v. 53, n.4, p. 797-801, Apr.1987.

- HARGOPAL-SINGH; BAJWA, M.S.; SINGH, H. Effect of gypsum and green manure application in preventing sodium saturation in soil. **Journal of Research, Punjab**, v. 31, n.1, p. 15-22, 1994.
- HAYMAN, D.S.; The physiology of encomycorrhizal symbiosis. **Canadian Journal Micorbiology**, Ottawa, v. 61, p. 944-963, 1983.
- ILYAS, M.; MILLER, R.W.; QURESHI, R.H. Hidraulic conductivity of saline sodic soil after gypsum application and cropping. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 57, n. 61, n.3, p. 1580-1585, Nov/Dec. 1993.
- ISRAEL, D.W. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. **Plant Physiology**, Wooster, v. 84, n.3, p. 835-840, Jul.1987.
- JOHNSON, N C.; PFLEGER, F.L. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: BERHLENFALVAY, G.L.; LINDERMAN, R.G. (eds) **Mycorrhizae in sustentaible agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p.71-100.
- KARUMARATNE, R.S.;BAKER, J.H.; BARKER, A.V. Phosphorus uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal roots of soybeans. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 9, p. 1303-1313, 1986.
- KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **The New Phytologist**, London, v. 113, n.3, p. 365-386, 1991.
- LADHA, J.K.; WATNABE, I.; SAONO, S. Nitrogen fixation by leguminous green manure and practices for its enhancement in tropical lowland rice. In:International Rice Research Institute. **Sustainable Agriculture: Green Manure in Rice Farming**, Los Bãnos, Philippines.1988. p. 165-188.
- LIN, X.G.; HAO, W.Y.; SHI, Y.Q.; WU, T.H. Response of white clover to *Rhizobium*-VA mycorrhiza dual inoculation. **China. Grassland of China**, Pequin, v. 3, p.20-25, 1993.
- LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O. Vesicular-arbuscular mycorrhizas: their potencial in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSEL, R.L.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R.,(eds). **The soil-roots system in relation to Brazilian agriculture**. Londrina: IAPAR, 1980. p. 225-242.
- MANE, S.S.; RAUT, R.S.; KOHIRE, O.D. Comparative performance of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and *Rhizobium* inoculation with groundnut. **Annals of Plant Physiology**, v. 7, n. 1, p. 116-118, 1993.

- MANJUNATH, J.H.; BAGYARAJ, D.J.; GOPALAGOWA, H.S. Dual inoculation on with VA mycorrhizal and *Rhizobium* is beneficial to *Leucena*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 78, n.3, p. 445-448, 1984.
- McDONAGH, J.F.; TOOMSAN, B.; LIMPINUNTANA, V.; GILLER, K.E. Grain legume and green manures as pré-rice crops in Northeast Thailand. I. Legume N₂-fixation, production and residual nitrogen benefits to rice. **Plant and Soil**, The Hague, v. 177, n.4, p. 111-126, 1995.
- MEDHI, B.D.; DEDATTA, S.K. Influence of green manuring with *Sesbania rostrata* and *Aeschynomene afraspera* or urea on dynamics and uptake of nutrients by wetland rice. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 24, n. 2, p. 221-226, 1997.
- MENGE, J.A.; JOHNSON, E.L.V.; PLATT, R.G. Mycorrhizal dependency of several citrus cultivares under three nutriente regime. **The New Phytologist**: London. v. 81, n.4, p. 553-559, 1978.
- MICHELSEN, A.; ROSENDHAL. The effect of VA-mycorrhizal fungi, phosphorus and drought stress on the growth of *Acacia nilotica* and *Leucaena leucocephala* seedlings. **Plant and Soil**, The Hague, v. 124, n.1, p. 7-13, 1990.
- MONTEIRO, E.M.S. da **Resposta de leguminosas arbóreas à inoculação com rozóbio e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solo ácido**. Itagai:UFRJ, 1990. 221 p. (Tese de Doutorado)
- MONTEIRO, R. The species of *Sesbania scopoli* (*Leguminosae*) in Brazil. **Arquivos Brasileiro de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 37, n.2, p. 309-331, 1994.
- MOREIRA, F.M.S.; CARVALHO, Y.; GONÇALVES, M.; HAUKKA, K.; YOUNG, J.P.W.; FARIA, S.M.; FRANCO, A. A.; CRUZ, L.M.; PEDROSA, F. O. *Azorhizobium johannense* sp. Nov. and *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.: a highly spedific symbiosis. 2000. In: Nitrogen fixation completer from molecules to crop productivity.
- MORENO, I; LEYVA, A; DOMINI, ME. *Sesbania rostrata* (Brem.) as an alternative to nitrogenous fertilizer for economic crops of short growth cycle. **Cultivos Tropicales**, Havana, v. 16, n. 1, p. 49-51, 1995.
- MORTON, J.B.; BENNEY, G.L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Zygomycetes*) a new order, *Glomales*, two new suborders, *Glomineae* and *Gigasporineae*, and two new families, *Acaulosporaceae* and *Gigasporaceae*, with na amendation of *Glomaceae*. **Mycotaxonomy**, New York, v. 37, p. 471-491, 1990.

- MOSSE, B. ; POWELL, C.D.L.; HAYMAN, D.S. Plant growth responses to VA mycorrhiza. IX. Interactions between VA mycorrhiza rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *The New Phytologist*, London, v. 76, p. 331-342, 1975.
- MOSSE, B.; WARNER, A.; CLARKE, C.A. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. XIII. Spread of an introduced VA endophyte in the field and residual growth effects of inoculation in the second year. *The New Phytologist*, London, v. 90, n.4, p. 521-528, May. 1982.
- NDOYE, I.; DREYFUS, B.; BECKER, M. *Sesbania rostrata* as green manure for lowland rice in Casamance (Senegal). *Tropical Agriculture*, Trinidad, v. 73, n. 3, p. 234-237, Jul. 1996.
- OLSEN, T.; HABTE, M. Mycorrhizal inoculation effect on nodulation and N accumulation in *Cajanus cajan* at soil P concentrations sufficient or inadequate for mycorrhiza-free growth. *Mycorrhiza*, Berlin, v. 5, p. 395-399, 1995.
- PAREEK, R.P.; LADHA, J.K.; WATANABE, I. Estimating N₂-fixation by *Sesbania rostrata* and *S. cannabina* (syn. *S. aculeata*) in lowland rice soil by the ¹⁵N dilution method. *Biology and Fertility of Soil*, Heidelberg, v. 10, n.1, p. 77-88, 1990.
- PATEL, L.B.; SIDHU, B.S.; BERI, V. Symbiotic efficiency of *Sesbania rostrata* and *S. cannabina* as affected by agronomic practices. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.21, n.3, 149-151,1996.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento, nodulação e acúmulo do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 22, n.2, p. 171-178, 1987.
- RAHMAN, M.K.; PARSONS, J.W. effects of inoculation with *Glomus mosseae*, *Azorhizobium caulinodans* and rock phosphate on the growth of and nitrogen and phosphorus accumulation in *Sesbania rostrata*. *Biology Fertility of Soils*, v. 25, n.1, p. 47-52, 1997.
- RESENDE A.V. DE; NETO A.E.F; MUNIZ J.A.; CURI N; FAQUIN V. Initial growth of forest species of different successional groups in response to phosphorus doses *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n.11, p. 2071-2081, Nov. 1999.
- RINAUDO, G.; DREYFUS, B.; DOMMERGUES, Y. *Sesbania rostrata*, a green manure, and the nitrogen content of rice crop and soil. *Soil Biology and Biochemistry*: Elmsford, v. 15, n.2, p. 111-113, 1988.

- ROBSON, A.D.; O'HARA, G.W.; ABBOTT, L.K. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneus* L.). *Australian Journal Plant Physiology*, Melbourne, v. 8, p. 827-836, 1981.
- SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. ed. *Avanços em fundamentos e aplicações de micorrizas*, Lavras, MG:UFLA, 1996. p. 203-254.
- SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; GUIMARÃES, P.T.G.; Oliveira, e. interação fungos micorrízicos *versus* superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.18, n.1, p. 27-36, Jan/abr. 1994.
- SAME, B. I.; ROBSON, A D.; ABBOTT, L. K. Phosphorus, soluble carbohydrates and endomycorrhizal infection. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 15, n.5, p.593-597, 1983.
- SANKARAN, K.V. Selection of an efficient VA mycorrhizal fungus for *Acacia auriculiformis*, In: THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF MYCORRHIZAS IN AGRICULTURE, HORTICULTURE AND FORESTRY, 1992, Perth, Anais ... Perth, Australia, 1992. p. 117.
- SENGUPTA, A.; CHAUDHURI, S. Effect of dual inoculation of *Rhizobium* and mycorrhiza on growth response of *Sesbania gradiflora* L. in coastal saline and sand dune soil. *Indian Journal of Forest*, Bengala, v. 18, n.1, p. 35-37, 1995.
- SILVEIRA, A.P.D. Cinética da absorção de fósforo e estado nutricional do feijoeiro sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. Piracicaba, ESALQ-USP, 1990. 130 p. (Tese de Doutorado).
- SIQUEIRA, J.O. *Biologia do Solo*. Lavras:ESAL/FAEPE, 1997. 230p.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (eds). *Microrganismos de importância ecológica*. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 151-194.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JUNIOR, O.J.; FLORES-AYLAS, W.W, GUIMARAES, P.T.G. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *MYCORRHIZA*, Berlin, v.7, n.6, 293-300, 1998.
- SIQUEIRA, J.O.; COLLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. de Ocorrência de micorrizas arbusculares em agro e ecossistemas do Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 24, n. 12, p. 1499-1506, Dez.1989.

- SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II Efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v 10, n. 3, p.207-211, Set/dez. 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, O.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p.1465-1474, 1984.
- SIQUEIRA, J.O.; NAIR, M.G.; HAMMERSCHIMIDI, R. Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal formation and plant growth by flavonoid compounds, **The New Phytologist**, London, v. 118, n.1, p. 87-93, May.1991.
- SIQUEIRA, J.O.; PAULA, M.A. Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares na nutrição e aproveitamento do fósforo pela soja sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 97-102, 1986.
- SIQUEIRA, J.O; CARNEIRO, M.A.C.; ROSADO, S.C.S.; DAVIDE, A.C.; CURI, N. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brasil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdan, v. 107, n. 1/3, p. 241-252, Aug. 1998.
- SMITH, S.E. Mycorrhizal of autotrophic higher plants. **Microbiological Reviews**, Washington, v. 55, p. 475-510, 1980.
- SYLVIA, D.M.; WILLIAMS, S.E. Vesicular arbuscular mycorrhizae and environmental stress. In: BETHLENFALVAY, G. J.; LINDERMAN, R.G. (eds) **Mycorrhizae in sustainable agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. p. 101-124.
- TAUFIQL, A.; HABTE, M. Interaction of *Leucaena* with *Glomus fasciculatum* in a typical oxissol. **Leucaena Research Reports**, Bangalore, v. 6, p. 97-98, 1985.
- THOMPSON, B. D.; ROBSON, A D.; ABBOTT, L.K. Effects of phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora calospora* and *Glomus fasciculatum* in relation in root carbohydrates. **The New Phytologist**, London, v. 103, n. 4, p.751-765, Aug.1986.
- THOMPSON, B.D.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. Soil mediated effects of phosphorus supply on the formation of mycorrhizas by *Scutellospora calospora* (Nicol. e Gerd.) Walker e Sanders on subterranean clover. **The New Phytologist**: London, v.118, n.3, p.463-469, Jul. 1991.

- TIWARI, C.; SINGH, Y.; DHEER-SINGH; SINGH, D. Effect of Sesbanias green-manure and nitrogen fertilizer in rice (*Oryza sativa*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 65, n.10, p. 708-711, Oct. 1995.
- TOMEKPE, K.; DREYFUS, B.; HOLSTERS, M. Root nodulation of *Sesbania rostrata* suppresses stem nodulation by *Sinorhizobium teranga* but not by *Azorhizobium caulinodans*. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 42, n. 2, 187-190, Feb. 1996.
- UDDIN, M.M; BOKHTIAR,S.M.; ISLAM,M.J. Performance of different green manuring crops in supplementing N and increasing yield of a subsequent cane crop. In: **SUGAR 2000 SYMPOSIUM: SUGARCANE: RESEARCH TOWARDS EFFICIENT AND SUSTAINABLE PRODUCTION**. 1996, p. 206-208.
- VARMA, A. & SCHÜEPP, H. Infectivity and effectiveness of *Glomus intraradices* on micropropagated plants. **Mycorrhiza**, Berlin, v.5, p.29-37, 1995.
- VEASEY, E.A.; GHISI, O.A.A.; CARDELLI, M.A.; BEISMAN, D.A. Evaluation of tree and shrub legumes in Brazil. **Nitrogen-Fixing-Tree-Research-Reports**, v.13, n. 20, p. 1-5, 1995.
- VEASEY, E.A.; GHISI, O.M.A.A.; VALARINI, M.J.; OTSUK, I.P.; CARDELLI, M.A.; SANCHEZ, M.J.F.; BEISMAN, D.A. Early growth and native nodulation of leguminous shrub and tree species in Brazil. **Tropical-Grasslands**, Brisbane, v.31, n.27, p. 40-48, Mar. 1997.
- VENTURA-W; LADHA-JK *Sesbania* phosphorus requirements when used as biofertilizer for long-term rice cultivation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p.1240-1244, Jul/aug. 1997.

CAPÍTULO 2

FÓSFORO, FUNGO MICORRÍZICO E *Azorhizobium* NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE *Sesbania virgata* (Cav.) Per. E *Sesbania rostrata* (Brem. & Oberm.)

RESUMO

Conduziram-se dois experimentos em casa de vegetação do DCS/UFLA, Lavras (MG), objetivando avaliar a influência da aplicação de fósforo (P), fungo micorrízico arbuscular (FMA) e estirpes de *Azorhizobium* no crescimento, nodulação e nutrição mineral de *Sesbania virgata* (Cav.) Per. e *S. rostrata* (Bram. & Oberm.). Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 4x5, sendo os fatores: a) quatro condições de inoculação (*Azorhizobium* (Az); *Glomus etunicatum* (Ge); (Az+Ge) e um controle (Ni)) e b) cinco doses de P (0, 60, 120, 240 e 960 mg dm⁻³), com cinco repetições por tratamento. Após 28 dias, avaliaram-se quinzenalmente altura e diâmetro de caule, e após 70 dias da semeadura, coletaram-se as plantas e determinou-se matéria seca da parte aérea, nodulação radicular e caulinar, atividade da nitrogenase, teores de macronutrientes foliares e percentagem de colonização radicular. Houve efeito positivo das doses de P em todas as variáveis de crescimento e nutrição das espécies de *Sesbania*, excetuando-se a colonização radicular pelo *G. etunicatum*, que foi drasticamente inibida em doses superiores a 60 mg dm⁻³ de P. Os maiores valores de altura, diâmetro de caule e matéria seca da parte aérea foram obtidos na dose estimada próxima a 500 mg dm⁻³ de P, para ambas as espécies, nos tratamentos com Ge em *S. virgata* e com Az, Ge e Az+Ge, respectivamente, em *S. rostrata*. Doses próximas a 400 mg dm⁻³ de P proporcionaram maiores efeitos na nodulação radicular e caulinar, principalmente no tratamento Az+Ge. As maiores respostas nos teores foliares dos macronutrientes (exceto N) foram obtidas nas doses entre 60 e 120 mg dm⁻³ de P, independentemente da inoculação, sendo que para P foliar, o tratamento Az foi o que promoveu os maiores valores, em doses acima de 660 mg dm⁻³ para ambas as espécies.

ABSTRACT

PHOSPHORUS, MYCORRHIZAL FUNGUS AND *Azorhizobium* ON GROWTH AND NUTRITION OF *Sesbania virgata* (Cav.) Per. AND *Sesbania rostrata* (Brem. & Obem.)

Two experiments were conducted under greenhouse conditions at the DCS/UFLA, Lavras (MG), Brazil, aiming to evaluate the influence of the application of phosphorus and arbuscular mycorrhizal fungus and strains of azorhizobia on the growth and nutrition of two *Sesbania* species [*Sesbania virgata* (Cav.) Per. and *S. rostrata* (Brem & Obem.)]. The experiments were installed in a completely randomized design and 4x5 factorial scheme, the factors being a) 4 types of inoculation (*Azorhizobium* (Az); *Glomus etunicatum* (Ge); (Az+Ge) and a control (Ni)) and b) 5 doses of P (0, 60, 120, 240 e 960 mg dm⁻³), with 5 replicates per treatment. After twenty eight-days, height and stem diameter were evaluated fortnightly and after 70 days from sowing, the plants were collected and shoot dry matter, root and stem nodulation, nitrogenase activity, leaf macronutrient contents and percentage of root colonization were determined. There was a positive effect of the doses of P in all parameters of growth and nutrition of *Sesbania* species, except root colonization by *G. etunicatum*, that was drastically inhibited at doses higher than 60 mg dm⁻³. The highest values of height, stem diameter and shoot dry matter were obtained at doses close to 500 mg dm⁻³ of P, for both species, in the treatments with Ge on *S. virgata* and with Az and Az, Ge and Az+Ge, respectively, on *S. rostrata*. Doses around 400 mg dm⁻³ of P provided higher effects on stem and root nodulation, mainly in the Az+Ge treatment. The best responses in the leaf macronutrient contents (except N) were obtained at the doses between 60 and 120 mg dm⁻³ of P, independently of the inoculation, for leaf Pt, the Az treatment was the one which promoted the highest values, at doses above 660 mg dm⁻³ for both species.

1 INTRODUÇÃO

Pelo grande consumo de combustíveis fósseis na produção de fertilizantes inorgânicos, altos custos da adubação do solo e impactos ambientais decorrentes da sua aplicação, torna-se um grande desafio a sua substituição. Esse fato tem motivado novas pesquisas com leguminosas arbóreas e arbustivas, de rápido crescimento, com eficiente capacidade para fixação biológica do N_2 (FBN) e qualidades para utilização como adubo verde. Várias espécies têm sido estudadas com esse propósito e, entre elas, destacam-se as do gênero *Sesbania*, por apresentarem um rápido crescimento, potencial para fixar grande quantidade de N_2 e tolerância a diversas condições edafoclimáticas, cujas características as tornam com grande potencial de utilização em regiões tropicais. A *Sesbania virgata* (Cav.) Per., espécie arbustiva, pioneira, semi-perene e bastante disseminada no Sudeste do Brasil, é potencialmente promissora para produção de fitomassa nos trópicos (Veasey et al., 1995) e vem sendo utilizada na recuperação de matas ciliares nessa região, formando simbiose radicular com *Azorhizobium johannense* (Moreira, Hukka e Young, 1998; Moreira et al., 2000).

A *Sesbania rostrata* (Brem & Oberm.), espécie arbustiva tropical, nativa da África, é muito utilizada como biofertilizante em pré-cultivo de cereais devido a sua excelente qualidade como adubo verde. Forma simbiose específica com *Azorhizobium caulinodans* (Dreyfus, Garcia e Gillis, 1988), apresentando abundante nodulação radicular e caulinar, conferindo uma vantagem adicional em relação a outras em condições estressantes, pelo grande potencial fixador de N_2 (Dreyfus, Garcia e Gillis 1988; Dreyfus e Dommergues, 1990). Entretanto, a expressão do pleno potencial dessas espécies pode ser limitada pela baixa

disponibilidade de fósforo (P), condição particularmente encontrada em solos ácidos, bastante comuns nos trópicos.

Por outro lado, associações com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são de ocorrência natural e generalizada na maioria das plantas vasculares. Além de outros benefícios, os FMAs, através de sua rede micelial, podem promover melhorias na nutrição dessas plantas por aumento da capacidade de absorção radicular de nutrientes, especialmente o P, essencial a maior eficiência da FBN nessas plantas. Também, a capacidade de FMAs formarem simbiose efetiva depende de certas condições edáficas, como disponibilidade de P. Assim, em função do teor de P no solo e da planta envolvida, os benefícios da simbiose pela maior absorção de P são superiores ao custo de manutenção dos fungos na raiz pelo dreno de fotoassimilados.

A simbiose leguminosa-raiz-FMA é altamente responsiva ao P, com aumento da nodulação e fixação de N₂, melhoria na nutrição mineral das plantas envolvidas, e um conseqüente aumento da produção (Barea, Azcon-Aquilar e Azcon, 1987; Gueye, 1992; Faria et al., 1995; Pereira et al., 1996; Rahman e Parsons, 1997). Por outro lado, o excesso dessas doses pode promover uma ação depressiva. Os estudos relacionados a doses de P requeridas para máximo desempenho dessa tripla simbiose com a *S. virgata* e *S. rostrata* são escassos no Brasil e no mundo, mas fundamentais ao estabelecimento e crescimento dessas espécies em solos de baixa fertilidade.

O estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de fósforo, e inoculação com FMA e *Azorhizobium* no crescimento e nutrição de *S. virgata* e de *S. rostrata* em condições de casa de vegetação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos, a partir de setembro de 1997, dois experimentos com as espécies *S. virgata* e *S. rostrata*, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, durante 70 dias, nas seguintes condições ambientais: temperatura média 30/20 °C (dia/noite), umidade relativa do ar 68 % e fotoperíodo de 12,5 horas. Utilizaram-se vasos de polietileno contendo 4,0 dm³ de amostras de um Latossolo Vermelho Escuro (0-20 cm), de textura argilosa e baixa fertilidade, do Distrito de Jaguará (MG), com as seguintes características químicas e físicas: pH_{H₂O} 4,8; C - 1,8 dag kg⁻¹; Al - 0,3 cmol_c dm⁻³; Ca - 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg - 0,2 cmol_c dm⁻³; P - 1,0 mg dm⁻³; K - 37 mg dm⁻³; areia - 140 g kg⁻¹; silte - 240 g kg⁻¹ e argila - 620 g kg⁻¹. O solo foi previamente seco ao ar, peneirado (2,0 mm) e corrigido com calcário dolomítico até atingir a saturação por bases de 60%. Em seguida, foi fumigado com Brometo de metila (98%) na dose de 263 cm³ m⁻³ e, após arejamento por quatro dias, foram aplicados os tratamentos. Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 4 x 5, sendo os fatores: a) quatro tratamentos de inoculação, estirpe de *Azorhizobium* (Az); FMA *Glomus etunicatum* (Ge) e ambos (Az+Ge) e um controle sem FMA e sem Az (Ni); b) cinco doses de P (0, 60, 120, 240 e 960 mg dm⁻³), definidas pela capacidade máxima adsorção de P do solo e aplicados na forma de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O p.a., com cinco repetições por tratamento. No solo corrigido, duas semanas após a aplicação dos tratamentos fosfatados, obtiveram-se os seguintes valores de P (Mehlich I): 1, 2, 3, 5 e 42 mg dm⁻³, respectivamente; pH_{H₂O} 6,0; Al - 0,0 cmol_c dm⁻³; Ca - 2,3 cmol_c dm⁻³; Mg - 1,2 cmol_c dm⁻³ e V= 57 %.

Antes da semeadura de *S. rostrata* e *S. virgata*, realizou-se uma adubação com 14 mg dm⁻³ de N em todos os tratamentos, como recomendado para *S. rostrata* (Kwon e Beevers, 1993) e ajustou-se o K para 200 mg dm⁻³ (Becker, Ladha e Ottow, 1990), com K₂SO₄ p.a.. Após trinta dias da semeadura, foram aplicados 0,5 mL dm⁻³ de uma solução contendo (g L⁻¹): 1,55- H₃BO₃; 1,81 - MnCl₂; 0,22 - ZnSO₄; 0,08 - CuSO₄.5H₂O e 0,02 - NaMo.2H₂O, conforme recomendado por Assis (1992).

As sementes de *S. virgata* foram obtidas no Departamento de Engenharia Florestal/UFLA, e as de *S. rostrata* de plantas cultivadas no Departamento de Ciência do Solo/UFLA, ambas submetidas à quebra de dormência com ácido sulfúrico concentrado por 30 minutos e lavadas com água esterilizada, por cinco vezes consecutivas, antes da semeadura. Para cada espécie, foram semeadas cinco sementes por vaso, mantendo-se uma planta por vaso após o desbaste aos sete e quatorze dias.

O inoculante para *S. rostrata* foi *Azhorhizobium* ORS 571 e para *S. virgata*, *Azhorhizobium* Br 5401 e Br 5404, fornecidas pela EMBRAPA-Agrobiologia. Estas foram cultivadas em meio YM (Vincent, 1970), previamente autoclavado a 121 °C e 1 atm, em erlenmeyers de 125 mL por 20 minutos. Após a repicagem, foram submetidos à agitação constante de 240 rpm por 96 horas à temperatura de 28-30°C. As sementes de ambas as espécies vegetais receberam 2,0 mL vaso⁻¹ da cultura (cerca de 10⁹ células mL⁻¹) dos respectivos inoculantes, antes da semeadura. A inoculação caulinar da *S. rostrata* foi realizada quatro semanas após a semeadura, através de pulverização do inóculo na parte aérea.

Utilizou-se como inóculo de FMA, 5,0 mL por vaso de uma suspensão contendo cerca de 250 esporos de *Glomus etunicatum*, obtidos de amostras de substratos cultivados com *Brachiaria decumbens*, no Departamento de Ciência do Solo/UFLA. O tratamento sem inoculação (Ni) recebeu o mesmo volume do

extrato filtrado, preparado a partir da suspensão do inóculo em água. A umidade do solo nas parcelas foi mantida a 60-70 % do volume total de poros, através da pesagem constante dos vasos.

As avaliações de altura e diâmetro do caule foram iniciadas 28 dias após a semeadura (DAS) e se repetiram a cada quatorze dias. Ao final de 70 DAS, as folhas foram coletadas e secas a 65-70 °C, em estufa de circulação forçada de ar. Nos segmentos de caule e raízes, avaliados separadamente, foi quantificada a atividade da nitrogenase pela análise da redução de acetileno (ARA) (Dilworth, 1966), em cromatógrafo a gás (Variant Star 3400cx), obtendo-se a ARA total (ARA planta⁻¹) e específica (ARA g nódulos⁻¹). Em seguida, os nódulos foram quantificados e pesados após secagem em estufa de circulação forçada de ar (65-70 °C) por 72 horas. Após a separação e contagem dos nódulos caulinares, o caule foi seco em estufa (em condições pré-descritas) e o seu peso somado ao da parte foliar, formando a matéria seca da parte aérea.

A colonização micorrízica foi avaliada empregando-se cerca de 1,0 g de raízes finas clarificadas com KOH 0,05 M a 90°C em banho-maria por 60 minutos, enxaguadas em água e, posteriormente, imersas em HCl 0,05 M por 24 horas. Depois de acidificadas, as raízes foram coradas com solução ácida de glicerol contendo 0,05% de azul de tripano a 90 °C em banho-maria por 30 minutos (Phillips e Hayman, 1970). A colonização radicular foi avaliada com auxílio de lupa estereoscópica (40x) e a porcentagem estimada pelo método da interseção em placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980), discriminando-se as interseções entre linhas horizontais e verticais com raízes micorrizadas e não micorrizadas.

Os teores de macronutrientes nos tecidos foram determinados em extrato obtido após digestão nitroperclórica, sendo o N determinado pelo método Kjeldhal, o P o por colorimetria, K por fotometria de chama, Ca e Mg por

espectrofotometria de absorção atômica e S por turbidimetria do sulfato de bário, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando a significância de 5% para o teste F. Os valores relativos à porcentagem de colonização radicular e nodulação foram transformados em $\arcsen (y/100)^{0.5}$ e $(n+ 0,5)^{0.5}$, onde y é porcentagem de colonização radicular e n número de nódulos, sendo as comparações das médias por Tukey (5%) e as equações de regressão obtidas pelo programa estatístico SAEG (Universidade Federal de Viçosa, [199-]).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Altura, diâmetro do caule e matéria seca da parte aérea de espécies de *Sesbania*

Com exceção das avaliações realizadas aos 28 DAS, houve efeito da interação P e inoculação nas variáveis altura e diâmetro do caule para ambas as espécies estudadas (Tabelas 1A e 2A). A comparação das médias dos tratamentos de inoculação em função das doses de P e DAS, assim como as respectivas equações de regressão significativas, estão apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Para a variável altura (Tabela 1), aos 70 DAS, os tratamentos Ge e Az+Ge foram superiores a Ni e Az, na dose 0 de P para as duas espécies. Para a *S. virgata*, o mesmo ocorreu na dose 60 de P, não havendo, de modo geral, efeito nas demais doses. Em *S. rostrata*, Az+Ge superou os demais tratamentos na dose 60 de P e , de modo geral, não houve resposta a inoculação nas demais doses de P.

TABELA 1. Altura de plantas (cm) nos tratamentos de inoculação, em função das doses de P (mg dm⁻³) e equações de regressão para os períodos diários após a semeadura (DAS).

DAS	Inóculos	Altura de plantas					Equações	R ²
		Doses de P, mg dm ⁻³						
		0	60	120	240	960		
<i>Sesbania viricata</i>								
42	Ni	10,5b	18,6a	23,3a	26,0a	28,1a	Y=10,22+1,43x ^{0,05} -0,276x	0,99*
	Az	12,4a	17,6a	22,2a	25,1a	25,6b	Y=1,34+0,057x ^{0,05} -0,00006x ²	0,96*
	Ge	12,0ab	18,5a	23,7a	24,9a	28,7a	Y=11,79+1,19x ^{0,05} -0,021x	0,98*
	Az+Ge	12,9a	18,1a	22,0a	25,2a	27,1 ab	Y=12,41+1,06x ^{0,05} -0,019x	0,98*
56	Ni	13,4b	46,2b	62,4a	68,2 ab	69,0a	Y=13,10+5,48x ^{0,05} -0,119x	0,99*
	Az	17,0ab	44,2b	63,6a	69,8a	67,8a	Y=15,77+5,25x ^{0,05} -0,115x	0,98*
	Ge	21,8a	61,4a	65,4a	62,6b	72,0a	Y=25,20+4,44x ^{0,05} -0,096x	0,91*
	Az+Ge	21,6a	55,8a	64,4a	64,0ab	71,8a	Y=23,57+4,44x ^{0,05} -0,094x	0,96*
70	Ni	13,8b	61,8b	89,2a	94,6 ab	98,4a	Y=13,51+8,16x ^{0,05} -0,175x	0,98*
	Az	19,0b	58,6b	89,8a	99,4a	101,2a	Y=16,87+7,84x ^{0,05} -0,165x	0,97*
	Ge	21,8a	83,8a	90,8a	88,2b	104,6a	Y=32,69+6,36x ^{0,05} -0,132x	0,92*
	Az+Ge	28,0a	81,4a	93,6a	96,0 ab	102,4a	Y=30,64+7,10x ^{0,05} -0,156x	0,97*
<i>Sesbania rostrata</i>								
42	Ni	8,7a	33,4b	50,4a	44,1ab	50,1a	Y=9,56+3,94x ^{0,05} -0,085x	0,92*
	Az	7,4a	34,2b	54,3a	48,4a	44,7 ab	ns	
	Ge	8,6a	40,0ab	47,9a	39,5b	47,6a	Y=11,61+10,6x ^{0,05} -0,082x	0,85*
	Az+Ge	9,2a	43,1a	52,1a	40,5b	38,1 b	Y=12,39+4,16x ^{0,05} -0,109x	0,82*
56	Ni	15,4a	102,4b	130,8a	127,2a	128,2a	Y=19,25+12,4x ^{0,05} -0,294x	0,96*
	Az	12,2a	105,2b	129,6a	125,2a	122,0a	Y=17,21+12,6x ^{0,05} -0,300x	0,95*
	Ge	21,4a	111,6ab	118,4b	119,0ab	125,0a	Y=28,00+10,6x ^{0,05} -0,244x	0,93*
	Az+Ge	21,6a	119,2a	124,8ab	113,4b	120,0a	Y=30,71+10,7x ^{0,05} -0,257x	0,86*
70	Ni	18,2b	141,4b	191,0a	183,6a	180,6a	Y=22,85+18,27x ^{0,05} -0,428x	0,96*
	Az	13,8b	148,4b	187,6a	184,8a	184,4a	Y=20,15+18,71x ^{0,05} -0,435x	0,96*
	Ge	34,4a	153,2b	165,0b	174,0a	182,0a	Y=41,55+14,66x ^{0,05} -0,329x	0,96*
	Az+Ge	34,4a	174,2a	183,0a	172,0a	181,0a	Y=46,47+15,78x ^{0,05} -0,374x	0,89*

Médias seguidas de *e ** indicam significância a 5% e 1% pelo Teste t. Az: *Azorhizobium*; Ge: *Glomus etunicatum* e Ni: Não inoculado.

Verificou-se florescimento precoce generalizado aos 40 DAS na *S. rostrata*, exceto em plantas não inoculadas e sem P. Esse comportamento está relacionado ao cultivo sob fotoperíodo inferior a doze horas. Este fenômeno já tinha sido caracterizado em plantas cultivadas nestas condições, em outros experimentos (Visperas et al., 1987; Becker, Ladha e Ottow, 1990; Assis, 1992;

Rahman e Parsons, 1997), o que não foi a causa do observado neste experimento, já que o mesmo foi conduzido em condições de maior fotoperíodo (12,5 h).

Para o diâmetro do caule aos 70 DAS, em *S. virgata*, Ge e Az+Ge superaram Ni e Az, nas doses 0 e 60 e nas demais doses, todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes. Na *S. rostrata*, o diâmetro do caule ao 70 DAS só diferiu na dose 60mg dm⁻³ de P para os tratamentos de inoculação, sendo os valores apresentados por plantas inoculadas com Ge e Az +Ge superiores aos demais tratamentos (Tabela 2).

Neste período (70 DAS), os maiores valores estimados de altura (111,43 cm) e diâmetro de caule (10,49 mm) foram observados nas doses 518 e 490 mg dm⁻³ de P, respectivamente, para os tratamentos com Ge em *S. virgata*. Para a *S. rostrata*, os maiores valores de altura (462,50 cm) e diâmetro de caule (12,23 mm) foram observados nas doses 463 e 489 mg dm⁻³ de P para os tratamentos Az e Ge, respectivamente.

Verificou-se também, efeito da interação entre inoculação e doses de P na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) de *S. virgata* e *S. rostrata*, avaliada aos 70 DAS (Tabelas 3A e 4A). Os valores da MSPA correlacionaram-se com os de altura ($r=0,95^{**}$) e diâmetro ($0,96^{**}$), em ambas as espécies de *Sesbania*. O comportamento desta variável em ambas as espécies de *Sesbania* pode ser verificado na Figura 1, com aumentos na produção da MSPA em função das doses de P, até atingir um ponto de máxima. Praticamente não se verificou efeito diferenciado da inoculação na produção de MSPA de *S. virgata* e de *S. rostrata* em função das doses de P. No entanto, para *S. rostrata*, o tratamento Az+Ge proporcionou os menores valores de MSPA na maior dose de P aplicada, quando comparada à testemunha não inoculada (Ni).

TABELA 2. Diâmetro do caule (mm) das espécies de *Sesbania* nos tratamentos de inoculação, em função das doses de P (mg dm⁻³) e equações de regressão para períodos diários após a semeadura (DAS).

DAS	Inóculos	Diâmetro do caule					Equações	R ²
		Doses de P, mg dm ³						
		0	60	120	240	960		
<i>Sesbania virgata</i>								
28	Ni	2,44a	2,70a	2,96ab	3,04a	2,98a	Y=2,41+0,59x ^{0,001} x	0,95**
	Az	2,56a	2,52a	2,76b	3,08a	2,80a	Y=2,46+0,003+0,000003x ²	0,87**
	Ge	2,54a	2,68a	3,08a	2,76b	2,92a	ns	
	Az+Ge	2,36a	2,76a	2,84ab	2,84ab	2,96a	Y=2,39+0,05x ^{0,001} x	0,96**
42	Ni	2,64b	3,88a	5,00a	5,12ab	5,48a	ns	
	Az	3,22a	3,48a	4,78a	5,40a	4,82b	Y=3,12+0,013x-0,00001x ²	0,93**
	Ge	2,84ab	3,76a	4,88a	5,06ab	4,94b	Y=2,74+0,22x ^{0,005} x	0,93**
	Az+Ge	2,92ab	3,68a	4,56a	4,78b	5,16ab	Y=2,85+0,17x ^{0,003} x	0,96**
56	Ni	2,92a	5,78b	7,56a	8,70a	8,72a	Y=2,76+5,48x ^{0,011} x	0,99**
	Az	3,00a	5,02c	7,64a	8,40ab	8,12ab	Y=3,42+0,029x-0,00003x ²	0,92**
	Ge	3,02a	6,40ab	7,96a	7,88b	7,98b	Y=3,12+0,52x ^{0,012} x	0,97**
	Az+Ge	2,96a	6,54a	7,72a	7,88b	7,92b	Y=3,08+0,52x ^{0,012} x	0,98**
70	Ni	2,68b	6,40b	8,66a	9,66a	9,48a	Y=2,54+0,69x ^{0,015} x	0,98**
	Az	3,12c	5,52c	8,44a	9,52a	9,20a	Y=3,59+0,04x-0,00003x ²	0,94**
	Ge	3,40ab	8,08a	8,84a	9,24a	9,44a	Y=3,63+0,62x ^{0,014} x	0,97**
	Az+Ge	3,28a	7,74a	8,42a	9,02a	9,43a	Y=3,48+0,58x ^{0,130} x	0,98**
<i>Sesbania rostrata</i>								
28	Ni	1,50a	2,20b	2,94a	2,94ab	3,02a	ns	
	Az	1,47a	2,45ab	3,12a	3,08a	2,98a	ns	
	Ge	1,53a	2,60a	2,82a	2,68b	2,99a	Y=1,71+0,12x ^{0,002} x	0,91**
	Az+Ge	1,66a	2,52a	3,08a	2,74b	2,76a	Y=1,70+0,13x ^{0,003} x	0,87**
42	Ni	1,54a	3,70b	5,20a	4,84ab	5,64a	Y=1,60+0,35x ^{0,007} x	0,94**
	Az	1,50a	3,74b	5,34a	5,34a	5,16ab	Y=1,47+0,41x ^{0,009} x	0,96**
	Ge	1,54a	4,46a	4,98a	4,26c	5,36a	Y=1,85+0,31x ^{0,007} x	0,81**
	Az+Ge	1,70a	4,50a	5,32a	4,68bc	4,62b	Y=1,32+0,36x ^{0,007} x	0,89**
56	Ni	1,56a	7,00b	8,70a	8,98a	9,08a	Y=1,75+0,78x ^{0,018} x	0,98**
	Az	1,58a	6,66b	8,16a	8,76a	9,46a	Y=1,74+0,73x ^{0,015} x	0,99**
	Ge	2,24a	8,38a	8,48a	8,72a	9,46a	Y=2,72+0,69x ^{0,015} x	0,92**
	Az+Ge	2,32a	8,26a	8,52a	8,58a	8,78a	Y=2,77+0,69x ^{0,016} x	0,92**
70	Ni	1,58a	7,78b	10,06a	10,36a	10,92a	Y=1,76+0,91x ^{0,020} x	0,98**
	Az	1,66a	8,24b	9,24a	10,24a	11,16a	Y=1,95+0,86x ^{0,018} x	0,98**
	Ge	2,38a	9,72a	10,02a	10,16a	11,00a	Y=2,95+0,84x ^{0,019} x	0,92**
	Az+Ge	2,52a	9,56a	10,00a	10,10a	10,38a	Y=3,03+0,83x ^{0,019} x	0,93**

Médias seguidas de ** Significativo 1% pelo Teste t. Az: *Azorhizobium*; Ge: *Glomus etunicatum* e Ni: Não inoculado.

Repostas similares foram também observadas em outras espécies de leguminosas arbóreas, inoculadas com Ge em altas doses de P (Paula e Siqueira, 1987; Habte e Manjunath, 1991; Olsen e Habte, 1995; Faria et al., 1995 e 1996). Este fato pode ser atribuído ao efeito depressivo da micorriza em doses supra-ótimas de P, possivelmente relacionado à redução da colonização radicular por Ge, em resposta à melhor absorção de P pela planta, passando o fungo a apresentar um comportamento parasítico (Siqueira e Colozzi-Filho, 1986; Barea, 1991; Siqueira et al., 1994).

Na maioria das doses de P, a maior produção de MSPA foi obtida para *S. rostrata*, em relação à *S. virgata*, indicando um melhor aproveitamento deste nutriente pela primeira. Os maiores valores de MSPA para *S. virgata* foram obtidos no tratamento Ge (23,81 g) na dose 481 mg dm⁻³ de P e no tratamento Az (35,96 g) na dose 638 mg dm⁻³ de P para *S. rostrata*. Apesar do tratamento Az proporcionar um ganho aproximado de 34% de MSPA em relação ao tratamento Ge, verifica-se a necessidade de aumentar em 25% a quantidade de P aplicada.

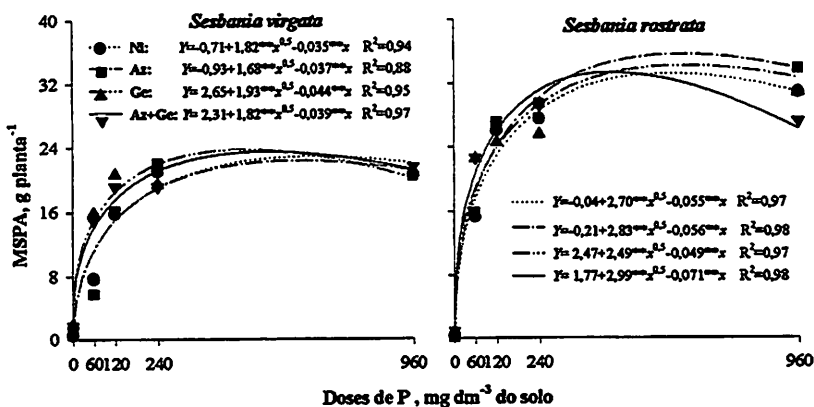


FIGURA 1. Produção de matéria seca parte da aérea (MSPA) em *Sesbania virgata* e *S. rostrata*, em função das doses de P (** Significativo a 1%).

3.2 Colonização radicular

Para a variável porcentagem de colonização radicular, verificou-se efeito da interação entre doses de P e tratamento de inoculação (Tabelas 3A e 4A). Não foi verificada colonização radicular em plantas não inoculadas (Ni) e inoculadas somente com *Azorhizobium* (Az), indicando que o tratamento prévio do solo com brometo de metila foi eficiente na eliminação de propágulos fúngicos do solo.

Houve baixa colonização nos tratamentos com Ge e Az+Ge (menor que 30%), sendo o comportamento desta variável em função das doses de P representado na figura 2. Apesar do comportamento, de certa forma diferenciado, entre as espécies estudadas de *Sesbania*, para a dose 60 mg dm⁻³ de P na colonização de *S. virgata*, praticamente não houve comportamento diferenciado da variável em função das doses de P para os tratamentos Ge e Az+Ge, indicando que o *Azorhizobium* tem pouca ou nenhuma influência sobre a colonização pelo FMA estudado.

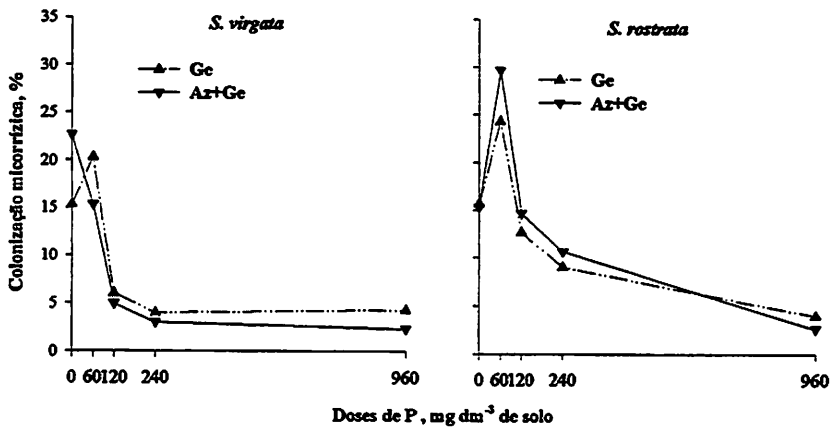


FIGURA 2. Colonização micorrízica das espécies de *Sesbania* inoculadas com *Azorhizobium* (Az) e, ou, *Glomus etunicatum* (Ge), em função doses de P.

Em *S. rostrata*, independente do tratamento de inoculação, foi evidente o efeito benéfico da dose inicial de P (60 mg dm⁻³) no aumento da colonização micorrízica, reduzida sensivelmente nas doses superiores. Resultado semelhante de inoculação de *Azorhizobium* em *S. rostrata* em doses baixas de P foi relatado por Rahman e Pearson (1997).

Já em *S. virgata*, a resposta foi positiva na dose 60 mg dm⁻³ de P, mas com menor intensidade no tratamento com Ge, decrescendo em doses superiores. Quando esta planta foi inoculada com Az + Ge, a resposta foi negativa em todas as doses do nutriente, indicando comportamento diferenciado das espécies estudadas, à inoculação com FMA e *Azorhizobium*, apesar das condições serem extremamente favoráveis ao ótimo crescimento das plantas (Figura 2).

O efeito negativo de doses supra-ótimas de P na colonização radicular por FMA está de acordo com o observado em várias espécies de plantas (Siqueira e Colozzi-Filho; 1986; Barea, 1991; Siqueira et al., 1994; Antunes e Cardoso, 1991; Peng et al., 1993; Miranda e Harris, 1994; Gomes, 1997; Nogueira, 1997), com hipóteses ligadas à diminuição de exsudatos radiculares, interferindo no processo inicial de desenvolvimento micelial de FMAs (Graham, Leonard e Menge, 1981; Miranda e Harris, 1994); ao aumento de P foliar com diminuição da permeabilidade radicular à infecção (Thomson, Robson e Abbott, 1989; Miranda, Harris e Wukdm, 1989); à variação do fluxo de carboidratos da planta ao endófito (Buwalda e Goh, 1982; Siqueira, Hubbel e Valle, 1984); ao aumento da atividade de endoquitinases e de β -1,3 endoglucanases, restringindo a colonização interna (Lambais e Mehdy, 1995), entre outras.

3.3 Nodulação radicular

Em *S. virgata*, verificou-se efeito da interação entre P e inoculação somente para o número de nódulos (Tabela 3A). Para plantas inoculadas com Az e Az+Ge, o número máximo de nódulos estimado (937 e 691 nódulos) foi obtido nas doses 580,77 e 388,80 mg dm⁻³ de P, de acordo com as equações $y=59,69+3,02x-0,0026x^2$ $R^2=0,95^{**}$ e $y=22,18+67,83x^{0,5}-1,72x$ $R^2=0,97^{**}$, respectivamente. Não se obtiveram ajustes de equação para plantas não inoculadas (Ni) e inoculadas com *Azorhizobium* (Az) ou *G. etunicatum* (Ge).

As médias das variáveis massa nodular e ARA total, sem efeito das doses de P, para *S. virgata*, podem ser vistas na tabela 3. Plantas de *S. virgata* inoculadas com Az ou Az+Ge apresentaram os maiores valores dessas variáveis, em relação a Ni e Ge, isoladamente, evidenciando o efeito positivo do *Azorhizobium*. Apesar dos tratamentos de inoculação Ni e Ge isoladamente promoverem significativa massa de nódulos (presença de rizóbios indígenas nas amostras de solo desinfestadas com brometo de metila), verificou-se que os mesmos possuíam baixa atividade da nitrogenase (ARA), quando comparados aos tratamentos Az e Az+Ge (Tabela 3).

TABELA 3. Massa nodular, radicular e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos radiculares de *S. virgata* e de *S. rostrata* nos diferentes tratamentos de inoculação. (Médias de 25 repetições).

	Inoculação			
	Ni	<i>Sesbania virgata</i>		
Massa nodular (mg planta ⁻¹)	0,82 b	Az 0,97 a	Ge 0,87 ab	Az+Ge 0,96 a
ARA total, (nmolesC ₂ H ₄ s ⁻¹)	0,49 c	2,12 a	1,34 b	2,48 a
		<i>S. rostrata</i>		
ARA total (nmolesC ₂ H ₄ s ⁻¹)	3,12 b	14,17 a	4,31 b	16,76 a

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem entre si (Tukey 5%).

Para *S. rostrata*, houve efeito da interação entre doses de P e inoculação nas variáveis número e massa de nódulos, mas não houve para ARA total de nódulos radiculares (Tabela 4A). O comportamento do número de nódulos e massa nodular radicular em função das doses de P pode ser visto na figura 2, sendo que o tratamento Az + Ge promoveu os maiores valores, principalmente em doses menores que 120 mg dm⁻³ de P.

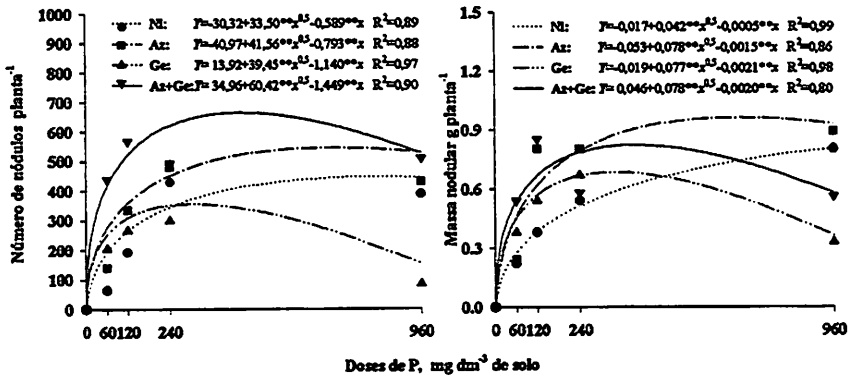


FIGURA 2. Número e massa de nódulos radiculares em *S. rostrata*, nos diferentes tratamentos de inoculação, em função das doses de P.

O tratamento de inoculação que proporcionou os maiores valores de número de nódulos (665 nódulos) foi Az + Ge, na dose 434,68 mg dm⁻³ de P, enquanto para massa nodular radicular (1,07 g) foi Az, na dose 676,00 mg dm⁻³ de P, sendo que em doses superiores, houve efeito negativo significativo das doses de P aplicadas. Respostas similares foram obtidas por Olsen e Habte (1995) com *Cajanus cajan* e Faria et al., (1996) com *Acacia mangium*. A tabela 3 indica as médias gerais de ARA total dos nódulos radiculares dessa espécie e mostra o efeito positivo do *Azorhizobium*, isoladamente ou combinado com Ge, promovendo os maiores valores. Assim como verificado para os tratamentos Ni e Ge em *S. virgata*, houve significativa massa de nódulos induzida por rizóbios

nativos também em *S. rostrata* que recebeu esses tratamentos, embora a atividade da nitrogenase tenha sido bem reduzida, em relação aos tratamentos com *Azorhizobium*.

Para as médias de ARA total, apenas em *S. rostrata* verificou-se comportamento ajustado a equação raiz quadrática, em função das doses de P aplicadas ($Y = 0,86 + 0,31x^{0,5} - 0,0076x$; $R^2 = 0,83$), indicando para a espécie, um melhor padrão de resposta ao P, em relação à *S. virgata*.

3.4 Nodulação caulinar

Verificou-se efeito da interação entre doses de P e inoculação no número e massa nodular, ARA total e específica em *S. rostrata* (Tabela 4A). Os nódulos caulinares foram formados apenas nas plantas inoculadas com *Azorhizobium caulinodans* (ORS 571), nos tratamentos (Az e Az+Ge), via parte aérea. O comportamento do número, massa e ARA total e específica de nódulos caulinares em função das doses de P pode ser verificado na figura 3, com aumentos nos valores até a dose 240 mg dm⁻³ de P.

Enquanto praticamente não houve diferença no comportamento dos tratamentos Az e Az+Ge ao longo das doses de P para número de nódulos (39 e 36 nódulos planta⁻¹ nas doses 406,48 e 484,61 mg dm⁻³ de P, respectivamente) e ARA total (7,60 e 7,15 nmol C₂H₄ s⁻¹ planta⁻¹ nas doses 400,00 e 423,88 mg dm⁻³ de P, respectivamente), verificou-se um ganho de massa nodular no tratamento Az+Ge, principalmente em doses entre 60 e 120 mg dm⁻³ de P (Figura 3). Este resultado pode ter sido decorrente da manutenção de um estado nutricional ótimo de P para o desempenho da nodulação caulinar, proporcionado pela presença do fungo micorrízico, como também observado para a nodulação radicular dessa espécie.

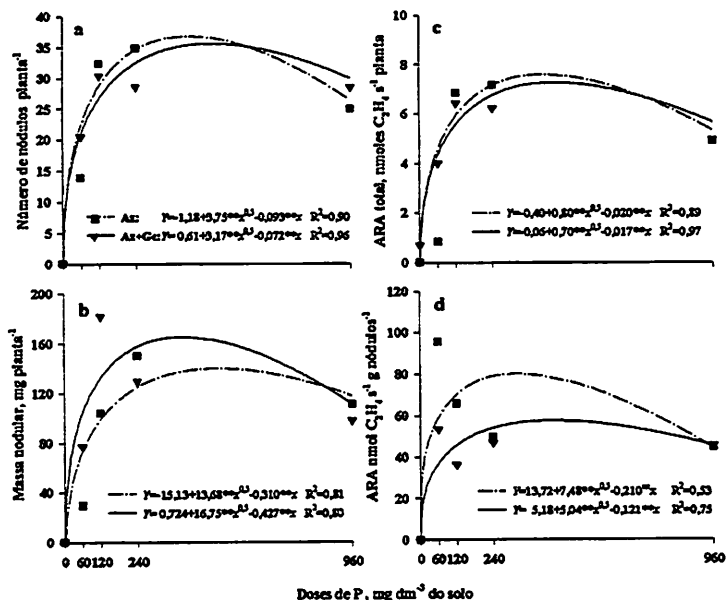


FIGURA 3. Número de nódulos por planta (a), massa nodular (b), atividade da nitrogenase (ARA) total (c) e ARA específica (d) de nódulos caulinares de *Sesbania rostrata*, inoculada com *Azorhizobium* (Az), isoladamente, ou com *Glomus etunicatum* (Ge), em função das doses de P. ** Significativo a 1%.

No entanto, apesar da maior massa de nódulos nestas doses (entre 60 e 120 mg dm⁻³), verificou-se que a ARA específica foi significativamente inferior ao tratamento Az, evidenciando nódulos de menor atividade da nitrogenase. Os maiores valores de massa nodular (164,99 mg planta⁻¹) foram obtidos na dose 384,69 mg dm⁻³ de P para o tratamento Az+Ge e de ARA específica (80,33 nmol C₂H₄ s⁻¹ g nódulos⁻¹) na dose 317,18 mg dm⁻³ de P para o tratamento Az.

3.5 Teores de macronutrientes nas espécies de *Sesbania*

Com exceção do teor de Ca, em *S. virgata* houve efeito da interação entre P e inoculação nos teores foliares de todos os macronutrientes avaliados (Tabelas 5A e 6A). O comportamento dessas variáveis em função das doses de P

pode ser visto nas figuras 4 e 5, as quais mostram grandes diferenças na absorção de nutrientes entre as espécies estudadas.

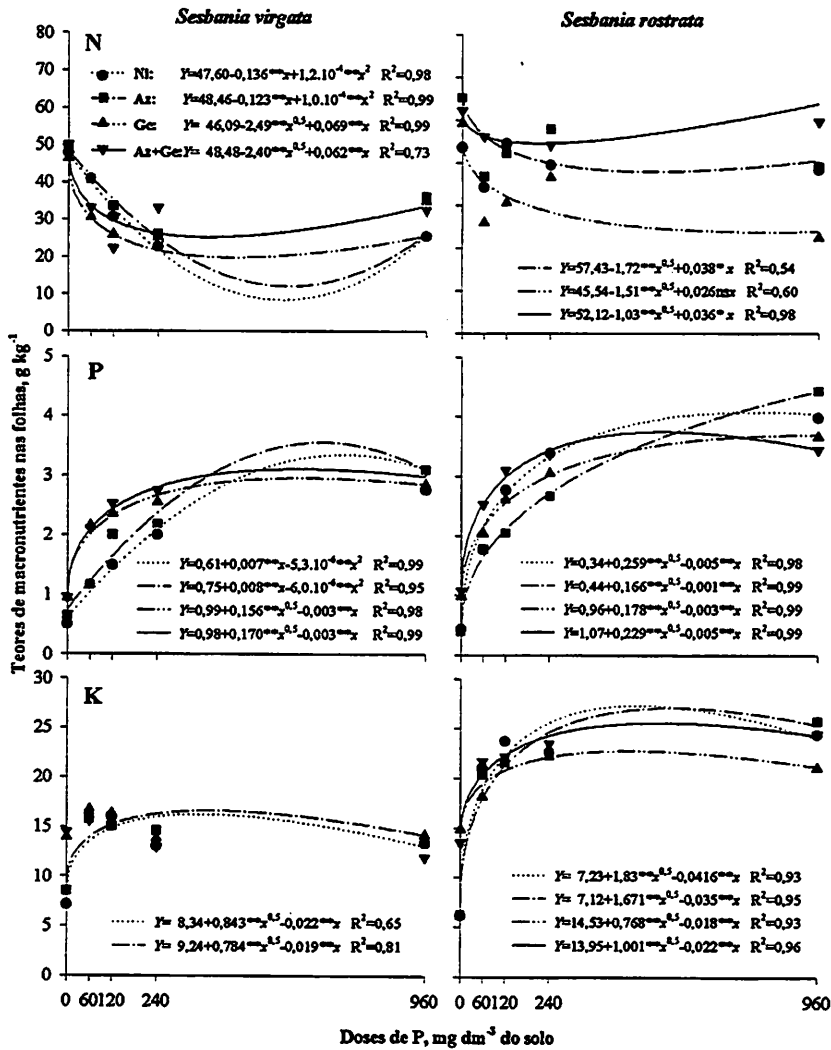


FIGURA 4. Teores de N, P e K nas folhas de *S. virgata* e *S. rostrata* sob diferentes tratamentos de inoculação, em função das doses de P. Az: *Azorhizobium*; Ge: *Glomus etunicatum*; Ni: não inoculado. *, **, ns, significativos a 5 e 1% e não significativo (teste t), respectivamente.

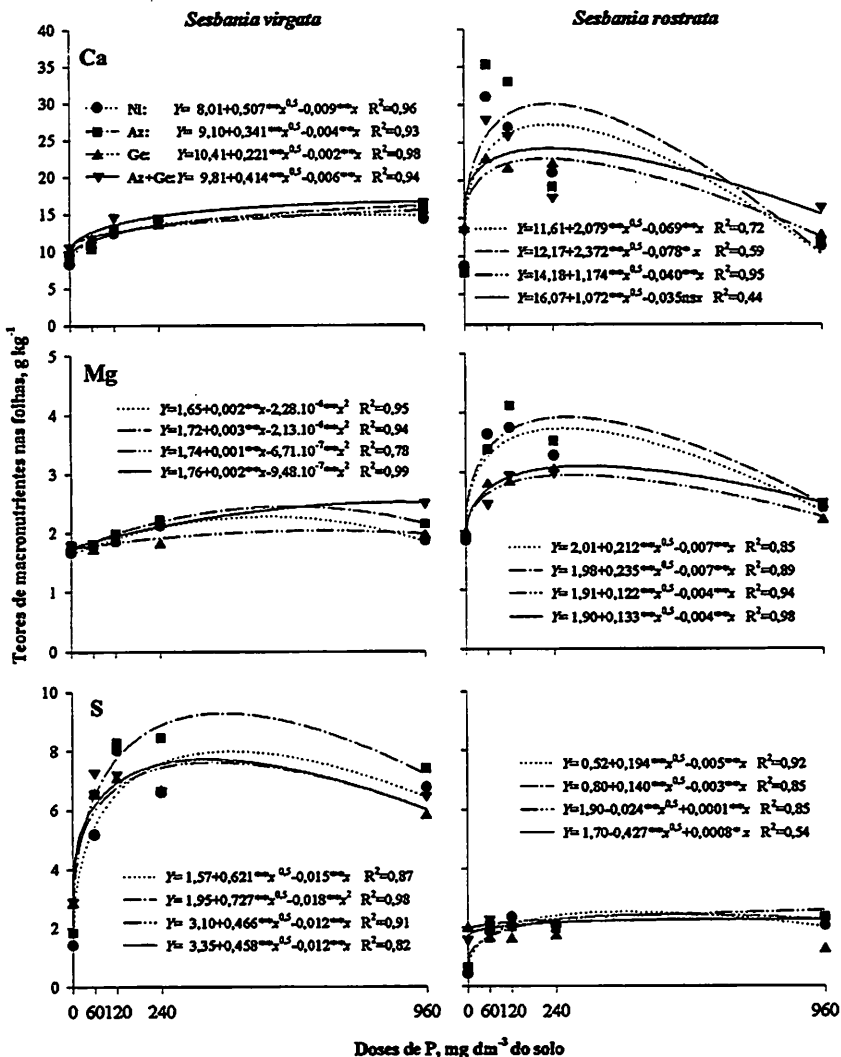


FIGURA 5. Teores de Ca, Mg e S nas folhas de *S. virgata* e *S. rostrata* sob diferentes tratamentos de inoculação, em função das doses de P. Az: *Azorhizobium*; Ge: *Glomus etunicatum*; Ni: não inoculado. *, **, ns, significativos a 5 e 1% e não significativo (teste t), respectivamente.

O fato da última dose aplicada de P ter sido muito alta em relação às demais comprometeu o ajuste das equações. No entanto, apesar dessa dificuldade, é nítido o aumento, principalmente dos teores de P e S em *S. virgata*, e de P, K, Ca e Mg para *S. rostrata*, nas doses entre 60 e 120 mg dm⁻³ de P, independentemente dos tratamentos de inoculação. Praticamente não houve efeito das doses de P nos teores de Ca e Mg para a *S. virgata* e nos teores de S para *S. rostrata*, independente da inoculação. O tratamento de inoculação que proporcionou maior teor calculado de P em *S. virgata* (3,42 g kg⁻¹) e *S. rostrata* (7,33 g kg⁻¹) foi o Az, nas doses estimadas 666,67 e acima de 960 mg dm⁻³ de P, respectivamente.

Com relação aos teores de N, verificou-se um efeito negativo das doses de P já na primeira dose, para ambas as espécies, mas com maior intensidade para a *S. virgata* (Figura 4), contrariando o comportamento observado na variável MSPA desta espécie (Figura 1).

Praticamente todos os teores dos macronutrientes em plantas inoculadas com Az, seguidas daquelas não inoculadas (Ni), excetuando-se N, foram superiores àquelas inoculadas com Ge ou Az+Ge ao longo das doses de P, e isto pôde ser refletido na diminuição da MSPA (Figura 1) a partir da dose 240 mg dm⁻³ de P, em plantas de *S. rostrata* que receberam, principalmente, dupla inoculação.

4 CONCLUSÕES

Houve efeito positivo das doses de P em todas as variáveis de crescimento e nutrição mineral das espécies de *Sesbania*, excetuando-se a colonização radicular pelo fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* e os teores foliares de N.

Os maiores valores de altura, diâmetro de caule e matéria seca da parte aérea foram obtidos na dose estimada próxima a 500 mg dm^{-3} de P, para ambas as espécies de *Sesbania*, principalmente nos tratamentos com *G. etunicatum* em *S. virgata* e com *Azorhizobium* (isoladamente ou combinado com *G. etunicatum*) em *S. rostrata*, com esta apresentando os maiores valores. Em doses acima de 240 mg dm^{-3} de P para a matéria seca da parte aérea de *S. rostrata* verificou-se efeito negativo da dupla inoculação.

Para a nodulação, os maiores valores de número, massa e ARA total de nódulos radiculares (*S. virgata* e *S. rostrata*) e caulinares (*S. rostrata*) foram obtidos em plantas inoculadas com *Azorhizobium* e *G. etunicatum*, na dose estimada próxima a 400 mg dm^{-3} de P, embora não tenha havido diferença entre os tratamentos apenas com *Azorhizobium* nas variáveis massa e ARA total de nódulos radiculares em ambas as espécies de *Sesbania*.

As maiores respostas nos teores foliares dos macronutrientes para ambas as espécies de *Sesbania* foram obtidas entre as doses 60 e 120 mg dm^{-3} de P, independente dos tratamentos de inoculação. O maior teor foliar de P em ambas as espécies foi obtido em plantas inoculadas somente com *Azorhizobium*, em doses estimadas acima de 660 mg dm^{-3} de P para *S. virgata* e superiores a 960 mg dm^{-3} de P para *S. rostrata*.

5 REFERÊNCIAS BLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, V.; CARDOSO, E.J.B.N. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhizal and phosphorus application. *Plant Soil*, The Hague, v.131,n.1,p.11-19, Feb. 1991.
- ASSIS, V.L.G. Uso de *Sesbania rostrata* Brem como fonte de nitrogênio para arroz irrigado. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 80 p. (Tese de Doutorado)

- BAREA, J.M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Advance Soil Science*, New York, v.15, p.1-40, 1991.
- BAREA, J.M.; AZCON-AQUILAR, C.; AZCON, R. Vesicular-arbuscular mycorrhizae improve both symbiotic N₂ fixation and N uptake from soil as assessed with a N-15 technique under field conditions. *New Phytologist*, London, v.106, n. 4, p.717-725, Aug. 1987.
- BECKER, M.; LADHA, J.K.; OTTOW, J.C.G. Growth and N₂-fixation of two stem-nodulating legumes and their effects as green manure on low land rice. *Soil Biological and Biochemistry*, Elmsford, v.22, n.8, p.1109-1111, 1990.
- BUWALDA, J.G. & GOH, K.M. Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depressions in vesicular-arbuscular mycorrhizal ryegrass. *Soil Biological and Biochemistry*, Elmsford, v. 14, p.103-106, 1982.
- DREYFUS, B.; DOMMERGUES, Y. Non-inhibition de lixiviation d'azote atmosphérique par l'azote combiné chez une légumineuse à nodules caulinaires, *Sesbania rostrata*. C.r. Académie Science, v.291, p.767-770, 1990.
- DREYFUS, B.; GARCIA, J.L.; GILLIS, M.; Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen. nov. sp. nov. a stem-nodulation nitrogen-fixing bacterium isolated from *Sesbania rostrata*, *International Journal Systematy Bacteriology*, Washington, v.38, p.89-98, 1988.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURTI, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo nitrogênio, fungos micorrízicos e rizóbio. I. *Albizia lebbek* (L.) Benth. *Revista Árvore*, Viçosa, v.19, n.3, p.293-307, Jul-set. 1995.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURTI, N. Crescimento inicial da Acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Campinas, v.20, n.2, p.209-216, Maio-ago. 1996.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *The New Phytologist*: London, v. 84, n.3, p. 484-500, May. 1980.
- GOMES, V.F.F. Desenvolvimento de fungos micorrízicos arbusculares em três espécies de porta-enxertos cítricos sob níveis de fósforo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1997. 89p. (Tese de Doutorado)
- GRAHAM, J.H.; LEONARD, R.T.; MENGE, J. A. Membrane-mediated decrease in root exudation responsible for phosphorus inhibition of

- vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *Plant Physiology*, Saint Paul, v. 68, n.3, p. 548-552, Sept, 1981.
- GUEYE, M. Effect of Rhizobium and Rhizobium/Glomus inoculations on nitrogen fixation in bambara groundnut. In: MOLONGOY, K. ; GUEYE, M.; SPENCER, D.S.C.(eds) Biological nitrogen fixation and sustainability of tropical agriculture., IITA, Nigéria, 1990. *Anais...* 1992, p. 283-287. Proceedings of the 4 th International Conference of the African Association for Biological Nitrogen Fixation.
- HABTE, M.; MANJUNATH, A. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species: *Mycorrhiza*, Berlin, v.,1p.3-12, 1991.
- KWON, D.K.; BEEVERS, H. Adverse effects of nitrate on stem nodules of *Sesbania rostrata* (Brem). *The New Phytologist*, v.125, p. 345-350, 1993.
- LAMBAIS, M.R. & MEHDI, M.C. Different expression of defense-related genes in arbuscular mycorrhiza. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, v. 73, p. 533-540, 1995.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba POTAFOS, 1997. 319 p.
- MIRANDA, J.C.C.; HARRIS, P.J. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. *The New Phytologist*, v. 128, p.103-108, Sept. 1994.
- MIRANDA, J.C.C.; HARRIS, P.J & WUKDM, A. Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. *The New Phytologist*, v.112, p.405-410, May. 1989.
- MOREIRA, F..M.S.; CARVALHO, Y.; GONÇALVES, M.; HAUKKA, K.; YOUNG, J.P.W.; FARIA, S.M.; FRANCO, A. A.; CRUZ, L.M.; PEDROSA, F. O. *Azorhizobium johannense* sp. nov. and *Sesbania virgata* (Cav.) Pers.: a highly specific symbiosis. 2000.
- MOREIRA, F..M.S.; HAUKKA, K.; YOUNG, J.P.W. Biodiversity of rhizobia isolated from a wide range of forest legumes in Brazil. *Molecular Ecology*, Oxford, v. 7, p.889-895, 1998.
- NOGUEIRA, M.A. *Colonização radicular e produção de micélio externo por duas espécies de fungos micorrízicos arbusculares em soja submetida a doses de fósforo*. Piracicaba, ESALQ/USP, 1997. 92p. (Tese de Mestrado)
- OLSEN, T.; HABTE, M. Mycorrhizal inoculation effect on nodulation and N accumulation in *Cajanus cajan* at soil P concentrations sufficient or

- inadequate for mycorrhiza-free growth. *Mycorrhiza*, Berlin, v.5, p.395-399, 1995.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento, nodulação e acúmulo do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília, v. 22, n.2, p.171-178, 1987.
- PENG, S.; EISSENSTAT, D.M.; GRAAM, J.M.; WILLIAMS, K.; HODGE, N. Growth depressions in mycorrhizal citrus at high-phosphorus supply. *Plant Physiology*, Saint Paul, v.101, n.3, p.1063-1071, 1993.
- PEREIRA, E.G.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S.; PURCINO, A.A.C. Efeitos da micorriza e do suprimento de fósforo na atividade enzimática e na resposta de espécies arbóreas ao nitrogênio. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v.8, n. 1, p. 59-65, 1996.
- PHILLIPS, J.M.; RAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycological Society*, Cambridge, v. 55, p. 158-61, Aug. 1970.
- RAHMAN, M.K.; PARSONS, J.W. effects of inoculation with *Glomus mosseae*, *Azorhizobium caulinodans* and rock phosphate on the growth of and nitrogen and phosphorus accumulation in *Sesbania rostrata*. *Biology. Fertility Soils*, Berlin, v.25, p. 47-52, 1997.
- SIQUEIRA, J.O.; COLLOZZI-FILHO, A. Micorrizas vesiculo-arbusculares em mudas de cafeeiro. II. Efeito do fosfato no estabelecimento e funcionalidade da simbiose. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 10, n.2, p. 207-211, maio-ago. 1986.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, O.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília, v.19, n.2, p.1465-1474, 1984.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M. ; ARAÚJO, R.S. *Microorganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental*. Brasília: EMBRAPA-SBZ, 1994. 142p.
- THOMPSON, B.D.; ROBSON, A.D.; ABBOTT, L.K. Effects fos phosphorus on the formation of mycorrhizas by *Gigaspora colospora* and *Glomus fasciculatum* in relation to root carbohydrates. *The New Phytologist*, london, v.103, p.751-765, Aug. 1986.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. *Sistema para análise estatística (SAEG): guia resumido*. Viçosa: Fundação Arthur Bernades/ Divisão de Informática, s.d., n.p.

- VEASEY, E.A.; GHISI, O.A.A.; CARDELLI, M.A.; BEISMAN, D.A.**
Evaluation of tree and shrub legumes in Brazil. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, v. 13, n. 20, p. 1-5, 1995.
- VINCENT, J.M.** A manual for the practical study of **Rhizobium** of root nodul bacteria. Oxford: Blackwells Scientific Publication, 1970. 164p.
- VISPERAS, R.M.; FUROC. R.; MORRIS, R.A. VERGARA, B.S.; PATERNA, G.** Flowering response of *Sesbania rostrata* to photoperiod. **Journal Crop Sciences**, Madison, v.12, p.147-149, 1987.

CAPÍTULO 3

INTERAÇÃO FÓSFORO, FUNGO MICORRÍZICO E *Azorhizobium* NO CRESCIMENTO, NODULAÇÃO RADICULAR E CAULINAR DE *Sesbania rostrata* (Brem & Oberm.)

RESUMO

Conduziram-se dois experimentos em casa de vegetação do DCS/UFLA, Lavras (MG), objetivando avaliar o efeito da interação fósforo (P), fungo micorrízico arbuscular (FMA) e estirpes de *Azorhizobium* na nodulação radicular e caulinar de *S. rostrata* (Bram. & Oberm.).

O experimento I foi instalado em esquema fatorial 4x5, sendo 4 condições de inoculação (*Azorhizobium* (Az); *Glomus etunicatum* (Ge); (Az+Ge) e um controle (Ni)) e 5 doses de P (0, 15, 60, 120 e 180 mg dm⁻³). O experimento II foi instalado em esquema fatorial 2x2x2, sendo ausência e presença de Ge, ausência e presença de 14 mg dm⁻³ de N e 2 doses de P (60 e 300 mg dm⁻³ de P), com inoculação de *Azorhizobium* em todos os tratamentos. Após a colheita das plantas, avaliaram-se matéria seca da parte aérea, número, massa e atividade de nódulos radiculares e caulinares, teores de nutrientes foliares e percentagem de colonização radicular. Para o experimento I, os maiores valores das variáveis relacionadas ao crescimento, nutrição mineral e nodulação radicular e caulinar foram obtidos entre as doses 120 e 180 mg dm⁻³ de P, em plantas inoculadas com *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*. Para o experimento II, plantas inoculadas com *Glomus etunicatum*, independentemente da presença de N, apresentaram maiores valores de produção de nódulos radiculares e caulinares, e maior acúmulo dos nutrientes P, Fe, Cu e B; houve efeito positivo da maior dose de P na produção de matéria seca da parte aérea e efeito negativo na porcentagem de colonização radicular das plantas.

**EFFECTS OF PHOSPHORUS, MYCORRHIZAL FUNGUS AND
Azorhizobium ON GROWTH, ROOT AND STEM NODULATION OF *S.*
rostrata (Brem. & Oberm.)**

ABSTRACT

Two experiments were conducted under greenhouse conditions, at DCS/UFLA, Lavras (MG), with the aim to evaluate the effects of phosphorus (P), arbuscular mycorrhizal fungus (FMA) and *Azorhizobium* on stem and root nodulation of *S. rostrata* (Bram. & Oberm). The experiment I was installed in factorial design 4x5: 4 inoculation conditions (*Azorhizobium* (Az); *Glomus etunicatum* (Ge); (Az+Ge) and one control (Ni)) and 5 P levels (0, 15, 60, 120 e 180 mg dm⁻³), with *Azorhizobium* inoculation in all treatments. The experiment II was installed in factorial design 2x2x2: absence or presence of Ge, absence or presence of 14 mg dm⁻³ of N and 2 P levels (60 and 300 mg dm⁻³ of P). After plant harvesting, the shoot dry matter, number, mass and root and stem nodules, leaf nutrient contents and root colonization were evaluated. For experiment I, the highest values of parameters related to growth, mineral nutrition and root and stem nodulation were between 120 and 180 mg dm⁻³ of P, in plants inoculated with *Azorhizobium* and *Glomus etunicatum*. For experiment II, plants inoculated with Ge, independently of N, presented the highest values of root and stem dry matter, and leaf P, Fe, Cu and B contents; there was positive effect of P on shoot dry matter and negative one on root colonization.

1 INTRODUÇÃO

Poucas espécies de leguminosas produzem nódulos e fixam N_2 diretamente no caule. Dentre essas, destaca-se a *Sesbania rostrata*, nativa do oeste da África, onde é muito utilizada como biofertilizante em pré-cultivo de cereais, que representam 50% da alimentação humana. Vários estudos destacam a excelente característica dessa espécie como abubo verde. Além disso, esta forma simbiose altamente específica com *Azorhizobium caulinodans*, que fixa N_2 através de profusa nodulação do caule, além das raízes (Dreyfus, Garcia e Gilles, 1988). Este tipo de nodulação tem sido confirmado apenas em algumas espécies dos gêneros hidrofíticos de *Aeschynomene* e *Sesbania* (Dreyfus e Dommergues, 1980; Alazara e Duhoux, 1987). Essa estratégia evolucionária pode ajudar seu estabelecimento e desenvolvimento sob condições adversas de solos em regiões tropicais (Ladha, Pareek e Becker, 1990; Ladha et al., 1992), em relação a outras leguminosas.

Vários estudos relatam a influência do nitrogênio (N) e do fósforo (P) no estabelecimento, desenvolvimento e atividade dos nódulos radiculares em leguminosas. Assim, níveis ótimos desses nutrientes podem aumentar os benefícios promovidos por essa simbiose à planta hospedeira. Por outro lado, fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são eficientes em promover a melhoria nutricional dessas plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade de P.

A existência de sinergismo, promovido por FMAs à nodulação e fixação de N_2 por nódulos radiculares, é pouco estudada em leguminosas arbóreas, mas bastante evidente em leguminosas produtoras de grãos (Thiagarajan e Ahmad, 1993; Ahmad, 1995). Esse fato é atribuído a uma melhoria do estado nutricional de P da planta hospedeira sob condições sub-ótimas desse nutriente no solo

(Barea, 1991; Gueye, 1992; Linderman, 1992; Faria et al., 1995; Rhaman e Parsons 1997). O efeito de FMAs e determinadas doses de P no desenvolvimento e atividade de nódulos caulinares pode ser explorado visando o estabelecimento e nutrição da *S. rostrata*, em solos onde P é pouco disponível.

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a interação entre P e FMA na nodulação radicular, caulinar e FBN da *S. rostrata*, sob condições controladas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Aspectos gerais

Foram conduzidos nos meses de fevereiro a abril de 1998, dois experimentos com *Sesbania rostrata*, em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo (DCS), da Universidade Federal de Lavras (UFLA), nas seguintes condições ambientais: temperatura média 30/20°C (dia/noite), umidade relativa do ar 68 % e fotoperíodo de 11 horas. Utilizaram-se vasos de polietileno com 4,0 dm³ de amostras de um Latossolo Vermelho Escuro de textura argilosa, de baixa fertilidade, coletado na profundidade de 0-20 cm, no Distrito de Jaguará (MG), com as seguintes características químicas e físicas: pH_{H2O} 4,8; C - 1,8 dag kg⁻¹; Al - 0,3 cmol_c dm⁻³; Ca - 0,7 cmol_c dm⁻³; Mg - 0,2 cmol_c dm⁻³; P - 1,0 mg dm⁻³; K - 37 mg dm⁻³; areia - 140 g kg⁻¹; silte - 240 g kg⁻¹ e argila - 620 g kg⁻¹. O solo foi previamente seco ao ar, peneirado (2,0 mm) e corrigido pelo método de saturação por bases, admitindo-se V = 60% como ótimo para a espécie. Após a calagem, o solo passou a apresentar as seguintes características químicas: pH_{H2O} 6,0, CTCefetiva = 3,5 cmol_c dm⁻³; V= 62%, sendo posteriormente fumigado com

Brometo de metila (98%) na dose $263 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-3}$, antes da utilização nos experimentos.

2.2 Experimento I

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial 4×5 , com delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições por tratamento, sendo os fatores: quatro condições de inoculação (inoculação com estirpes de *Azorhizobium* (Az); inoculação com FMA *Glomus etunicatum* (Ge); inoculação com ambos (Az+Ge) e não inoculação (Ni)), por cinco níveis de fósforo (P) (15, 30, 60, 120 e 180 mg dm^{-3}), aplicados na forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Após aplicação dos tratamentos com adição de fósforo (P), obtiveram-se os valores de P-extraível (Mehlich I): 1, 3, 6, 14 e 30 mg dm^{-3} , respectivamente. Antes da semeadura, realizou-se uma adubação com 200 mg dm^{-3} de K, segundo Becker, Ladha e Ottow (1990), usando K_2SO_4 . Após trinta dias da emergência, foi aplicado $0,5 \text{ mL dm}^{-3}$ de uma solução contendo: H_3BO_3 ($1,55 \text{ g L}^{-1}$); MnCl_2 ($1,81 \text{ g L}^{-1}$); ZnSO_4 ($0,22 \text{ g L}^{-1}$); $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ($0,88 \text{ g L}^{-1}$) e $\text{NaMo} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($0,02 \text{ g L}^{-1}$), conforme recomendado por Assis (1992).

As sementes de *S. rostrata* foram obtidas de plantas cultivadas no DCS/UFLA, submetidas à quebra de dormência com ácido sulfúrico concentrado por 30 minutos, antes da lavagem com água estéril. Foram semeadas cinco sementes por vaso, mantendo-se uma planta por vaso após o desbaste.

O inoculante foi produzido com a estirpe ORS 571, em meio líquido YM, previamente autoclavado a 121°C a 1 atm, em erlenmeyers de 125 mL por 20 minutos. Após a repicagem, o meio foi submetido à agitação constante de 240 rpm por 96 horas, à temperatura de $28\text{-}30^\circ\text{C}$. Para a semeadura, aplicaram-se previamente $2,0 \text{ mL vaso}^{-1}$ da cultura (10^9 células mL^{-1}) do inoculante sobre as sementes. A inoculação caulinar foi realizada quatro semanas após

semeadura, através de pincelamento do colmo com o inóculo, no surgimento dos sítios de infecção, ocorrido após quatro semanas da semeadura.

Utilizou-se como inóculo de FMA, uma suspensão contendo aproximadamente 250 esporos de *G. etunicatum* por vaso, obtidos através do método de peneiramento úmido e centrifugação (Gerdemann e Nicolson, 1963), extraídos de substrato sob *Brachiaria decumbens*, proveniente de coleção de FMA do DCS/UFLA. A umidade do solo nas parcelas foi mantida em 60-70% do volume total de poros através de pesagem dos vasos.

O experimento foi conduzido por 70 dias após a semeadura (DAS). Após este período, as folhas foram coletadas e secas a 65-70°C em estufa de circulação forçada de ar. Nos segmentos de caule e raízes, avaliados separadamente, foi medida a atividade da nitrogenase pelo método da redução do acetileno (ARA) (Dilworth, 1966), em cromatógrafo à gás (Variant Star 3400cx), obtendo-se a ARA total (ARA planta⁻¹) e específica (ARA g nódulos⁻¹). Em seguida, os nódulos radiculares e caulinares foram quantificados e pesados, após secagem em estufa de circulação forçada de ar (65-70 °C) por 72 horas. Posteriormente, o caule foi encaminhado para estufa de secagem, cujo peso foi somado àquele obtido das folhas secas para compor a matéria seca da parte aérea.

A colonização radicular por FMA foi avaliada em cerca de 1,0 g de raízes finas clarificadas em KOH 0,05 M a 90°C, em banho-maria por 60 minutos, enxaguadas em água, e em seguida, imersas em HCl 0,05 M por 24 horas. Depois de acidificadas, as raízes foram coradas em solução ácida de glicerol, contendo 0,05% de Azul de tripano a 90°C, em banho-maria por 30 minutos (Phillips e Hayman, 1970). A presença de infecção nas raízes foi registrada com auxílio de uma lupa estereoscópica (40 x) e a percentagem de infecção estimada pelo método da interseção em placa quadriculada (Giovannetti e Mosse, 1980).

Determinaram-se os teores foliares de N e P após digestão sulfúrica e nitroperclórica, respectivamente, sendo para o N utilizado o método de Kjeldhal e para o P, o método colorimétrico (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, testes de média (Tukey 5%), e equações de regressão, utilizando-se o programa estatístico SAEG (Universidade Federal de Viçosa, [199-]). Os dados referentes a número de nódulos e colonização radicular foram transformados para $(y + 0,5)^{1/2}$ e arc seno $(y / 100)^{1/2}$, respectivamente.

2.3 Experimento II

Os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial $2 \times 2 \times 2$, com delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo os seguintes fatores: inoculação ou não com FMA (*Glomus etunicatum*), presença ou não de N (14 mg dm⁻³ de solo) e dois níveis de P (60 e 300 mg dm⁻³), na forma de Ca(H₂PO₄)₂.H₂O. Antes da semeadura, realizou-se uma adubação com 200 mg dm⁻³ de K. Após trinta dias da emergência, foi aplicado 0,5 mL dm⁻³ de uma solução contendo: H₃BO₃ (1,55g L⁻¹); MnCl₂ (1,81g L⁻¹); ZnSO₄ (0,22g L⁻¹); CuSO₄.5H₂O (0,88g L⁻¹) e NaMo.2H₂O (0,02g L⁻¹). Todos os tratamentos foram inoculados com *Azorhizobium*.

As sementes de *Sesbania* foram tratadas, inoculadas (0,4 mL de cultura com aproximadamente 10⁹ células mL⁻¹) e semeadas como no experimento anterior. A inoculação do caule com *Azorhizobium*, assim como a de *Glomus etunicatum*, foram realizadas como no experimento anterior.

Aos 70 DAS, determinaram-se a matéria seca da parte aérea, atividade da nitrogenase total e específica de caule e raízes, massa de nódulos radiculares, número e massa de nódulos caulinares por planta, e porcentagem de colonização micorrízica, seguindo as metodologias descritas anteriormente (experimento I).

Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram obtidos após digestão sulfúrica para N, após digestão nítro-perclórica para P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Fe, e Mn, e após digestão seca para B (Hunter, 1975). Posteriormente, os teores de N foram determinados pelo método Kjeldahl modificado; os de P por colorimetria; K por fotometria de absorção de chama; Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn por espectrofotometria de absorção atômica; B por colorimetria usando curcumina (Sarruge e Haag, 1974) e S por turbidimetria de sulfato de bário, segundo Malavolta et al, (1997).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média (Tukey 5%), utilizando o programa estatístico SAEG (Universidade Federal de Viçosa, s.d.). Os dados referentes a número de nódulos e colonização micorrízica foram transformados para $(y + 0,5)^{1/2}$ e arco seno $(y / 100)^{1/2}$, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimento I

3.1.1 Matéria seca da parte aérea e acúmulo de N e P foliares

Não houve efeito da interação entre tratamentos de inoculação e doses de P para matéria seca da parte aérea (MSPA), teores e acúmulo de N e P foliares (Tabela 7A).

As médias dos tratamentos de inoculação, independentemente das doses de P, podem ser observadas na tabela 1, assim como as equações correspondentes ao efeito de P na MSPA e acúmulos de N e P.

As doses de P para obtenção dos maiores valores dessas variáveis, independentemente dos tratamentos de inoculação, foram 156,25 mg dm⁻³ para

MSPA (11,43 g), 154,36 mg dm⁻³ para N acumulado (368,50 mg planta⁻¹) e muito superior a 180 mg dm⁻³ (superior a 1200) para P acumulado (914,51 mg planta⁻¹).

TABELA 1. Conteúdo de nitrogênio e fósforo na parte aérea da *S. rostrata* nos diferentes tratamentos de inoculação.

Inóculo	MSPA	N	P
	g planta ⁻¹	mg planta ⁻¹	
Ni	5.71 b	166,29 b	4,18 b
Az	6.12 b	143,95 b	4,92 b
Ge	8.93 a	248,35 a	7,23 a
Az+Ge	8.11 a	263,85 a	6,96 a
	$Y=1,66+0,125x-0,0004x^2$ (R ² =0,96**)	$Y=-2,75+4,81x-0,01558x^2$ (R ² =0,93**)	$Y=7,10+1,40x-0,00054x^2$ (R ² =0,86**)

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si (Tukey 5%). *Azorhizobium* (Az); *Glomus etunicatum* (Ge).

Plantas que receberam os tratamentos Ge e Az + Ge não diferiram entre si e apresentaram valores de MSPA e conteúdos de N e P foliares superiores estatisticamente àquelas não inoculadas (Ni), indicando a importância do FMA no crescimento e nutrição da *Sesbania rostrata*.

3.1.2 Nodulação radicular e atividade da nitrogenase

Houve efeito da interação tratamentos de inoculação e doses de P para as variáveis número e massa de nódulos radiculares (Tabela 8A). No entanto, para a ARA total, foram verificados efeitos dos tratamentos de inoculação e doses de P. A figura 1 mostra o comportamento das variáveis número e massa de nódulos radiculares em função das doses de P, as quais exerceram efeito positivo, independentemente dos tratamentos Az ou Az+Ge. Os maiores valores calculados dessas variáveis foram obtidos na dose 180 mg dm⁻³ para o número de nódulos (aproximadamente 21 nódulos planta⁻¹) e na dose 170 mg dm⁻³ para massa de nódulos (8,0 mg planta⁻¹), em plantas inoculadas com os tratamentos

Az+Ge. O melhor desempenho da nodulação na presença de Ge evidencia um efeito sinérgico entre Az e Ge. Este efeito sinérgico na nodulação entre rizóbio (Br827) e fungos micorrizicos arbusculares (*Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita*) foi também obtido por Moreira e Siqueira (1995), estudando *Sesbania virgata*, com reflexo direto no aumento da matéria seca da parte dessa espécie.

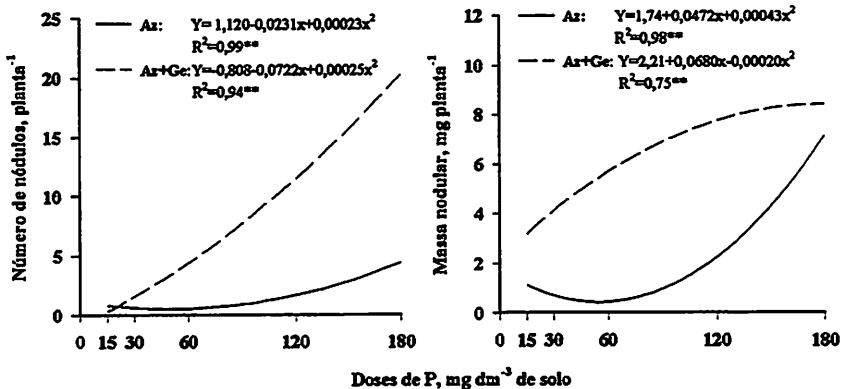


FIGURA 1. Número e massa de nódulos radiculares ($Y=(y+0,5)^{1/2}$) na *S. rostrata* inoculada com *Azhorizobium*, Az (—) ou *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*, Az+Ge (---), em função das doses de P ($x=mg\ dm^{-3}$). ** Significativo a 1% (teste t).

Independente das doses de P, verificou-se que não houve diferença estatística entre ARA total de plantas inoculadas com Az (1,57 nmol C₂H₄/h/planta) daquelas inoculadas com Az +Ge (1,70 nmol C₂H₄/h/planta), mostrando que o efeito do FMA não foi evidente para esta variável, contrariamente ao observado anteriormente para número e massa de nódulos.

3.1.3 Nodulação caulinar e atividade da nitrogenase

Verificou-se nodulação caulinar apenas em plantas inoculadas com *Azorhizobium caulinodans* (Az e Az+Ge), denotando ausência de contaminação

por transporte aéreo da bactéria para plantas não inoculadas. Respostas similares também foram obtidas por Adebayo, Watanabe e Ladha, (1989) e Boivin et al. (1997).

Houve efeito da interação entre tratamentos de inoculação e doses de P na nodulação caulinar (número e massa nodular) e ARA total e específica em *S. rostrata* (Tabela 9A). Observou-se efeito positivo das doses de P para as variáveis número e massa de nódulos para os tratamentos Az +Ge e Az, sendo muito mais pronunciado para o último tratamento de inoculação (equação de regressão tipo linear). Para o tratamento Az +Ge, os maiores valores de número (13,49 nódulos) e massa (5,73 mg) de nódulos foram obtidos nas doses 157,00 e 128,75 mg dm⁻³ de P, respectivamente, enquanto a última dose estudada (180 mg dm⁻³) proporcionou os maiores valores em plantas inoculadas exclusivamente com Az (Figura 2).

Com relação à atividade de nódulos (ARA), os maiores valores de ARA total (1,32 nmol C₂H₄ s⁻¹ planta⁻¹) e específica (4,43 nmol C₂H₄ s⁻¹ g⁻¹ nódulos) foram obtidos em plantas inoculadas com Az+Ge, nas doses estimadas 121,43 e 82,50 mg dm⁻³ de P, respectivamente, comparadas àquelas inoculadas somente com Az.

Altas doses de P deprimiram a atividade da nitrogenase em plantas inoculadas com Az+Ge, indicando a necessidade de manutenção de um nível ótimo de P para a expressão do potencial dessa variável nos nódulos caulinares, sendo que a presença de Ge pode ter influenciado essa manutenção. Resultados similares foram relatados para nodulação radicular em *S. rostrata* por Rahman e Pearson (1997) e outras leguminosas como: *Acácia* (Jasper, Abbott e Robson, 1989; Faria et al.1996), *Albizia lebbek* (Faria et al., 1995), soja (Paula e Siqueira 1987) e *Cajanus cajan* (Olsen e Habte, 1995).

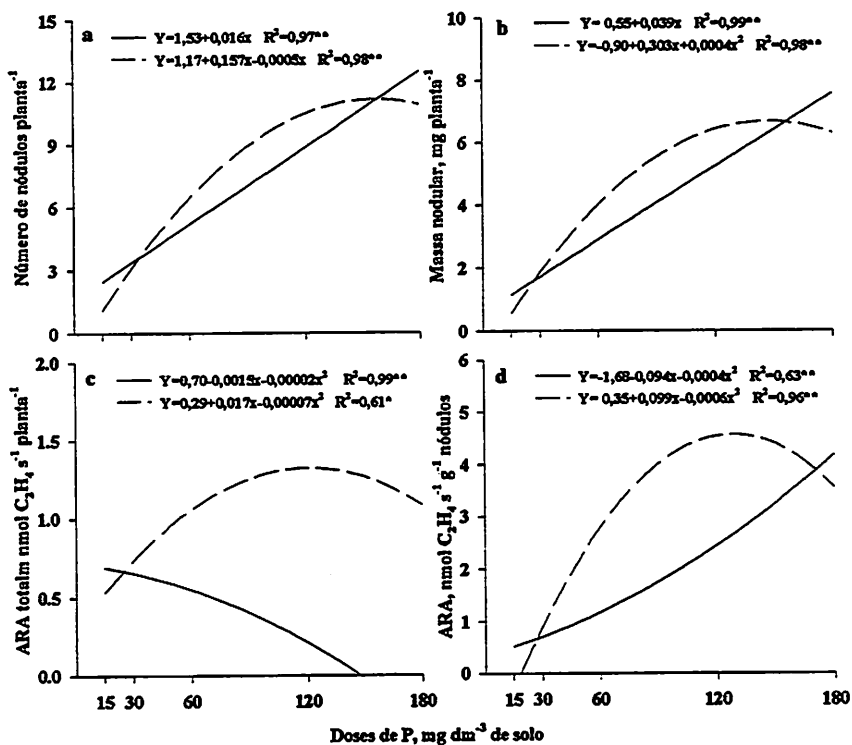


FIGURA 2. Número (a), massa nodular (b) e atividade da nitrogenase (ARA) total (c) e específica (d) caulinar em *S. rostrata* inoculada com *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*, ($Y=(y+0,5)^{1/2}$), em função das doses de P ($x = \text{mg dm}^{-3}$). *, ** Significativo a 5 e 1% (teste t), respectivamente.

De maneira geral, a presença de Az+Ge induziu efeito positivo na nodulação e atividade dos nódulos caulinares. Entretanto, os mecanismos envolvidos não puderam ser esclarecidos com base nestes resultados, necessitando de mais investigações.

3.2 Experimento II

Análise de variância resumida para as variáveis estudadas, excetuando os teores foliares de macro e micronutrientes, pode ser vista na tabela 10A.

Verificou-se efeito isolado de P para a variável MSPA e ARA total radicular; efeito de Ge para as variáveis MS de nódulos caulinares e ARA total radicular; interação GexP para MS de nódulos radiculares e número de nódulos caulinares, e porcentagem de colonização radicular; interação GexN para ARA caulinar total e específica; interação PxN para as variáveis MS de nódulos caulinares e ARA caulinar total.

O maior valor de MSPA foi observado na dose 300 mg dm⁻³ de P (23,54g contra 19,24g na dose 60 mg dm⁻³ de P), independentemente do N adicionado e da inoculação com Ge. Para MS de nódulos radiculares e caulinares, os maiores valores foram observados em plantas inoculadas com Ge (0,31g contra 0,16g para nódulos radiculares) e (0,36g contra 0,30g para nódulos caulinares), independentemente das doses de P e N.

As variáveis que apresentaram efeito da interação Ge x P estão na tabela 2. A maior produção de MS de nódulos radiculares foi obtida na presença de Ge, na dose 60 mg dm⁻³ de P, enquanto o maior número de nódulos caulinares ocorreu na ausência de Ge e 300 mg dm⁻³ de P. Este resultado evidencia a grande influência do P no estabelecimento dos nódulos caulinares.

TABELA 2. Massa de nódulos radiculares, número de nódulos caulinares e colonização micorrizica da *Sesbania rostrata* com e sem *Glomus etunicatum* (Ge), em função das doses de P.

Inoculação	Massa de nódulo radiculares		Número nódulos caulinares		Colonização radicular	
	g planta ⁻¹		planta ⁻¹		%	
	P, mg dm ³ de solo					
	60	300	60	300	60	300
Sem Ge	0,14 bA	0,18 bA	89,8 aB	162 aA	3,2 bA	2,42 bA
Com Ge	0,35 aA	0,26 aB	99,8 aB	119 bA	26,1aA	14,9 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%). Comparam-se letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha entre as doses de P.

Verificou-se efeito negativo dessa dose de P para a percentagem de colonização radicular, com o maior valor na presença de Ge e dose 60 mg dm⁻³ de P. Não houve efeito de N nesta variável, concordando com Faria et al., (1995) com *Albizia lebbek* e Rahman e Parsons (1997) com *Sesbania rostrata*.

As variáveis que apresentaram efeito da interação GexN estão na tabela 3. Para ARA total, o maior valor foi obtido em plantas inoculadas com Ge na presença de N, enquanto para ARA específica, ocorreu na ausência de N com Ge. Este resultado evidencia o efeito positivo da inoculação com Ge na atividade de nódulos caulinares, independentemente da presença de N.

TABELA 3. Atividade da nitrogenase (ARA) total e específica de nódulos caulinares na *Sesbania rostrata* inoculada e não inoculada com *Glomus etunicatum* (Ge), com e sem Nitrogênio (N).

Inoculação	ARA de nódulos caulinares			
	Total		Específica	
	nmol C ₂ H ₄ s ⁻¹ planta ⁻¹		nmol C ₂ H ₄ s ⁻¹ g ⁻¹ nódulos	
	N, mg dm ⁻³ de solo			
	0	14	0	14
Sem Ge	17,50 aA	13,24 bB	42,37bA	41,40aA
Com Ge	13,38 aB	18,24 aA	66,44aA	44,60aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%). Comparam-se minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas entre doses de N.

As variáveis que apresentaram efeito da interação PxN estão na tabela 4. Os maiores valores de MS e ARA total de nódulos caulinares foram verificados na presença de N, na dose 60 mg dm⁻³ de P, embora não tenha havido diferença significativa para a última variável, com a ausência de N. Estes resultados mostram a necessidade da manutenção de níveis ótimos de P e N para o desenvolvimento e atividade dos nódulos caulinares.

TABELA 4. Massa total e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos caulinares de *Sesbania rostrata*, com e sem Nitrogênio (N) nas doses de alto fósforo (P).

N mg dm ⁻³	MS de nódulos caulinares		ARA total de nódulos caulinares	
	(g planta ⁻¹)		(nmol C ₂ H ₄ s ⁻¹ planta ⁻¹)	
	P, mg dm ⁻³			
	60	300	60	300
0	0,25bB	0,35 aA	13,84 aA	17,04 aA
14	0,39aA	0,32 aA	19,72 aA	11,57 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Tukey 5%. Comparam-se letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas entre doses de P.

Quanto à absorção de nutrientes, verificou-se que não houve efeito de inoculação com Ge, P e N para os teores de N, K e Zn (Tabelas 11 A, 5 e 6). *Glomus etunicatum* exerceu efeito na absorção de P, Ca, Mg, Fe, Cu e B, enquanto as doses de P influenciaram a absorção de P, S, Fe, Cu, B e Mn. Não houve efeito da interação entre fatores para nenhum nutriente avaliado e nem da adição de N.

Pela análise das tabelas 5 e 6, verificou-se que o fungo Ge promoveu maior absorção dos nutrientes P, B, Cu e Fe, possivelmente pelo aumento da superfície de absorção das raízes pelo micélio extrarradicular.

TABELA 5. Teores foliares de macronutrientes da *Sesbania rostrata* com e sem *Glomus etunicatum* (Ge) e nas doses de P.

Tratamentos	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Sem Ge	38,82 a	1,70 b	57,83 a	26,18 a	5,06 a	6,36 a
Com Ge	36,61 a	1,94 a	57,75 a	25,38 b	4,62 b	6,42 a
	P, mg dm ⁻³					
60 mg dm ⁻³ de P	36,96 a	1,62 b	57,29 a	25,53 a	4,87 a	6,14 b
300 mg dm ⁻³ de P	38,46 a	2,02 a	58,29 a	26,03 a	4,80 a	6,64 a

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 6. Teores foliares de micronutrientes da *Sesbania rostrata* com e sem *Glomus etunicatum* (Ge) e nas doses de P.

Tratamentos	Micronutrientes				
	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	mg kg^{-1}				
Sem Ge	69,95 b	10,29 b	147,1 b	17,57 a	167,4 a
Com Ge	71,46 a	12,89 a	156,6 a	19,05 a	156,6 a
	P, mg dm^{-3}				
60 mg dm^{-3} de P	69,92 b	12,71 a	156,8 a	19,12 a	186,8 a
300 mg dm^{-3} de P	71,48 a	10,47 b	146,9 b	17,15 a	137,2 b

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Efeito negativo da presença do fungo foi observado para os nutrientes Ca e Mg, enquanto a absorção de praticamente todos os nutrientes ocorreu com maior intensidade (exceto Cu, Fe e Mn) quando as plantas foram submetidas a 300 mg dm^{-3} de P. Nesta dose de P, a maior absorção de nutrientes esteve relacionada com o maior valor de matéria seca da parte aérea e massa nodular caulinar, não mostrando efeito inibitório nessas variáveis.

4 CONCLUSÕES

Para o experimento I, os maiores valores das variáveis relacionadas ao crescimento, nutrição mineral e nodulação radicular e caulinar foram obtidos entre as doses 120 e 180 mg dm^{-3} de P, em plantas inoculadas com *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*. A inoculação de Ge com Az exerceu efeito positivo na nodulação radicular e caulinar.

Para o experimento II, plantas inoculadas com *Azorhizobium* e *Glomus etunicatum*, independentemente da presença de N, apresentaram maiores valores de produção de nódulos radiculares e caulinares, e maior acúmulo dos nutrientes P, Fe, Cu e B; houve efeito positivo da maior dose de P na produção de matéria seca da parte aérea e efeito negativo na porcentagem de colonização radicular das plantas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEBAYO, A.; WATANABE, I.; LADHA, J.K. Epiphytic occurrence of *Azorhizobium caulinodans* and other rhizobia on host and nonhost legumes. *Applied and Environmental Microbiology*, Washington, v.55, n.11, p.2407-2409, Nov. 1989.
- AHMAD, M.H. Compatibility and corelection of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia for tropical legumes. *Critical Research. Biotchnology*, v.15, p.229-239, 1995.
- ALAZARA, D.; DUHOUX, E. Nitrogen-fixing stem nodules on *Aeschynomene afraspera*. *Biology and Fertility of Soil*, Heidelberg, v. 4, p. 61-66, 1987.
- ASSIS, V.L.G. Uso de *Sesbania rostrata* Brem, como fonte de nitrogênio para arroz irrigado. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 80 p. (Tese de Doutorado)
- BAREA, J.M. Vesicular-arbuscular mycorrhizae as modifiers of soil fertility. *Advance Soil Science*, New York, v. 15, p.1-40, 1991.
- BECKER, M.; LADHA, J.K.; OTTOW, J.C.G. Growth and N₂-fixation of two stem-nodulating legumes and their effects as green manure on low land rice. *Soil Biological and Biochemistry*, Elmsford, v. 22, p.1109-1111, 1990.
- BOIVIN, C.; NDOYE, I.; LORTET, G.; NDIAYE, A.; LAJUDIE, P.de; DREYFUS, B. The *Sesbania* root symbionts *Sinorhizobium saheli* and *S. teranga* bv. *saesbaniae* can from stem nodules on *Sesbania rostrata*,

- although they are less adapted to stem nodulation than *Azorhizobium caulinodans*. **Applied Environmental Microbiology**, Washington, v.36, n. 3, p. 1040-1047, 1997.
- DILWORTH, M.J. Acetylene reduction by nitrogen-fixing from *Clostridium pasteurinum*. **Biochemistry Biophica Acta**, Amsterdam, v. 127, p. 285-294, 1966.
- DREYFUS, B.; DOMMERGUES, Y. Non-inhibition de lixiviation d'azote atmospherique par l'azote combiné chez one légumineuse à nodules caulinares, *Sesbania rostrata*. **Cr. Academy Science**, v. 291, p.767-770. 1980.
- DREYFUS, B.; GARCIA, J.L.; GILLIS, M.; Characterization of *Azorhizobium caulinodans* gen. nov. sp. nov. a stem-nodulation nitrogen-fixing bacterium isolated from *Sesbania rostrata*, **International Journal Systematic Bacteriology**, Washington, v.38, p. 89-98, 1988.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURI, N. Crescimento de leguminosas arbóreas em resposta a fósforo nitrogênio, fungos micorrízicos e rizóbio. I. *Albizia lebbek* (L.) Benth. **Revista Arvore**, Viçosa, v.19, n.3, p.293-307, 1995.
- FARIA, M.P.; SIQUEIRA, J.O.; VALE, F.R. do; CURI, N. Crescimento inicial da Acácia em resposta a fósforo, nitrogênio, fungo micorrízico e rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.209-216, 1996.
- GARDMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions Bristsh Mycology Society**, Cambridge, v. 46, p.235-244, 1963.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **The New Phytologist**, London, v. 84, n.3, p. 484-500, 1980.
- GUEYE, M. Effect of *Rhizobium* and *Rhizobium/Glomus* inoculations on nitrogen fixation in bambara groundnut. In: MOLONGOY, K. ; GUEYE, M.; SPENCER, D.S.C. (eds). **Biological nitrogen fixation and susteinablility of tropical agriculture.Nigeria: IITA**, 1992. **Anais...** 1992, p. 283-287. Proceedings of the 4 th international conference of the african association for biological nitrogen fixation.
- HUNTER, A.H. **Laboratory analysis of vegetal tissues samples**. Raleigh: International Soil Fertility Evaluation and Improvement Program, N.C.S.U., 1975. 5p.

- JASPER, D.A.; ABBOTT, D.K.; ROBSON, A.D. Acacias respond to additions of phosphorus and to inoculation with VA mycorrhizal fungi in soils stacked during mineral sand mining. *Plant and Soil*, The Hague, v.115, p.99-108, 1989.
- LADHA, J.K.; GARCIA, M. ; PAREEK, R.P.; RARIVOSOM, G. Relative contributions to nitrogenase (acetylene reduction) activity of stem and root nodules in *Sesbania rostrata*. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, v. 38, n.9, p.577-583, 1992.
- LADHA, J.K.; PAREEK, R.P.; SO, R.; BECKER, M. Stem-nodules symbiosis and its unusual properties . In: GRESSHOFF, P.M.; ROTH, S.; NEWTON, W.E. (eds). *Nitrogen fixation: achievements and objectives*. New York, Chapman and Hall, 1990. p.633-640.
- LINDERMAN, R.G. Vesicular-arbuscular mycorrhizal and soil microbial interactions. In: BETHLENFALVAY, G.J. & LINDERMAN, R.G. eds. *Mycorrhizal in sustainable agriculture*. Madison: ASA, 1992. p. 45-70.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e Aplicações*. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Growth, nodulation, and mycorrhizal colonization of four woody legumes in a low-fertility soil. IN: *International Symposium on sustainable agriculture for the Tropics – The role of biological nitrogen fixation*. Angra dos Reis. Abstracts. Angra dos Reis. EMBRAPA/CNPAB e UFFRJ, 1995. p.164-165.
- OLSEN, T.; HABTE, M. Mycorrhizal inoculation effect on nodulation and N accumulation in *Cajanus cajan* at soil P concentrations sufficient or inadequate for mycorrhiza-free growth. *Mycorrhiza*, Berlin, v. 5, p. 395-399, 1995.
- PAULA, M.A.; SIQUEIRA, J.O. Efeito de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento, nodulação e acúmulo do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília, v. 22, n.2, p. 171-178, 1987.
- PHILLIPS, J.M.; RAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycological Society*, Cambridge, v. 55, n.1, p. 158-61, Aug. 1970.
- RAHMAN, M.K.; PARSONS, J.W. effects of inoculation with *Glomus mosseae*, *Azorhizobium caulinodans* and rock phosphate on the growth of and nitrogen and phosphorus accumulation in *Sesbania rostrata*. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 25, n.1, p. 47-52, June.1997.

- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba: ESALQ-USP, 1974. 56p.**
- THAIAGRARAJAN, T.R.; AHMAD, M. A. Influência of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on the competitive ability of cawpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp in non-sterilizes soil. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v.15, n.4, p.294-296, 1993**
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Sistema para análise estatística (SAEG): guia resumido. Viçosa: Fundação Arthur Bernades/ Divisão de Informática, s.d.**

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A. Resumo de análise da variância da <i>Sesbania virgata</i> para altura e diâmetro em intervalos de quatorze dias.....	79
TABELA 2A. Resumo de análise da variância da <i>Sesbania rostrata</i> para altura e diâmetro em intervalos de quatorze dias.....	80
TABELA 3A. Resumo de análise da variância da <i>Sesbania virgata</i> para matéria seca da parte aérea (MSPA), número de nódulos radicular, massa nodular; atividade da nitrogenase total e específica (Nase); colonização micorrízica (COL).....	81
TABELA 4A. Resumo de análise da variância da <i>Sesbania rostrata</i> para matéria seca da parte aérea (MSPA); número de nódulos, massa nodular, atividade da nitrogenase total e específica (Nase) de nódulos radiculares e caulinares; colonização micorrízica (COL).....	82
TABELA 5A. Resumo da análise da variância para teores de macronutrientes nas folhas de <i>Sesbania virgata</i>	83
TABELA 6A. Resumo da análise da variância para teores de macronutrientes nas folhas de <i>Sesbania rostrata</i>	84
TABELA 7A. Resumo da análise da variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), teores foliares e acúmulos de N e P na <i>S. rostrata</i>	85
TABELA 8A. Resumo da análise da variância para o número, massa e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos radiculares em <i>S. rostrata</i>	86
TABELA 9A. Resumo da análise da variância para o número, massa e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos caulinares <i>S. rostrata</i>	86
TABELA 10A. Análise da variância para matéria seca da parte aérea (MSPA), número (No.), massa (MS) e atividade da	

	nitrogenase (ARA), total e específica de nódulos caulinares e massa de nódulos radiculares e atividade total e colonização micorrízica (COL) na <i>S. rostrata</i>	87
TABELA 11A.	Resumo da análise da variância (F) para teores foliares de macro e micronutrientes na <i>S. rostrata</i>	88

TABELA 1A. Resumo de análise da variância da *Sesbania virgata* para altura e diâmetro em intervalos de quatorze dias.

FV	Dias após a semeadura (DAS)						
	28	42	56	70	28	42	56
	Altura			Diâmetro			
	F						
INOC	NS	3,02**	6,48**	11,78**	NS	NS	NS
P	30,91**	528,82**	426,31**	546,51**	25,09**	152,74**	378,02**
INOC x P	NS	2,75*	4,35**	5,40**	2,37**	2,33**	3,48**
CV (%)	7,65	5,68	8,43	8,08	6,50	8,19	7,79
							7,17

**, * significativos a 1% e 5%, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 2A. Resumo de análise da variância da *Sesbania rostrata* para altura e diâmetro em intervalos de quatorze dias.

FV	Dias após a semeadura (DAS)							
	28	42	56	70	28	42	56	70
	Altura				Diâmetro			
	F							
INOC	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,76**	4,07**
P	42,75**	215,42**	789,95**	869,94**	146,78**	288,67**	612,50**	574,01**
INOC x P	NS	3,45**	3,52**	5,24**	2,30**	4,71**	3,57**	2,94**
CV (%)	17,66	13,74	7,38	7,10	8,11	9,61	7,54	8,08

**; * significativos a 1% e 5 %, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 3A. Resumo de análise da variância da *Sesbania virgata* para matéria seca da parte aérea (MSPA), número de nódulos radicular, massa nodular; atividade da nitrogenase total e específica (Nase); colonização micorrízica (COL)

FV	MSPA	Nodulação radicular		ARA		COL
		Número	Massa	Total	Específica	
				F		
INOC	10,9**	23,4**	3,8*	3,65*	3,92*	49,2**
P	330,1**	16,7**	11,5**	6,73**	6,2**	9,3**
INOC x P	7,2**	4,3**	ns	ns	Ns	3,7**
CV (%)	14,3	17,4	18,9	43,2	35,4	36,4

**; * significativos a 1% e 5 %, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 4A. Resumo de análise da variância da *Sesbania rostrata* para matéria seca da parte aérea (MSPA); número de nódulos, massa nodular, atividade da nitrogenase total e específica (Nase) de nódulos radiculares e caulinares; colonização micorrízica (COL).

FV	Nodulação radicular				Nodulação caulinar				COL
	MSPA	Número	Massa	ARA total	Número	Massa	ARA		
							Total	Específica	
	F								
INÓC	NS	6,0**	2,91*	NS	498,0**	303,0**	114,0**	251,0**	38,5**
P	507,0**	41,1**	42,9**	16,5**	100,0**	67,8**	25,5**	48,9**	8,8**
INOC x P	5,8**	2,1*	3,0**	NS	34,1**	24,9**	8,4**	17,6**	2,4*
CV (%)	11,6	38,0	11,2	26,5	18,7	28,1	26,5	29,0	35,4

** , * significativos a 1% e 5 %, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 5A. Resumo da análise da variância para teores de macronutrientes nas folhas de *Sesbania virgata*.

FV	Macronutrientes					
	N	P	K	S	Ca	Mg
	F					
INOC	3,15*	47,06**	5,88**	3,23*	8,72**	5,53**
P	49,38**	244,63**	29,41**	75,44**	113,29**	14,62**
INOC x P	3,16**	4,60**	5,40**	2,17*	1,61NS	1,95*
CV(%)	16,04	11,95	12,11	18,43	8,01	10,43

TABELA 6A. Resumo da análise da variância para teores de macronutrientes nas folhas de *Sesbania rostrata*

FV	Macronutrientes					
	N	P	K	S	Ca	Mg
INOC	16,99**	4,28**	1,92NS	5,17**	2,92**	16,04**
P	14,92**	152,99**	74,47**	20,80**	106,91**	66,47**
INOC x P	2,01*	3,90**	3,89**	8,59**	6,26**	3,84**
CV(%)	18,32	17,39	14,56	19,48	17,54	12,49

**, * significativos a 1% e 5%, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 7A. Resumo da análise da variância para a matéria seca da parte aérea (MSPA), teores foliares e acúmulos de N e P na *S. rostrata*.

FV	MSPA		Teores		Acumulado	
	N	P	N	P	N	P
INOC	7,9**		Ns	Ns	3,4*	2,3*
P	39,5**		Ns	Ns	13,0**	12,1**
INOCxP	Ns		Ns	Ns	Ns	Ns
CV%	25,1		24,10	28,59	24,45	21,25

***, ns, significativo a 5,1% e não significativo, respectivamente

TABELA 8A. Resumo da análise da variância para o número, massa e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos radiculares em *S. rostrata*.

FV	Nódulos	Massa nodular	ARA Total
	F		
INOC	9,94**	62,2**	6,21**
P	6,96**	12,5**	26,4**
INOCxP	3,35**	6,5**	Ns
CV%	37,2	27,3	11,2

*,**, ns, Significativo, a 5,1% e não significativo, respectivamente

98

TABELA 9A. Resumo da análise da variância para o número, massa e atividade da nitrogenase (ARA) de nódulos caulinares *S. rostrata*.

FV	Número de nódulos	Massa nodular	ARA total	ARA Específica
	F			
INOC	174**	72,9**	29,6**	80,7**
P	59,2**	31,5**	32,4**	89,0**
INOCxP	20,7**	11,6**	22,6**	42,9**
CV%	31,3	41,3	11,2	28,9

** Significativo a 1%.

TABELA 10A. Análise da variância para matéria seca da parte aérea (MSPA), número (No.), massa (MS) e atividade da nitrogenase (ARA), total e específica de nódulos caulinares e massa de nódulos radiculares e atividade total e colonização micorrízica (COL) na *S. rostrata*.

FV	Nódulos				ARA		COL %	
	Radiculares		Caulinares		Radicular	Caulinar		
	MSPA	MS	No.	MS	Total	Total		Especif
	F							
Ge	Ns	30,1**	13,9**	5,4*	11,5**	Ns	Ns	77,3**
P	93,7**	Ns	40,8**	Ns	7,8**	Ns	Ns	4,7*
N	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
GexP	Ns	5,7*	5,3**	Ns	Ns	Ns	Ns	6,15*
GexN	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	4,15*	4,85*	Ns
PxN	Ns	Ns	Ns	9,1**	Ns	6,70**	Ns	Ns
GexPxN	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns	Ns
CV%	5,30	28,48	14,80	21,60	24,00	34,80	30,82	19,90

Ge : *Glomus etunicatum*; **, * e ns significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente (Tukey).

TABELA 11 A. Resumo da análise da variância (F) para teores foliares de macro e micronutrientes na *S. rostrata*.

FV	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	B	Mn	F	
Ge	ns	7,88**	ns	9,97**	8,35*	ns	5,95*	15,88**	ns	10,35**	Ns		
P	ns	20,78**	ns	ns	ns	8,97**	6,46*	11,85**	ns	10,97**	8,95**		
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns		
GexP	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns		
GexN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns		
PxN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns		
GexPxN	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns		
CV%	11,90	11,91	7,09	7,71	2,04	7,71	6,34	13,80	10,91	1,63	Ns		7,35

*, **, ns: Significativos a 5% e 1% e não significativo respectivamente.