

**FUNGOS MICORRÍZICOS E DOSES DE  
FÓSFORO EM ALFAFA (*Medicago sativa* L.)**

**ROMERO FRANCISCO VIEIRA CARNEIRO**

**2000**

**ROMERO FRANCISCO VIEIRA CARNEIRO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS E DOSES DE FÓSFORO EM ALFAFA**  
*(Medicago sativa L.)*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração Forragicultura e Pastagens, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador**  
Prof. Antônio Ricardo Evangelista

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS - BRASIL**  
**2000**

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

**Carneiro, Romero Francisco Vieira**

**Fungos micorrízicos e doses de fósforo em alfafa (*Medicago sativa* L.) /  
Romero Francisco Vieira Carneiro. – Lavras : UFLA, 2000.**

**84 p. : il.**

**Orientador: Antônio Ricardo Evangelista.**

**Dissertação (Mestrado) – UFLA.**

**Bibliografia.**

**1. Alfafa. 2. Fungo micorrízico. 3. Adubação. 4. Fósforo. 5. Solo. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.**

**CDD-633.31893**

**ROMERO FRANCISCO VIEIRA CARNEIRO**

**FUNGOS MICORRÍZICOS E DOSES DE FÓSFORO EM ALFAFA**  
*(Medicago sativa L.)*

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Zootecnia, área de concentração Forragicultura e Pastagens, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em 18 de fevereiro de 2000

Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado – UFLA

Prof. Joel Augusto Muniz – UFLA

Prof. Gudesteu Porto Rocha – UFLA

  
Prof. Antônio Ricardo Evangelista  
(Orientador)

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS-BRASIL**

*A nosso Senhor Jesus Cristo por sua presença  
constante na minha vida, e por ter permitido a  
concretização de mais um desafio.*

**AGRADEÇO EM ESPECIAL**

*Aos meus Padrinhos Germano e Cely (in memorian), pelo  
apoio imensurável em todos os momentos e presenças  
marcantes durante todos os passos de minha vida,*

**OFEREÇO**

*Aos meus queridos pais, João e Maria Concebida, pelos  
ensinamentos, apoio, confiança e amor oferecidos; à minha  
esposa Ana Paula, companheira de todas as horas, que com  
muita compreensão soube enfrentar ao meu lado todos os  
desafios deste trabalho; à minha filha Leticia que veio  
tornar ainda mais grandiosa esta conquista em minha  
vida; e também às minhas irmãs, Marina e  
Magna, pelo incentivo e carinho.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Curso de Pós-graduação do Departamento de Zootecnia - DZO, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

Ao meu Orientador Prof. Antônio Ricardo Evangelista pelo seu companheirismo, amizade e incentivo, características marcantes de sua personalidade, bem como pelos conhecimentos transmitidos ao longo deste curso.

Ao Prof. José Oswaldo Siqueira pela colaboração imprescindível na elaboração e condução deste trabalho.

Ao Prof. Joel Augusto Muniz pela orientação na parte estatística.

Ao Prof. Gudesteu Porto Rocha pelo incentivo e sugestões oportunas.

Ao Prof. Sebastião Carlos da Silva Rosado por sua importante contribuição na redação deste trabalho.

Ao Prof. Valdemar Faquin pelas sugestões importantes em sua visita ao experimento, bem como pela sua contribuição para minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

A Maria Auxiliadora Silveira, Coordenadora de Zootecnia e Veterinária do CNPq, pelo constante incentivo e sugestões durante a redação deste trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Pesquisa Animal do DZO e Laboratório de Química-UFLA, pela colaboração durante as análises.

Ao funcionário do Laboratório de Microbiologia do solo, Manoel Aparecido da Silva, pela ajuda na realização das análises microbiológicas.

**Ao colega Luiz Arnaldo, doutorando do Departamento de Ciência do Solo na área de Nutrição Mineral de Plantas, pela ajuda durante os cálculos e preparo das soluções nutritivas.**

**Aos colegas do curso de Pós-Graduação, em especial aos da área de Forragicultura e Pastagens: Leonardo, Cristiano e Érica, pelo agradável convívio.**

**Ao colega Sidnei Tavares Reis pela colaboração durante as análises estatísticas.**

**Ao aluno de Graduação e amigo de todas as horas Marco Túlio Lima Tonelli, pela sua incansável participação durante todas as etapas deste trabalho.**

**A todos que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.**

## **BIOGRAFIA**

***ROMERO FRANCISCO VIEIRA CARNEIRO***, filho de João Francisco Carneiro Filho e Maria Concebida Vieira Carneiro, nasceu em 30 de novembro de 1975, no município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro.

Em março de 1993 ingressou na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde em 24 de janeiro de 1998 obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em abril de 1994 foi selecionado para exercer atividades de monitoria junto ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), e em abril de 1995 junto ao Departamento de Agricultura (DAG) da UFLA. Ingressou como bolsista de iniciação científica do CNPq em agosto de 1995, sob orientação do Professor Valdemar Faquin, no DCS-UFLA, e em agosto de 1997, sob orientação do Professor Antônio Ricardo Evangelista, no Departamento de Zootecnia - UFLA.

Em março de 1998 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Lavras, na área de concentração Forragicultura e Pastagens.

Em 18 de fevereiro de 2000 submeteu-se à defesa de dissertação para obtenção do título de mestre.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
2.1 Micorrizas .....	<b>3</b>
2.1.1 Aspectos gerais .....	<b>3</b>
2.2 Importância da adubação fosfatada .....	<b>5</b>
2.3 Fósforo e micorrizas .....	<b>8</b>
2.4 Manejo da associação micorrízica em leguminosas .....	<b>11</b>
2.4.1 Considerações importantes para o manejo do solo - visando os FMA's .....	<b>13</b>
2.5 Benefícios das endomicorrizas para as plantas .....	<b>14</b>
2.5.1 Efeitos no crescimento da planta e absorção de nutrientes .....	<b>14</b>
2.5.2 Efeito na fixação biológica de nitrogênio .....	<b>16</b>
2.5.3 Efeitos não nutricionais .....	<b>17</b>
2.6 Caracterização da espécie em estudo .....	<b>17</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
3.1 Área experimental e Período .....	<b>21</b>
3.2 Caracterização, coleta e preparo do solo .....	<b>21</b>
3.3 Delineamento experimental e tratamentos .....	<b>24</b>
3.4 Implantação e condução do experimento .....	<b>24</b>
3.5 Parâmetros avaliados .....	<b>25</b>
3.6 Análises estatísticas .....	<b>27</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
4.1 Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA) .....	29
4.2 Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR) .....	36
4.3 Rendimento de proteína bruta (RPB) .....	39
4.4 Composição mineral .....	42
4.4.1 Acúmulo de fósforo (P) .....	42
4.4.2 Acúmulo de potássio (K) .....	46
4.4.3 Acúmulo de cálcio (Ca) .....	49
4.4.4 Acúmulo de magnésio (Mg) .....	53
4.4.5 Acúmulo de enxofre (S) .....	56
4.5 Taxa de colonização micorrízica (TXC), Densidade de esporos (DE) e Nodulação .....	59
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>

## RESUMO

CARNEIRO, Romero Francisco Vieira. **Fungos micorrízicos e doses de fósforo em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. Lavras: UFLA, 2000. 84p. (Dissertação – Mestrado em Zootecnia)<sup>1</sup>.

Com o objetivo de avaliar as respostas de fungo micorrízico arbuscular e adubação fosfatada na produção e qualidade da forragem da alfafa *Medicago sativa* L. cv. Crioula, em solo de baixa fertilidade natural, foi conduzido um experimento em casa de vegetação do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras (MG). Foi utilizado um solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro (LE), epiálico, A moderado, textura muito argilosa, relevo plano, procedente do campus da UFLA e coletado na camada de 0-20 cm de profundidade. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 5x3, com 5 repetições, perfazendo um total de 15 tratamentos, sendo 5 doses de P (30, 60, 120, 180 e 240 mg de P/kg de solo) e 3 condições de solo (solo natural, desinfestado por fumigação com brometo de metila, desinfestado e inoculado com o fungo micorrízico arbuscular-FMA- *Glomus etunicatum*), aplicados à espécie *Medicago sativa* L. cv. Crioula. Os cortes foram realizados sempre quando as plantas atingiam 20% de florescimento, para a determinação da produção total de matéria seca da parte aérea, o rendimento de proteína bruta (RPB) e quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S, no período experimental. Após o último corte, avaliaram-se a produção de matéria seca da raiz, a taxa de colonização micorrízica, a densidade de esporos e o número de nódulos. Os resultados obtidos permitiram verificar que o aumento nas doses de adubação fosfatada (P), as condições de solo (S) e a interação (P) x (S), influenciaram significativamente todas as variáveis estudadas. A adubação fosfatada provocou um aumento na produção de matéria seca da parte aérea e raiz, no rendimento de proteína bruta e no acúmulo de P, K, Ca, Mg e S. Essa constatação foi significativamente mais pronunciada no solo sob inoculação com FMA. Verificou-se que a alfafa é altamente dependente da condição micorrízica para maximizar sua produção, principalmente nos níveis intermediários de adubação fosfatada. Elevadas doses de P reduziram a colonização micorrízica e a densidade de esporos no solo. O P e a tríplice simbiose alfafa - *Rhizobium* - FMA aumentaram o número de nódulos nas raízes.

---

<sup>1</sup> Comitê orientador: Antônio Ricardo Evangelista – UFLA (Orientador), Joel Augusto Muniz - UFLA, José Oswaldo Siqueira - UFLA

## ABSTRACT

CARNEIRO, Romero Francisco Vieira. Mycorrhizal fungi and doses of phosphorus in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Lavras: UFLA, 2000. 84p. (Dissertation - Master Program in Animal Science)<sup>1</sup>.

With the purpose of evaluating the responses of arbuscular mycorrhizal fungus and phosphorus fertilization on the yield and quality of the forage of alfalfa *Medicago sativa* L. cv. Crioula, in soil of low natural fertility, was conducted an experiment in a greenhouse of the Department of Animal Science of the Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras (MG). A soil classified as Red Dark Latosol (LE), epialic, A moderate, very clayey texture, flat relief, coming from the UFLA campus and collected in the 0-20 cm deep layer. The experimental design utilized was the completely randomized, in a 5 x 3 factorial arrangement, with 5 replications, amounting to a total of 15 treatments, they being 5 levels of P (30, 60, 120, 180 e 240 mg of P/kg of soil) and 3 conditions of soil (natural soil, deinfested by fumigation with methyl bromide, deinfested and inoculated with the arbuscular mycorrhizal fungus - AMF - *Glomus etunicatum*), applied to *Medicago sativa* L. cv. Crioula. The cuts were performed whenever the plants reached 20% of flowering, for determination of the aerial part dry matter yield, crude protein yield (CPY) and accumulated amounts of P, K, Ca, Mg and S, in the experimental period. After the last cut, root dry matter yield, mycorrhizal colonization rate, spore density in soil and nodule number were evaluated. The results obtained allowed to verify that the increase in the doses of phosphorus fertilization (P), the soil conditions (S) and the (P) x (S) interaction, influenced significantly all the variables studied. Phosphorus fertilization provoked an increase in the dry matter yield of the aerial part and root, in crude protein yield and in the accumulation of P, K, Ca, Mg and S. That finding was significantly more pronounced in the soil under inoculation with AMF. It was verified that alfalfa is highly dependent on the microthrophic condition to maximize its yield, mainly at the intermediary levels of phosphorus fertilization. Elevated doses of P reduced mycorrhizal colonization and soil spore density. P and the triple symbiosis alfalfa - *Rhizobium* - AMF, increased the nodule number in the roots.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Antônio Ricardo Evangelista - UFLA (Adviser), Joel Augusto Muniz - UFLA, José Oswaldo Siqueira - UFLA

# 1 INTRODUÇÃO

Em extensas áreas do Brasil, a produtividade e valor nutricional das forrageiras são baixos em decorrência, principalmente, das condições adversas de clima e solo. A fertilidade do solo, especialmente a capacidade de fixação de fósforo, toxidez de alumínio e manganês, a baixa capacidade de troca catiônica e a escassez de nutrientes concorrem para o baixo rendimento das forrageiras, sendo problema ainda maior para as leguminosas, como é o caso da alfafa, dificultando uma exploração racional e econômica da agropecuária no país.

A baixa disponibilidade de fósforo é um dos fatores mais limitantes ao cultivo das pastagens na América Tropical. Cerca de 95% dos solos brasileiros são deficientes em P (Paulino et al., 1992) em consequência do tipo de solo e da baixa mobilidade do íon fosfato, como também da forte energia com que ele é retido pelas partículas do solo e pela pobreza deste elemento nos materiais de origem (Muggler et al., 1996).

A deficiência de P no solo, além de comprometer o valor nutritivo da forragem, diminui a capacidade de suporte das pastagens, e ainda compromete a maximização da exploração de leguminosas forrageiras, limitando a oportunidade de elevação dos níveis de proteína bruta na dieta animal.

A introdução, portanto, de leguminosas exóticas mais produtivas, é limitada em decorrência do baixo nível de fósforo disponível e elevada acidez dos solos das regiões tropicais, comprometendo a formação e o estabelecimento das mesmas. Em consequência, intensas aplicações de adubos fosfatados são requeridas para a obtenção de maior produtividade animal.

A agricultura brasileira em 1996, registrou um consumo de fertilizantes fosfatados equivalente a 1,7 milhões de toneladas de  $P_2O_5$ , sendo a eficiência de utilização de fontes mais solúveis em torno de 30% (Lopes e Yamada, 1998).

A elevada participação dos fertilizantes no custo total de produção, e principalmente associada à baixa eficiência de utilização dos fosfatos, práticas alternativas para minimizar e/ou tornar o uso desses mais eficiente, devem ser adotadas visando tornar a atividade agropecuária mais eficaz no que se refere à diminuição de custos. Dentre essas práticas, destaca-se o manejo da simbiose micorrízica para melhoria da nutrição fosfatada, pois os estímulos ao crescimento das plantas, atribuídos aos fungos micorrízicos arbusculares (FMA's), estão fortemente correlacionados com a maior acumulação de nutrientes de baixa mobilidade, em particular o fósforo. Os vários processos bioquímicos envolvidos nesta relação simbiótica não acrescentam fósforo ao sistema solo-planta, mas podem aumentar o aproveitamento do fósforo do solo e dos fosfatos aplicados como adubos (Dobereiner e De-Polly, 1998).

Portanto, tendo em vista o papel relevante da adubação fosfatada na produção e qualidade das plantas forrageiras e o seu custo relativamente alto, torna-se de suma importância a busca de tecnologias que permitam reduzir o uso do fósforo, mantendo-se o rendimento das forrageiras. Neste contexto, sugere-se o uso de fungos micorrízicos arbusculares que, além de potencializarem a absorção de nutrientes, são eficientes em condições sub-ótimas de disponibilidade de P, situação predominante na maioria dos solos tropicais.

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência de fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) sobre a alfafa (*Medicago sativa* L.), submetida a doses crescentes de fósforo, em solo de baixa fertilidade submetidos ou não à fumigação.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Micorrizas**

#### **2.1.1 Aspestos gerais**

Em 1885, o botânico Albert Bernard Frank foi quem primeiro compreendeu o significado da associação simbiótica não antagônica que se estabelece entre as radículas de plantas superiores e determinadas espécies de fungos do solo (Zambolim e Siqueira, 1985), criando o termo “micorriza” para descrever esta simbiose, lançando as bases da atual “Micorrizologia”. O termo micorriza origina-se do grego “mikes”, que significa fungo, e rhiza”, raízes. Essas associações já eram conhecidas há pelo menos 50 anos antes de Frank, mas consideradas de natureza parasítica.

Siqueira e Franco (1988) definiram “micorriza” como uma simbiose endofítica, biotrófica e mutualista prevalente na maioria das plantas vasculares nativas e cultivadas, caracterizada pelo contato íntimo e a perfeita integração morfológica entre o fungo e a planta, pela regulação funcional e troca de metabólitos, com “benefícios mútuos”. Assim, micorrizas não são fungos, ou raízes, ou quaisquer associações entre fungos e raízes, mas sim associação mutualista entre raízes e certos grupos de fungos do solo.

Estes autores comentam que o caráter biotrófico obrigatório dificulta os estudos sobre aspectos básicos de sua biologia limitando o uso de técnicas modernas que permitam a análise e caracterização genética do fungo, e principalmente dos fatores genéticos e genes que controlam sua infectividade (virulência) e eficiência simbiótica.

As micorrizas são agrupadas de acordo com a sua morfoanatomia em ectomicorrizas, ectoendomicorrizas e endomicorrizas (Gerdemann, 1968). Em

todos os tipos, o fungo penetra a raiz colonizando apenas o córtex, intercelularmente no caso das ectomicorrizas, e intracelularmente no caso das ectoendomycorrizas e endomicorrizas.

Lewis (1975) propôs a classificação das micorrizas em quatro categorias principais: ectomicorrizas, endomicorrizas vesículo-arbusculares (MVA), micorrizas ericáceas e micorrizas orquidáceas.

Segundo Siqueira (1993), a designação vesículo-arbuscular foi atribuída, inicialmente, em razão de suas estruturas características, aos arbúsculos, que ocorrem dentro das células corticais, e às vesículas, que ocorrem dentro e entre as células corticais. Atualmente, sabe-se que nem todos os gêneros de fungos micorrízicos formam vesículas, passando, então, a serem denominados micorrizas arbusculares.

Em aproximadamente 70,9% das espécies de plantas tropicais ocorrem micorrizas arbusculares, em 13,4% não ocorrem micorrizas e em 15,7% ocorrem outros tipos de simbiose radicular com fungos (Trappe, 1987).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) são de extrema importância, uma vez que ocorrem em inúmeras culturas de interesse agrônomo, como as pertencentes às famílias das gramíneas e leguminosas (Gerdemann, 1968). Nesta revisão serão descritos alguns aspectos apenas deste tipo de associação micorrízica.

Os FMA's são atualmente classificados na Classe *Zigomicetae*, ordem *Glomales*, que é composta pelas famílias *Glomaceae*, *Acaulosporaceae* e *Gigasporaceae*. A taxonomia destes fungos é baseada nas características fenotípicas de seus esporos, como cor, tamanho, forma e morfologia da sua parede, espessura, número e disposição (Morton e Benny, 1990). Apenas tecidos específicos das raízes, como o epidérmico e o cortical, são colonizados, enquanto os meristemáticos e os vasculares são resistentes à colonização

(Bonfante e Perotto, 1992). As principais estruturas formadas no solo e no interior das raízes são: hifas extra-radiculares, hifas intra-radiculares, vesículas e arbúsculos (Siqueira, 1993).

A infecção inicia-se com a quebra da dormência dos propágulos dos fungos na rizosfera. Forma-se o tubo germinativo e as hifas infectivas, que por ação de enzimas hidrolíticas, como pectinases, celulases e hemicelulases, e por pressão mecânica, penetram na raiz formando o apressório na zona de diferenciação e alongamento, constituindo a unidade de infecção. A partir deste ponto, as hifas se espalham pelo córtex intercelularmente, tornando-se intracelulares quando formam as hifas enoveladas, diferenciando-se em arbúsculos, nas camadas mais internas, e finalmente em vesículas e esporos (Siqueira e Franco, 1988). Os arbúsculos constituem o sítio de troca de metabólitos entre o fungo e a planta e possuem vida média de 4 a 13 dias (Barea e Azcón-Aguilar, 1983), quando, então, se degeneram. As vesículas são repletas de grânulos de lipídios e sua função é, provavelmente, a de órgão de reserva temporária do fungo (Gerdemann, 1968).

## **2.2 Importância da adubação fosfatada.**

Para Van Raij (1991), a maior parte dos solos brasileiros é deficiente em fósforo e, portanto, apresenta respostas à adubação fosfatada. Os efeitos das adubações fosfatadas sobre as culturas são especialmente acentuadas em solos de baixa fertilidade natural, nunca antes adubados. Contudo, mesmo em solos já adubados anteriormente, a deficiência de fósforo ainda é importante (Van Raij, 1981). Vale, Guedes e Guilherme (1995) afirmam que a disponibilidade de fósforo apenas é significativamente elevada após saciar grande parte da fome do solo por este nutriente; mesmo que o teor de P no solo seja elevado para alto, a adubação de plantio com esse nutriente não pode ser dispensada.

Segundo Faquin (1994), nas regiões tropicais e subtropicais, como acontece no Brasil, o fósforo é o elemento cuja falta no solo, mais frequentemente limita a produção, principalmente em culturas anuais: mais de 90% das análises de solo, no Brasil, mostram teores de P disponível menores que 10 ppm (baixo), e em solos de cerrado os teores são de 1 ppm ou menores. Além da carência generalizada de P nos solos brasileiros, o elemento apresenta forte interação com o solo (fixação), o que reduz a eficiência da adubação fosfatada. Aproximadamente 95-99% do P total existente no solo encontra-se na forma insolúvel, sendo indisponível para a absorção vegetal (Hayman, 1983).

Embora o fósforo seja classificado como um macronutriente primário e de grande importância na adubação, seus teores nas plantas são bem mais baixos do que os de N e K, aproximando-se mais dos teores dos macronutrientes secundários. No entanto, participa de um grande número de compostos nas plantas, que são essenciais em diversos processos metabólicos, fazendo parte de compostos com função de armazenamento e transferência de energia na forma de ATP e componentes dos carboidratos fosforilados, dos nucleótídeos e dos fosfolípidos (Van Raij, 1991).

A exigência em P é variável em função das espécies e entre variedades dentro da mesma espécie (Salinas e Sanches, 1976). Essas diferenças abrangem aspectos fisiológicos e genéticos. As plantas de ciclo rápido e sistema radicular pouco desenvolvido aproveitam mal o P existente no solo, exigindo, portanto, teores disponíveis maiores. Já as espécies de ciclo longo e sistema radicular desenvolvido aproveitam melhor teores relativamente baixos de P disponível no solo (Van Raij, 1981).

O desenvolvimento das forrageiras é freqüentemente limitado pela baixa disponibilidade de fósforo nos solos, o que compromete e prejudica os índices zootécnicos da pecuária bovina, pois além da grande importância no

estabelecimento das forrageiras (Saraiva et al., 1986), favorece, ainda, o perfilhamento e o desenvolvimento da parte aérea e das raízes. Sua deficiência causa distúrbios imediatos e severos no metabolismo e no desenvolvimento das plantas (Epstein, 1975).

Em ensaios exploratórios de fertilidade do solo, Costa, Paulino e Schammas (1989) constataram que o P foi o nutriente mais limitante ao crescimento de diversas leguminosas forrageiras tropicais, reduzindo significativamente os rendimentos de forragem, a nodulação e, conseqüentemente, os teores acumulados de nitrogênio na matéria seca produzida.

Nuernberg (1994) destaca que a produção contínua de alfafa geralmente ocasiona quedas significativas das reservas de fósforo no solo, o que justifica uma adequada adubação fosfatada a cada ciclo de produção, visando a manutenção de seu crescimento.

Lobato, Kornelius e Sanzonowicz (1986) concluíram que os níveis críticos para as forrageiras tropicais são mais baixos que para as leguminosas de clima temperado, demonstrando que a *Centrosema pubescens* tem um nível crítico interno menor que a espécie *Medicago sativa*. A primeira espécie é nativa de regiões com solos pobres em fósforo disponível, enquanto a segunda é originária de regiões com solos apresentando alto teor de fósforo disponível, além de outros nutrientes.

A quantidade de fósforo extraída pela alfafa é relativamente pequena: uma produção de 22 t.ha<sup>-1</sup> retira do solo aproximadamente 55 kg ha<sup>-1</sup> de P; esta quantidade pode parecer muito pequena, mas a disponibilidade logo após a aplicação é baixa, em geral de 10 a 30% (Schmehl e Romsdal, 1963), o que exige o uso de doses relativamente grandes.

Griffith (1974), ao estudar o fósforo disponível e total em nove tipos de solos observou que houve um maior esgotamento no teor de fósforo ao longo do perfil naqueles que se cultivou alfafa, e ocorreu um menor murchamento em períodos de estiagem, demonstrando a importância do nutriente para o desenvolvimento do sistema radicular da planta.

Reid e Jung (1974) observaram um incremento na produção de matéria seca com o aumento das doses de P, e que em decorrência da adubação, o teor de P na planta pode ser utilizado como parâmetro para calcular as necessidades para uma lactação diária adequada de uma vaca leiteira.

A aplicação de P ao solo, além de aumentar de forma substancial o rendimento das forrageiras tropicais, contribui com um aumento significativo do teor do elemento no tecido vegetal, mas em quantidade insuficiente para atender as exigências de bovinos em pastejo (Gonçalves et al., 1980). Pesquisadores do CIAT (1982) afirmam que gramíneas forrageiras tropicais, ainda que recebendo elevadas doses de P, não apresentam teores deste elemento no tecido acima de 0,15%.

Portanto, com o intuito de melhorar a produtividade e qualidade das forrageiras em solos tropicais com baixa disponibilidade de P, uma opção seria a adoção de práticas que beneficiem a micorrização, bem como a seleção de espécies forrageiras mais eficientes na absorção e utilização do nutriente.

### **2.3 Fósforo e micorrizas**

A fração mais importante para a nutrição vegetal é o fósforo em solução, que é geralmente muito pequena e reflete o balanço entre os processos de fornecimento, imobilização e absorção de P pela planta. Mesmo estando presente no solo em grandes quantidade e sendo requerido pelas plantas em

pequenas doses, adubações fosfatadas maciças são requeridas para se obter boa produtividade na maioria das culturas. Mas a maior parte do fósforo adicionado como fertilizante na solução do solo é rapidamente convertido para formas não disponíveis para a absorção vegetal. Isso ocorre devido à sua dinâmica no solo, principalmente suas reações de adsorção aos óxidos de Fe e Al e precipitação com Al, Fe e Ca, que favorecem a sua imobilização química (Siqueira e Franco, 1988).

Para Siqueira (1993), os microrganismos do solo constituem o meio mais satisfatório capaz de aproveitar o fósforo de formas estáveis. Dentre estes, estão os fungos micorrízicos que formam associações simbióticas com as raízes dos vegetais. As micorrizas, de ocorrência natural quase universal, podem ajudar grandemente as plantas no aumento da exploração e absorção de nutrientes essenciais, particularmente em solos de baixa fertilidade.

As associações entre micorrizas arbusculares e as raízes das plantas geralmente não apresentam especificidade em termos de compatibilidade (Mosse, 1981). Geralmente, todas as espécies de fungos micorrízicos arbusculares podem colonizar qualquer planta capaz de formar associações micorrízicas. Por isso, elas são consideradas universais, mas pode haver uma certa preferência entre fungos e plantas (Siqueira e Franco, 1988). Segundo Lynch (1986), as ciperáceas, crucíferas, algumas quenopodiáceas e certas aquáticas, são exemplos de plantas que não formam associações não-patogênicas entre suas raízes e fungo (Micorrizas). A dependência ao micotrofismo por uma determinada espécie vegetal constitui fator importante na resposta à inoculação e está relacionada com a morfologia de seu sistema radicular (Zambolim e Siqueira, 1985). Por exemplo, plantas com raízes grossas pouco ramificadas e com poucos pêlos radiculares apresentam alta tendência à simbiose micorrízica para um crescimento normal.

Para Siqueira e Paula (1986) a utilização de nutrientes de formas pouco disponíveis constitui um importante mecanismo, através do qual as micorrizas favorecem a nutrição das plantas. Segundo esses autores, estudos com P radioativo ( $^{32}\text{P}$ ), no solo, mostram que as plantas micorrizadas têm acesso às mesmas formas de P que as sem micorrizas. Entretanto, elas utilizam mais eficientemente P, e outros nutrientes de formas minerais de baixa solubilidade, como fosfatos de Fe e Al, predominantes nos solos ácidos dos trópicos e rochas fosfatadas.

A disponibilidade de P no solo constitui o mais importante fator edáfico que afeta as micorrizas, pois ao mesmo tempo que a maior absorção deste elemento é o principal mecanismo de resposta das plantas à micorrização, ele exerce um efeito controlador sobre o grau de colonização das raízes pelo fungo (Siqueira e Paula, 1986). Em condições sub-ótimas de P, a taxa de colonização é alta e a planta tem grandes benefícios da micorrização. Por outro lado, em condições de níveis muito baixos ou altos de P no meio, a micorrização pode provocar redução no crescimento, conferindo à simbiose natureza parasítica. Segundo Miranda (1982), a efetividade da associação endomicorrízica estaria vinculada a um teor mínimo de disponibilidade de fósforo no solo.

Souza (1998) observou, em leguminosas forrageiras, que o aumento nas doses de P e a inoculação micorrízica influenciaram positivamente a produção de matéria seca e o acúmulo de PB, P, Ca e Mg na parte aérea das espécies estudadas, e com o aumento nas doses de adubação fosfatada, os benefícios da inoculação micorrízica tenderam a diminuir, tornando-se, às vezes, prejudiciais nas doses maiores de P. Essa afirmação também foi feita por Paulino, Ocampo e Bedmar (1986), que obtiveram resultados semelhantes em estudo com a espécie *Neonotonia wightii* (Lackey).

Paulino et al. (1997), avaliando os efeitos das associações micorrízicas, em *Pueraria phaseoloides* sem adubação, com adição de micorriza, adição de fosfato de rocha e micorriza mais fosfato de rocha; observaram efeito significativo e positivo do tratamento em que se associou micorriza e fosfato de rocha sobre a produção de matéria seca, teores e quantidades absorvidas de nitrogênio e fósforo, o dobro do número e peso dos nódulos e maiores taxas de colonização radicular.

Em estudo realizado com a cultura da soja, Faquin (1988) demonstrou que a micorrização proporcionou uma diminuição de 43% na dose de P e 22,5% no teor de P disponível no substrato para obter 90% da produção máxima de grãos. Isto, na prática, corresponde a uma sensível economia na adubação, visto que, nas condições brasileiras, o adubo fosfatado é o mais aplicado naquela cultura. Este tipo de conhecimento é importante para um manejo adequado da adubação, visando o máximo benefício das micorrizas.

Segundo Cardoso e Lombais (1992), a micorriza vesículo-arbuscular (MVA) é a mais comum entre as micorrizas, ocorrendo principalmente nas culturas de importância econômica. Esses autores destacam que a adequação das práticas agrícolas, buscando um manejo da associação que lhe propicie expressar todo seu potencial, é objetivo final da pesquisa sobre a MVA, o que, sem dúvida, reverterá em benefícios significativos para a agricultura.

#### **2.4 Manejo da associação micorrízica em leguminosas**

Um dos aspectos de grande relevância no manejo das micorrizas são as adubações. Os solos tropicais são, em geral, pobres, e conseqüentemente necessitam ser corrigidos e adubados para que se eleve o potencial de produtividade dos mesmos (Malavolta et al., 1974). É possível que com um manejo adequado, as micorrizas nativas aumentem a eficiência de utilização do

P das reservas naturais do solo, o que obviamente provoca uma diminuição no P total dessas reservas. No caso do fósforo, a reposição só pode ser efetuada por adições externas (orgânicas e/ou inorgânicas). Muitos dados têm sido apresentados mostrando que a colonização micorrizica e o efeito dos FMA's na produção de matéria seca das plantas decrescem com o aumento das doses de P (Schubert e Hayman, 1986; Mosse, 1973; Abbot e Robson, 1977).

Quando essa informação é transmitida sem considerações sobre as concentrações de fósforo no solo ou sobre as condições de condução dos experimentos, tem-se a impressão de que ficaria difícil compatibilizar o manejo dos FMA's com altos níveis de produtividade. Saif (1986) relata que, em geral, a colonização das raízes da leguminosa *Stylosanthes capitata* não foi prejudicada com a adição de até 40 kg P/ha, aplicados como superfosfato triplo ou fosfato natural, em ensaios de campo. Lopes (1989) destaca que níveis de adubação para a soja, em sistemas de alta tecnologia, de 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha distribuídos em faixas de 20 cm ao longo das fileiras, não influenciaram severamente a colonização das raízes. O mesmo autor comenta, ainda, que índices de colonização da magnitude de 85% do comprimento das raízes da soja foram observados em condições de campo, mesmo com adubações de até 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Miranda (1982) afirma que um mínimo de fósforo disponível deve ser necessário para que os efeitos da colonização sejam evidenciados.

Além do manejo das adubações, Lopes (1989) destaca a grande variação entre as espécies de FMA's, para um máximo aproveitamento do fosfato no solo, como fator relevante no manejo das micorrizas em leguminosas forrageiras. Resultados obtidos com o siratro em solo esterilizado mostraram que a eficiência em promover aumento na produção de matéria seca foi dependente da espécie de fungo utilizada (Lopes, Oliveira e Neptune, 1980). Medina, Sylvia e Kretschmer (1988) constataram diferenças na quantidade acumulada de P pelo

*Calopogonium coeruleum* em função das cinco espécies de FMA utilizadas no estudo. Plazola, Cerrato e Etchevers (1988) verificaram as diferenças na colonização do sistema radicular entre as leguminosas leucena e calopogônio, quando submetidas à mesma espécie de fungo micorrízico. Esses autores relataram que além do comportamento diferenciado entre as espécies micorrízicas no aproveitamento do P, as leguminosas também apresentam grau variado de dependência ao micotrofismo.

Powel (1982) concluiu que as espécies micorrízicas variam na velocidade de colonização do sistema radicular das plantas. Para as leguminosas de ciclo longo, como a alfafa, deve-se selecionar espécies cujo efeito na colonização seja de longa durabilidade, mesmo que apresente colonização inicial lenta.

Portanto, para o manejo das micorrizas, deve-se atentar para o fato de que os efeitos no melhor aproveitamento de fosfatos dependem do tipo de solo, das espécies de leguminosas e de fungos, e da natureza e dosagem do fosfato (Mosse, 1981; Miranda, 1982; Paulino et al., 1992; Siqueira, 1993).

#### **2.4.1 Considerações importantes para o manejo do solo - visando os FMA's.**

Segundo Siqueira e Franco (1988) os fatores que influenciam as micorrizas podem ser separados em fatores do solo, climáticos e da planta. A respeito do solo, destaca-se a disponibilidade de nutrientes, o pH, características físicas e processos biológicos existentes no mesmo. Como fatores climáticos estão a intensidade luminosa, temperatura, a umidade do solo e todas as variações climáticas que afetam a taxa fotossintética das plantas, influenciando indiretamente as micorrizas. As plantas também apresentam grande influência no estabelecimento das associações em função do variado grau de dependência

micorrízica para o crescimento ou produção máxima, em um dado nível de fertilidade para as diferentes espécies.

Para a maximização dos benefícios das associações micorrízicas, algumas práticas no manejo do solo são recomendadas, tais como: a redução no uso de insumos (N, P, Fungicidas), manutenção da cobertura vegetal e conservação do solo, rotação e consorciação com espécies micotróficas, redução das práticas de cultivo intensivo (adoção do cultivo mínimo), melhoria das condições edáficas através da calagem e adubação orgânica, e o emprego da inoculação quando requerida (Siqueira, 1993).

## **2.5 Benefícios das endomicorrizas para as plantas**

### **2.5.1 Efeitos no crescimento da planta e absorção de nutrientes**

Segundo Siqueira e Franco (1988), estudos têm demonstrado a habilidade das endomicorrizas em estimular o crescimento vegetal, como consequência de seu efeito sobre a nutrição vegetal, principalmente no grande aumento da absorção de P, que é, indubitavelmente, o mais importante nutriente envolvido na resposta de crescimento das plantas micorrizadas, particularmente em condições de baixa fertilidade do solo. Entretanto, as endomicorrizas não só aumentam a absorção de P, mas também podem ajudar na absorção de outros nutrientes, principalmente os íons que se difundem lentamente no solo, tais como o Zn, Cu, Ca e S. Este maior incremento na absorção de nutrientes pelas plantas micorrizadas é devido, principalmente, à capacidade das hifas dos fungos em explorar maior volume de solo (Miranda, 1982; Paulino et al., 1992).

Entretanto, é extremamente difícil medir o aumento no volume de solo explorado pela hifa externa do fungo. Smith (1990) sugeriu que 1 cm de raiz sem micorrizas pode explorar um volume de aproximadamente 1-2 cm<sup>3</sup> de solo

com auxílio dos pêlos radiculares, mas esse volume pode ser potencialmente aumentado de 5 a 200 vezes pelas hifas externas do fungo, admitindo o seu crescimento radial em torno da raiz. Um aumento no volume de solo rizosférico, explorado acima de 200 cm<sup>3</sup> por centímetro de raiz infectada, tem sido observado, mas o aumento de 12 - 15 cm<sup>3</sup> por centímetro de raiz é o mais comum.

Valores obtidos na quantificação de hifas formadas no solo têm variado entre 0,6 a 4,2 m por grama de solo e por centímetro de raiz infectada (Abbot, Robson e Boer, 1984; Abbot e Robson, 1985). Esses valores são afetados pelo pH do solo, nível de P no solo e espécies de fungos envolvidas (Schwab, Menge e Leonard, 1983; Abbot e Robson, 1985). No entanto, ainda não se sabe se toda hifa formada no solo tem habilidade de absorver nutrientes.

Segundo Marschner e Dell (1994), este aumento considerável do volume de solo explorado deve-se ao fato de que as hifas externas podem atingir regiões afastadas em até 9 cm, com isso absorvendo e translocando P para a planta hospedeira a partir do solo que está fora da zona de depleção da raiz (Johansen, Jakobsen e Jensen, 1993); pela mobilização lenta dos nutrientes disponíveis ou pela liberação de exsudados, conforme verificado por Ae et al. (1996), capazes de solubilizar o P pouco solúvel fixado ao Fe e/ou Al, como os ácidos orgânicos cítricos e piscídico, que podem complexar o Fe e Al, liberando o P.

Quando a relação simbiótica fungo-planta se estabelece, a planta fornece energia e fatores de crescimento via fotossintetatos, enquanto o fungo absorve, através do micélio externo, nutrientes minerais, especialmente o P, da solução do solo, transferindo-os para a planta através dos arbúsculos. A micorrização representa um dreno adicional da planta de 10 a 20% de seus fotossintetatos que são requeridos para a formação, manutenção e função das estruturas micorrízicas (Jakobsen e Rosendahl, 1980). Para atender esta demanda adicional, as plantas

micorrizadas passam por um ajuste fisiológico representado principalmente pela elevação na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e redução dos carboidratos armazenados como amido (Siqueira et al., 1994).

### 2.5.2 Efeito na fixação biológica de nitrogênio

Pela melhoria na nutrição vegetal, as micorrizas vesículo-arbusculares podem estimular a fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas, cujo processo exige elevada quantidade de P e Mo, principalmente. Leguminosas com dupla simbiose (*Rhizobium* e FMA's) apresentam maior nodulação, maior atividade da nitrogenase, maior concentração de leg-hemoglobina e teor mais alto de nitrogênio (Carling et al., 1978).

Observa-se, ainda, que pode ocorrer troca de nutrientes entre plantas crescendo em proximidade, mediada por hifas do fungo, ligadas a mais de um hospedeiro ao mesmo tempo (Newmann e Ritz, 1986), o que é importante em pastagens consorciadas. No caso do nitrogênio, foi demonstrado que pode haver absorção e translocação de NH<sub>4</sub> pelas hifas do fungo (Ames et al., 1983).

Segundo Souza (1998), a inoculação micorrízica beneficiou a nodulação das raízes do estilosantes, melhorando a fixação de N<sub>2</sub>, quando comparado a plantas não micorrizadas. Santos (1999) observou o mesmo benefício para o amendoim forrageiro.

Crush (1974) ratificou o efeito da micorriza no estímulo à nodulação, demonstrando que a mesma estimulou o crescimento e a nodulação de *Centrosema pubescens*, *Stylosanthes guyanensis*, *Trifolium repens* e *Lotus pedunculatus* e que as plantas não micorrizadas apresentavam taxas menores de fixação do N<sub>2</sub>, medida através da técnica da redução do acetileno.

### 2.5.3 Efeitos não nutricionais

O favorecimento na relação água-plantas, ou seja, maior tolerância à seca, produção e acúmulo de substâncias de crescimento, redução dos danos causados por patógenos (constituindo-se em forma de controle biológico), maior tolerância a estresses ambientais e fatores fitotóxicos e melhoria na agregação do solo (Siqueira, 1993).

Existem evidências experimentais de que as hifas do fungo micorrízico podem absorver e transportar água em quantidades suficientes para sustentar as plantas durante os períodos de seca. A maior tolerância das plantas micorrizadas ao estresse hídrico pode estar relacionada, em muitos casos, a uma melhor nutrição da planta (Fitter, 1988). Concordando com Goicoechea, Antolin e Sanchez-Diaz (1997) também observaram na cultura da alfafa, tanto em plantas exclusivamente micorrizadas como em plantas micorrizadas e inoculadas com *Rhizobium meliloti*, um aumento no conteúdo de nutrientes nas folhas durante período de seca, comparativamente às plantas não micorrizadas no mesmo período.

Goicoechea et al.(1996) relatam que esse fato se deve a uma maior capacidade de absorção e transporte de nutrientes do sistema radicular para a parte aérea, proporcionado pela associação micorrízica.

## 2.6 Caracterização da espécie em estudo

A alfafa é uma leguminosa forrageira perene rica em proteína, cálcio, fósforo e vitaminas A e C. Desde longa data é considerada como a Rainha das Forrageiras. Produz forragem tenra, suculenta e muito palatável, sendo utilizada principalmente sob a forma de feno. Em Minas Gerais, o cultivo de alfafa ocupa uma área aproximada de 3000 ha e a produção estimada de massa fresca é de

oito t/ha/corte, sendo essa produtividade média um grande indicativo da adaptação dessa cultura na região (Evangelista et.al., 1992).

Nuernberg, Milan e Silveira (1990) descrevem a alfafa (*Medicago sativa* L.) como sendo originária do Sudoeste da Ásia, de onde foi levada para a Europa. Posteriormente, foi difundida para as Américas através dos Espanhóis. Os primeiros países a cultivarem essa forrageira na América do Sul foram: Peru, Chile, Argentina e Uruguai. Todas as evidências são de que o Estado do Rio Grande do Sul tenha sido o primeiro a cultivar essa espécie no país, sendo depois difundida para os demais Estados da Federação, mostrando adaptação a uma ampla variação climática.

A alfafa é perene, de crescimento estival, pertencente à família Fabaceae. Apresenta raiz pivotante que atinge de dois a cinco metros de profundidade, embora em casos especiais possa chegar até 20 metros. Entre 30 e 60 cm da superfície a raiz apresenta intensa ramificação secundária, responsável principal pelo suprimento de nutrientes (Nuernberg, 1994).

Nuernberg (1994) destaca, ainda, que a adaptação da alfafa às condições de solo é mais restrita que às condições de clima. Os solos com boa profundidade, boa permeabilidade e com lençol freático a mais de dois metros de profundidade, normalmente são aptos a essa cultura, especialmente devido ao fato dessa ter sistema radicular fusiforme e penetrante.

Dentre as leguminosas forrageiras, a alfafa talvez seja a mais exigente em termos de pH do solo, a faixa ótima para essa espécie é de 6,0 a 7,5. Outros fatores limitantes também merecem destaque, como a toxidez de alumínio e manganês e a baixa disponibilidade de fósforo, por estar este adsorvido aos minerais de argila e aos óxidos de ferro e alumínio (Werner et al., 1996)

Segundo Costa e Monteiro (1997), os solos na região de origem da alfafa, de modo geral, possuíam pH próximo à neutralidade, com elevado teor de

cálcio, tanto na superfície quanto nas camadas mais profundas, o que caracterizou a planta como exigente em fertilidade do solo. Os autores afirmam ainda, que essa elevada exigência certamente constituiu um dos fatores limitantes para a expansão da cultura da alfafa no Brasil, devido às extensas áreas de solos de baixa fertilidade.

Werner et al. (1996) classificam a alfafa como sendo uma leguminosa para exploração intensiva, e recomendam calcário para se elevar a saturação por bases a 80%, valor bem superior ao recomendado para outras espécies forrageiras, podendo a dose máxima, para alfafa em formação, chegar a dez t/ha, demonstrando claramente que a alfafa é uma planta extremamente exigente em boas condições de fertilidade do solo.

No Brasil, Keplin (1994) recomenda que o fósforo disponível no solo seja elevado para  $15 \text{ mg/dm}^3$ , em pré-plantio da alfafa, por meio de realização de fosfatagem, para o estabelecimento da cultura. Saibro (1985) encontrou respostas à adubação fosfatada, para doses de até 200 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  quando se aplicou calcário. Nuernberg (1994) relata que em trabalhos conduzidos no Estado de Santa Catarina, foi mais econômica a aplicação das doses de 130 a 150 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$  logo no estabelecimento, sendo realizadas depois adubações de manutenção da ordem de 20 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ .

A adubação fosfatada é, portanto, uma prática cuja importância para a cultura da alfafa interfere sobre a produtividade e qualidade da forragem produzida, fato amplamente comprovado pela literatura (Oliveira, Oliveira e Tsai, 1999).

Como foi descrito anteriormente, os fungos micorrízicos representam uma forma eficiente em promover a melhoria do aproveitamento do P no solo. Em experimento conduzido em casa de vegetação, Tsai e Phillips (1992) avaliaram a infecção de raízes intactas de alfafa em vasos contendo solução

nutritiva (sem fósforo) e vermiculita autoclavada. Não foi observada deficiência de P apenas nos vasos que receberam inoculação micorrízica, ficando demonstrada a alta capacidade de extração de P pelas hifas do fungo, pois a única fonte de fósforo era o substrato (vermiculita expandida).

Segundo Cardoso e Lombais (1992), para alfafa, respostas significativas têm sido alcançadas com a micorrização, principalmente em solos extremamente ácidos e pobres em fósforo. Os autores afirmam, ainda, que o processo de micorrização da alfafa em escala comercial é visto como uma das formas mais adequadas para garantir a utilização efetiva do fósforo aplicado no solo, de forma a diminuir a quantidade aplicada sem afetar a produtividade.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área experimental e período

O experimento foi conduzido no período de abril a agosto de 1999, em casa de vegetação do Setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras, região sul do Estado de Minas Gerais, localizada a 21°14' de latitude sul e 40°00' de longitude oeste de Greenwich, a uma altitude de aproximadamente 900 metros (Brasil, 1992).

### 3.2 Caracterização, coleta e preparo do solo

Foi utilizado um latossolo vermelho-escuro (LE), epiálico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano, procedente do campus da UFLA, coletado a uma profundidade de 0-20 cm.

Após a coleta do solo, o mesmo foi peneirado em peneira de malha de 2,0 mm e seco ao ar. Uma amostra composta homogênea foi tomada para a realização de análises químicas e físicas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da UFLA. Os resultados estão apresentados na Tabela 1. Em seguida, o solo foi submetido à calagem, sendo a dose a ser aplicada calculada pelo método da saturação por bases para se elevar o valor V para 80%, utilizando-se o calcário dolomítico calcinado micropulverizado, com PRNT = 100%.

Decorridos 20 dias de incubação em sacos plásticos sem furos, o solo foi seco e dois terços do total foram acondicionado por 72 horas, em uma caixa de cimento, vedada com lona plástica, na qual efetuou-se a desinfestação utilizando-se o brometo de metila na dosagem de 1,0 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de solo, a fim de eliminar os fungos micorrízicos nativos.

**TABELA 1. Caracterização química e física do solo utilizado.\***

<b>Atributos</b>	<b>Valores</b>	<b>Interpretação</b>
pH em água	5,0	Acidez média
P (mg/dm <sup>3</sup> )	1,0	Baixo
K <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> )	17,0	Baixo
Ca <sup>2+</sup> (cmol./dm <sup>3</sup> )	0,2	Baixo
Mg <sup>2+</sup> (cmol./dm <sup>3</sup> )	0,1	Baixo
Al <sup>3+</sup> (cmol./dm <sup>3</sup> )	0,7	Médio
H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup> (cmol./dm <sup>3</sup> )	7,0	Alto
SB (cmol./dm <sup>3</sup> )	0,3	Baixo
t (cmol./dm <sup>3</sup> )	1,0	Baixo
T (cmol./dm <sup>3</sup> )	7,3	Médio
m (%)	67,1	Muito alto
V (%)	4,7	Muito baixo
Matéria Orgânica (dag/kg)	3,3	Alto
Areia (%)	22,0	-
Silte (%)	8,0	-
Argila (%)	70,0	-

\* Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DCS - UFLA, segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

SB - Soma de Bases = Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup> + K<sup>+</sup> (meq/100 cm<sup>3</sup> de solo); t – capacidade efetiva de troca de cátions (CTC efetiva) = SB + Al<sup>3+</sup> (meq/100 cm<sup>3</sup> de solo); T – capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0: meq/100 cm<sup>3</sup> de solo); m – saturação de alumínio na CTC efetiva -  $m = 100 \times \frac{Al^{3+}}{t}$ ; V – porcentagem de saturação de base da

CTC a pH 7,0 -  $v = 100 \times \left( \frac{SB}{T} \right)$ .

O solo foi acondicionado em vasos sem furos na razão de 5,7 kg de solo/vaso, cuja adubação de plantio constou da mistura dos reagentes (P.A.): fosfato de potássio, orto-fosfato de sódio, sulfato de potássio, cloreto de potássio, ácido fosfórico concentrado, ácido bórico, cloreto de cobre, cloreto de manganês, sulfato de zinco e ácido molibídico, para atender as seguintes dosagens em mg/kg de solo: P (30, 60, 120, 180 e 240), K (100) e os micronutrientes - B, Cu, Mn, Zn e Mo (0,5; 1,5; 3,0; 5,0 e 0,1, respectivamente). Após a adubação de plantio, o solo permaneceu em incubação nos vasos por um período de uma semana. A adubação nitrogenada em cobertura foi aplicada na dosagem de 30 mg/kg de solo, usando como fonte o nitrato de amônio, a partir dos 75 dias após plantio, uma vez por semana durante sete semanas.

Após o período de incubação nos vasos, uma amostra representativa de cada dose de P aplicada foi enviada ao Laboratório de Fertilidade do Solo (DCS - UFLA) para a certificação de que as doses de P aplicadas, abrangeriam limites de disponibilidade de P variando de baixo até alto, para o solo em questão (Tabela 2).

**TABELA 2.** Teores de fósforo após aplicação dos tratamentos de adubação fosfatada \*.

<b>Doses</b>	<b>Valores de P (mg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Interpretação</b>
30	2	Baixo
60	4	Baixo
120	8	Médio
180	18	Alto
240	22	Alto

\* Análises realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DCS - UFLA, segundo metodologia da EMBRAPA (1997).

### **3.3 Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, sendo os tratamentos dispostos num esquema fatorial 5 x 3, constituídos por cinco doses de P (30, 60, 120, 180 e 240 mg de P/kg de solo) e três condições de solo (natural, desinfestado por fumigação e desinfestado por fumigação inoculado com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* Becker & Gerd), perfazendo um total de 15 tratamentos e 75 parcelas.

### **3.4 Implantação e condução do experimento**

A semeadura foi efetuada em 9 de abril de 1999, utilizando-se 20 sementes de alfafa (*Medicago sativa* L. cv. Crioula) por vaso. O desbaste foi realizado 15 dias após a emergência, deixando-se cinco plantas por vaso. A cultivar Crioula foi utilizada no estudo em questão devido a sua boa adaptação às condições edafoclimáticas da Região Sul de Minas Gerais (Evangelista et. al., 1997).

A inoculação com o fungo micorrízico arbuscular foi feita aplicando-se no solo, a 5,0 cm de profundidade e abaixo das sementes, 7,0 ml de solo-inóculo contendo raízes infectadas e pedaços de hifas, utilizando-se recipiente plástico com volume exato de 7,0 ml, totalizando a aplicação de 245 esporos por vaso. Posteriormente à emergência das plântulas, foram preparadas soluções com solo natural (solução A) e com o solo inóculo (solução B), obtidas por suspensão de 10 cm<sup>3</sup> de solo em seis litros de água, seguida por tamização em peneiras com aberturas de 0,710 e 0,053 mm e filtragem em papel de filtro para eliminação de propágulos, com objetivo de equilibrar a microbiota entre os solos. A solução A

foi aplicada nos tratamentos com solo desinfestado e solo inoculado. Já a solução B foi aplicada nos tratamentos com solo natural e solo desinfestado.

O inóculo, da espécie micorrízica *Glomus etunicatum* Becker e Gerd, escolhido por sua efetividade e ocorrência comum na região, foi multiplicado por cinco meses em vasos contendo solo esterilizado, tendo como planta hospedeira a espécie *Brachiaria brizantha*. As sementes da alfafa foram previamente inoculadas com o *Rhizobium meliloti*, estirpe Br 7407, nas seguintes proporções de mistura: 1,5 g de turfa estéril, 0,5 ml de meio contendo o inóculo, 2,0 ml de água, misturando-se em 50 g de semente. Ambos os inoculantes foram cedidos pela seção de Microbiologia do Solo do DCS - UFLA.

A umidade do solo nos vasos, nas parcelas, foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP), com uso de água desmineralizada, através de pesagens dos vasos. Os cortes da forragem foram realizados a 8,0 cm do solo, sempre quando as plantas atingiam 20% de florescimento. Avaliou-se o efeito dos tratamentos baseado no total de material obtido após os cortes.

### 3.5 Parâmetros avaliados

A parte aérea colhida após cada corte foi pesada para obtenção do rendimento de matéria seca (MS) e acondicionada em sacos de papel, previamente identificados. Este material foi seco em estufa com circulação de ar a 65-70°C para obtenção do peso pré-seco. Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Willey, com malha de 20,0 mesh, armazenado em potes devidamente etiquetados para posteriores análises químicas. Posteriormente, foram tomadas amostras deste material e levadas à estufa a 105 °C, para a determinação da matéria seca a 105 °C da parte aérea (Horwitz, 1975), sendo todas as demais análises corrigidas com base nesta determinação.

Após o último corte, com solo parcialmente seco, as raízes foram recuperadas através de peneiramento e coleta manual, seguida por lavagem em água corrente.

Os efeitos dos tratamentos sobre a alfafa foram avaliados pela produção total de matéria seca da parte aérea e da raiz; pelo rendimento de proteína bruta; pelas quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S na matéria seca da parte aérea; taxa de colonização micorrízica; densidade de esporos e pela avaliação conceitual do número de nódulos.

Os valores de proteína bruta foram determinados através do método de Kjeldahl. A determinação dos minerais (P, K, Ca, Mg e S) foi feita pelo método da digestão nitro-perclórica. Os valores de Ca e Mg nos extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o K por fotometria de chama (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989); o P por colorimetria, e o S por turbidimetria (Blanchar, Rechm e Caldewell, 1965).

As análises para determinação da MS (parte aérea e raiz), teores de PB, P, Ca e Mg foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA e as análises para determinação dos teores de K e S foram realizadas no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA.

Foram retiradas amostras de radículas (nas porções superiores, medianas e terminais do sistema radicular) e colocadas no conservante F.A.A. (13,0 ml de formol + 5,0 ml de ácido acético + 200,0 ml de etanol 50%), para posterior avaliação da colonização micorrízica. No preparo da amostra, para esta avaliação foi utilizado o método descrito por Phillips e Hayman (1970), no qual, basicamente, se faz o clareamento das raízes pelo aquecimento em solução de KOH a 10%, acidificação com HCl diluído e a coloração com azul de tripano a

0,05%. A estimativa da porcentagem de colonização foi feita pelo método da placa riscada, segundo Giovanetti e Mosse (1980).

Para a quantificação de esporos no solo, as amostras compostas de aproximadamente 50,0 ml de solo foram submetidas ao método de decantação e peneiramento úmido, segundo Gerdemann e Nicolson (1963), seguida de centrifugação em água por três minutos e em sacarose 50% por dois minutos. No material obtido, foi feita a contagem de esporos, com auxílio de microscópio, em placas com anéis concêntricos.

### 3.6 Análises estatísticas

Os dados foram analisados usando o software SISVAR (Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados), como descrito por Ferreira, (1998). O teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade foi empregado para comparação entre as médias dos tratamentos referentes às condições de solo. Para representação gráfica das médias estimadas pelas equações de regressão para descrição das variáveis avaliadas em função das doses de P, foi utilizado o programa Sigmaplot-Cientific Graphic Software. Foram determinadas, pela análise de regressão, as equações para produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S, taxa de colonização micorrízica e densidade de esporos no solo para ambas as condições de solo. As variáveis foram analisadas utilizando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + p_i + s_j + ps_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

**Sendo:**

$Y_{ijk}$  - valor observado correspondente à dose  $i$  de fósforo na condição  $j$  de solo e na repetição  $k$ ;

$\mu$  - média geral;

$p_i$  - efeito da dose  $i$  de fósforo com  $i = 1, 2, \dots, 5$ ;

$s_j$  - efeito da condição de solo  $j$ , com  $j = 1, 2, 3$ ;

$ps_{ij}$  - efeito da interação dos fatores doses de fósforo e condição de solo  $j$ ;

$\varepsilon_{ijk}$  - o erro experimental associado a  $Y_{ijk}$ , onde  $k = 1, 2, \dots, 5$ .

Por hipótese admite-se que  $\varepsilon_{ijk}$  tem distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA)

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da produção total de matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a produção de matéria seca da parte aérea (Tabela 1 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 1, Tabela 5 A). Comparando-se as médias de produção de matéria seca promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 3), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento de produtividade equivalente a 9,6 vezes para a dose 30 mg de P/kg de solo; 11,9 vezes para a dose 60; 2,4 vezes para a dose 120; 1,09 vezes para a dose 180 e 1,15 vezes para dose 240. Isto demonstra que a maior eficiência da alfafa em utilizar o fósforo do solo, deve-se à presença de fungos micorrízicos, principalmente nas doses intermediárias de P.

Esta constatação reforça a teoria de Clark (1997) de que os efeitos da inoculação com FMA's são mais marcantes em condições desfavoráveis de fertilidade de solo e estresse mineral. Quanto a produção de matéria seca, os resultados relacionam-se àqueles encontrados por Goicoechea et al. (1996), que observaram maiores produções da alfafa devido à micorrização quando comparam solos com quantidades iguais em nutrientes variando apenas a presença ou não de micorriza.

**TABELA 3. Produção de Matéria Seca da Parte Aérea (g/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.**

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,36 a	0,18 a	1,74 a
60	1,56 b	1,19 b	14,14 a
120	8,08 c	15,21 b	36,21 a
180	33,65 c	43,69 b	47,57 a
240	43,17 c	54,79 b	62,96 a

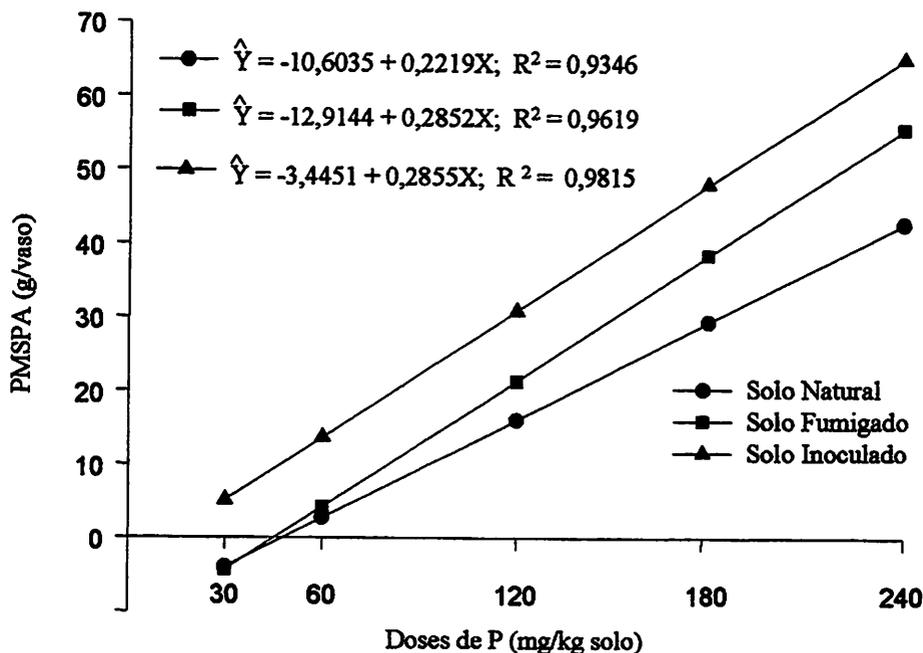
**Diferença mínima significativa (DMS) = 3,02**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

Os efeitos da utilização de fosfatos solúveis, de maneira geral, indicam que em níveis médios ou baixos de P, as micorrizas podem aumentar a absorção de P, o crescimento e a nodulação da alfafa, mas em altos níveis de P disponível, pode ocorrer uma diminuição na infecção micorrízica (Crush, 1974; Barea e Ázcon-Aguilar, 1983; Barea, Ázcon-Aguilar e Azcon, 1983). Essas respostas, entretanto, são condicionadas às inter-relações existentes entre características do solo, espécies de leguminosas e de fungos micorrízicos (Mosse, 1981).

A diminuição da influência das micorrizas sobre produção de matéria seca com o aumento da disponibilidade de fósforo é explicada pela ação regulatória do processo simbiótico promovida pelo fósforo, como afirmam Zambolim e Siqueira (1985). Em condições ótimas de fósforo disponível, a planta apresenta menor dependência de fixação do nutriente por via alternativa, como é a associação micorrízica. Paulino, Ocampo e Bedmar (1986) observaram este fato estudando a micorrização nas leguminosas forrageiras : centrosema,

soja perene, siratro e galáctia. Souza (1998) e Santos (1999) confirmaram esta observação estudando o estílozantes e o amendoim forrageiro, respectivamente.



**FIGURA 1.** Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA) da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

A alfafa mostrou-se altamente responsiva e dependente ao micotrofismo. Apesar da redução do efeito da micorrização com o aumento das doses de fósforo, este efeito sobre a produção de matéria seca foi superior ao solo não micorrizado em todas as doses de adubação fosfatada, conforme comprovado pelo teste de Tukey (Tabela 3). Como as doses utilizadas proporcionaram níveis de disponibilidade de fósforo até 22 ppm (Tabela 2), supõe-se que deve existir resposta da simbiose micorrízica mesmo sob as doses de adubação fosfatada

manejadas atualmente sob a cultura no Brasil, em função da existência de recomendação baseada na elevação do teor de P disponível para 15 ppm (Keplin, 1994).

Malavolta et al. (1974) afirmam que as respostas das plantas à adubação fosfatada para um pleno crescimento são variadas em função das condições físico-químicas dos solos, que determinam diferentes capacidades de suprimento da solução do solo. Moreira (1997), estudando o efeito de diferentes doses de P sobre a alfafa em casa de vegetação, num solo de média fertilidade natural, encontrou produção máxima de matéria seca com a dose 197,5 mg de P/kg de solo, e o comportamento da produção foi descrito por um modelo quadrático. Também em casa de vegetação, Yupanqui (1997), estudando níveis críticos de P para se obter 90% da produção máxima da alfafa em diferentes solos, observou, em um solo com características físico-químicas semelhantes ao utilizado no presente estudo, valores de 18,4 a 22,4 ppm de P (extrator Mehlich 1) como sendo níveis adequados de disponibilidade para a cultura. Esses valores corresponderam à aplicação de 250,1 a 265,8 mg de P/kg de solo. Para o presente estudo, a dose 240 mg de P/kg de solo, gerando a disponibilidade de 22 ppm, alcançou as maiores produções em todas as condições de solo. Entretanto, quando a alfafa foi submetida à micorrização, detectou-se aumento médio de 1,42 vezes em relação ao controle (Tabela 4).

**TABELA 4. Médias de Produção de Matéria Seca da Parte Aérea (PMSPA) da alfafa em função das condições de solo.**

<b>Condições de solo</b>	<b>PMSPA (g/vaso)</b>
Natural	17,36 c
Fumigado	23,01 b
Inoculado com FMA	32,53 a

**DMS = 1,35**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

Numa condição sub-ótima de disponibilidade de fósforo, tomando-se como referência a dose 120 mg/kg de solo (8 ppm de fósforo disponível no solo), atingiu-se um incremento em produtividade da ordem de 2,4 vezes (como demonstrado anteriormente). Quando observa-se que 90% das análises de solo do Brasil revelam teores de fósforo inferiores a 10 ppm (Faquin, 1994), nota-se que a micorrização sobre a alfafa deve gerar efeitos expressivos sobre o rendimento da cultura em solos tropicais, e viabiliza sobremaneira o estabelecimento da mesma em função dos benefícios, sobre a produção e qualidade da forragem promovidos pela nutrição fosfatada, fato amplamente citado na literatura segundo Oliveira, Oliveira e Tsai (1999).

Observou-se, ainda, contribuição positiva sobre a produção de matéria seca da alfafa, promovida pelos fungos micorrízicos nativos (solo natural), nas doses 30 e 60 mg de P/kg de solo (Tabela 3), da ordem de 2 e 1,34 vezes, respectivamente, apesar de não terem sido apontadas diferenças significativas em função, provavelmente, do baixo rendimento da alfafa em pequenas doses de fósforo. Para as demais doses aplicadas, verificou-se superioridade para os solos que sofreram o processo de fumigação (Figura 1), contrariando, em parte, os

resultados obtidos por Souza (1998) estudando o comportamento do estilosantes em solo natural, fumigado e fumigado inoculado em diferentes níveis de adubação fosfatada. Este autor observou que para o solo natural, a leguminosa teve resposta intermediária em produção de matéria seca entre os solos inoculado e solo apenas fumigado, pela contribuição dos fungos micorrízicos nativos. Supõe-se que a fumigação de solo com o brometo de metila tenha causado mineralização da matéria orgânica promovendo a disponibilização de nutrientes, dentre os quais, principalmente o nitrogênio (Tabela 5).

Não foi efetuada a adubação nitrogenada de plantio em função do alto teor de matéria orgânica do solo utilizado e da inoculação com o *Rhizobium meliloti*, visando a fixação do N<sub>2</sub> atmosférico. As plantas cultivadas nos solos que receberam tratamento de desinfestação tiveram crescimento diferenciado em função desta liberação de nitrogênio, principalmente na forma de nitrato.

**TABELA 5.** Resultado da análise de nitrogênio mineral no solo, realizada 70 dias após o plantio\*.

Condições de solo	N - Mineral	
	N - NH <sub>4</sub>	N - NO <sub>3</sub>
Solo natural	13	13
Solo fumigado	13	26

\*Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas - DCS - UFLA.

Hannaway e Shuler (1993), citados por Fontes (1994), recomendam aplicações de até 60 kg/ha de N no estabelecimento da alfafa, quando os teores de N no solo forem menores que 15 ppm de N-NO<sub>3</sub> ou quando os teores de matéria orgânica forem menores que 1,5 a 2,0%, sugerindo, então, que a

adubação nitrogenada no experimento em questão seria recomendada apenas para o solo natural (Tabela 5), fato que não ocorreu. Entretanto, segundo Oliveira, Oliveira e Tsai (1999), nos procedimentos adotados pela ESALQ para correção e fertilização de estabelecimento da alfafa, não consta a recomendação de adubação nitrogenada para solos ricos em matéria orgânica.

A alfafa é conhecida como excelente extratora tanto para fósforo, potássio e outros elementos, quanto para nitrogênio do solo, principalmente na forma de nitrato (Rasse e Smucker, 1999), e a maior disponibilidade de nitrato foi verificada nos solos que receberam fumigação. Esses autores comentam, ainda, que entre a fase inicial de germinação e a efetivação do processo simbiótico, a alfafa precisa de uma fonte de nitrogênio para sua manutenção. Para algumas leguminosas, a semente possui quantidade suficiente de N para garantir a germinação e sobrevivência até o estabelecimento do processo simbiótico. No caso da alfafa, a semente possui tamanho reduzido, tornando importante o N fornecido pelo solo. E conforme recente trabalho conduzido no Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP, citado por Oliveira, Oliveira e Tsai (1999), plantas de alfafa mantidas em condições de casa de vegetação durante 35 dias, com diferentes concentrações de nitrogênio em solução nutritiva, demonstraram a influência positiva de baixas concentrações de N sobre a nodulação e atividade da enzima nitrogenase, que é uma medida indireta da atividade do processo simbiótico.

Supõe-se, então, que as variações encontradas nas concentrações de  $N-NO_3$  tenham proporcionado o comportamento diferenciado do solo natural quanto à produção de matéria seca, quando comparados aos demais solos (Figura 1), mascarando a contribuição dos fungos micorrízicos nativos.

Os resultados de produção de matéria seca evidenciam a importância da adubação fosfatada para o estabelecimento da alfafa em solos de baixa

fertilidade. E a presença da colonização micorrízica com o FMA *Glomus etunicatum*, maximizou significativamente o efeito da adubação fosfatada em promover o aumento da produção de matéria seca da cultura.

#### **4.2 Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR)**

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da produção de matéria seca do sistema radicular da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para o desenvolvimento do sistema radicular (Tabela 1 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 2, Tabela 5 A). Comparando-se as médias de produção de matéria seca promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 6), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento no desenvolvimento do sistema radicular equivalente a 6,3 vezes para a dose 30 mg de P/kg de solo; 7,1 vezes para a dose 60; 2,2 vezes para a dose 120; 1,18 vezes para a dose 180 e 1,10 vezes para dose 240. Verificou-se que o menor desenvolvimento da parte aérea da alfafa, no solo natural, não se relacionou com o sistema radicular (Tabela 7).

**TABELA 6.** Produção de matéria seca do sistema radicular (g/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,30 a	0,24 a	1,52 a
60	1,44 b	1,28 b	9,20 a
120	4,40 c	10,00 b	22,20 a
180	25,20 b	26,80 b	31,80 a
240	34,20 ab	31,80 b	35,20 a

**DMS = 2,90**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

**TABELA 7.** Médias de produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR) em função das condições de solo.

Condições de solo	PMSR (g/vaso)
Natural	13,10 b
Fumigado	14,02 b
Inoculado com FMA	19,98 a

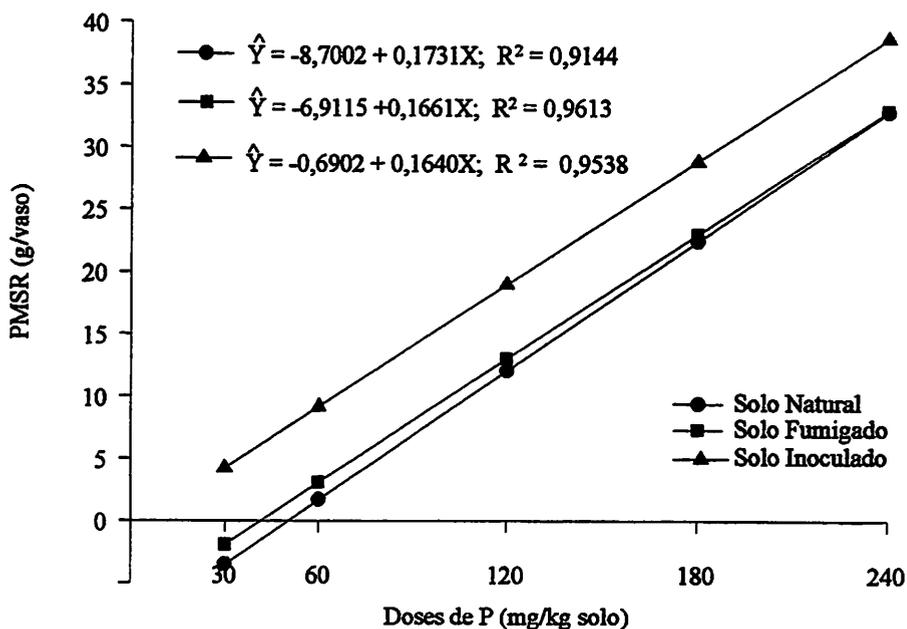
**DMS = 1,29**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

Os resultados encontrados demonstram a maior capacidade de exploração do solo pelo sistema radicular da alfafa, quando cultivada em presença de FMA's. Fato também observado por Souza (1998), principalmente

em níveis médios de disponibilidade de P no solo. O autor encontrou uma redução de 43% nas necessidades de P, do estilosantes, proporcionado pela maior eficiência do sistema radicular na fixação de P.

Santos (1999), analisando o comportamento das plantas controle de braquiarião (sem micorrizas), concluiu que a adubação fosfatada, exclusivamente, já permite aumento na produção de matéria seca da raiz pois o fósforo é considerado, conforme Guss, Gomide e Novais (1990), um nutriente estimulador do desenvolvimento radicular. Santos (1999) encontrou, para o amendoim forrageiro, aumentos no desenvolvimento do sistema radicular de até 4,5 vezes quando comparou plantas inoculadas e não inoculadas.



**FIGURA 2.** Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR) da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

Portanto, através dos dados da Tabela 7 verifica-se que a inoculação com FMA constituiu-se em fator determinante para a melhoria do desenvolvimento do sistema radicular da alfafa.

#### **4.3 Rendimento de proteína bruta (RPB)**

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) do rendimento de proteína bruta da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para o acúmulo de proteína bruta na matéria seca da planta (Tabela 1 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 3, Tabela 5 A). Comparando-se as médias de produção de matéria seca promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 8), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento no rendimento de proteína bruta equivalente a 8,9 vezes para a dose 30 mg de P/kg de solo; 12,1 vezes para a dose 60; 2,2 vezes para a dose 120; 1,14 vezes para a dose 180 e 1,41 vezes para a dose 240. A colonização micorrízica proporcionada pelos fungos nativos proporcionou aumentos de rendimento nas doses 30 e 60 mg de P/kg de solo da ordem de 1,8 e 1,9 vezes, respectivamente. Supõe-se que o suprimento deficiente de nitrogênio na fase inicial de crescimento da alfafa tenha comprometido a média de rendimento de proteína bruta das plantas cultivadas em condição natural (Tabela 9, Figura 3).

**TABELA 8.** Rendimento de proteína bruta (g/vaso) da alfafa sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
0,50 a	0,09 a	0,05 a	
60	0,67 b	0,34 b	4,16 a
120	2,37 b	3,59 b	7,90 a
180	5,81 b	8,10 a	9,31 a
240	5,67 c	8,03 b	11,33 a

**DMS = 1,23**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

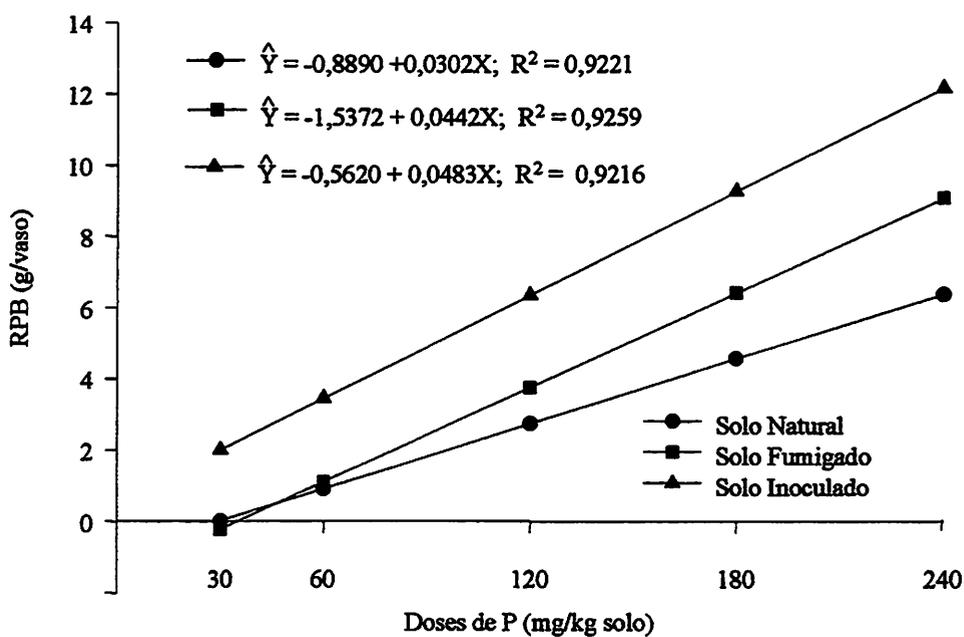
A inoculação com o FMA *Glomus etunicatum* associado com as doses de P aumentaram significativamente o conteúdo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea do amendoim forrageiro, segundo Santos (1999). Este autor observou que mesmo em elevadas doses de P, as plantas micorrizadas apresentavam maior conteúdo de nitrogênio. Follet e Wilkinson (1995) afirmaram que as associações micorrízicas com leguminosas em solos com alto teor de P têm aumentado a nodulação e fixação de N<sub>2</sub>, e para as plantas não inoculadas observaram decréscimo acentuado no conteúdo de nitrogênio em relação às plantas micorrizadas.

**TABELA 9. Médias de Rendimento de Proteína Bruta (RPB) da alfafa em função das condições de solo.**

Condições de solo	RPB (g/vaso)
Natural	2,92 c
Fumigado	4,02 b
Inoculado com FMA	6,64 a

**DMS = 0,55**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)



**FIGURA 3. Rendimento de proteína bruta (RPB) da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.**

Trabalhos realizados por Goicoechea et al. (1996) e Barea e Ázcon-Aguilar (1983), estudando a cultura da alfafa, relatam que a tríplice associação, *Rhizobium* - Fungo micorrízico - Alfafa, aumentam significativamente o crescimento, nodulação, produção de matéria seca, bem como os teores de N e P.

Moreira (1997), Yupanqui (1997) e James, Hurst e Tindall (1995) relataram a importância da adubação fosfatada para a alfafa, para o aumento nas concentrações de nitrogênio na planta.

#### **4.4 Composição mineral**

##### **4.4.1 Acúmulo de fósforo (P)**

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da quantidade acumulada de fósforo (P) na matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a quantidade de P acumulada (Tabela 2 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 4, Tabela 7 A). Moreira (1997) verificou, na alfafa, que a quantidade acumulada de P na matéria seca do caule, folha e total (caule + folha) aumentou linearmente em razão do aumento nas doses de P, em todas as fontes de P estudadas e em todos os cortes efetuados. O mesmo constataram James, Hurst e Tindall (1995), também estudando doses de P em alfafa.

Para o solo fumigado e natural, não se obteve-se quantidade de amostra suficiente para as análises laboratoriais dos minerais, a partir da menor dose de P utilizada. Comparando-se as médias de acúmulo de P promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 10), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento na quantidade acumulada de P equivalente a 51,8 vezes para a dose 60 mg de P/kg de solo; 3,4 vezes para a dose 120; 1,26 vezes para a dose 180 e 1,13 vezes para a dose 240. A alfafa, quando submetida à inoculação micorrízica acumulou, em média, 1,41 vezes a mais de fósforo, comparativamente ao solo controle (fumigado) (Tabela 11). A alfafa no solo em condição natural, acumulou na dose 60 mg de P/kg de solo; 5,05 vezes mais P que o solo fumigado. Nas demais dosagens de P, verificou-se diminuição no acúmulo comparado ao solo controle.

**TABELA 10.** Quantidade Acumulada de Fósforo na matéria seca da parte aérea (mg/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,00a	0,00 a	2,60 a
60	1,92 b	0,38 b	19,68 a
120	16,64 b	20,96 b	70,22 a
180	69,34 c	100,78 b	127,14 a
240	95,30 c	180,62 b	204,44 a

**DMS = 6,74**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

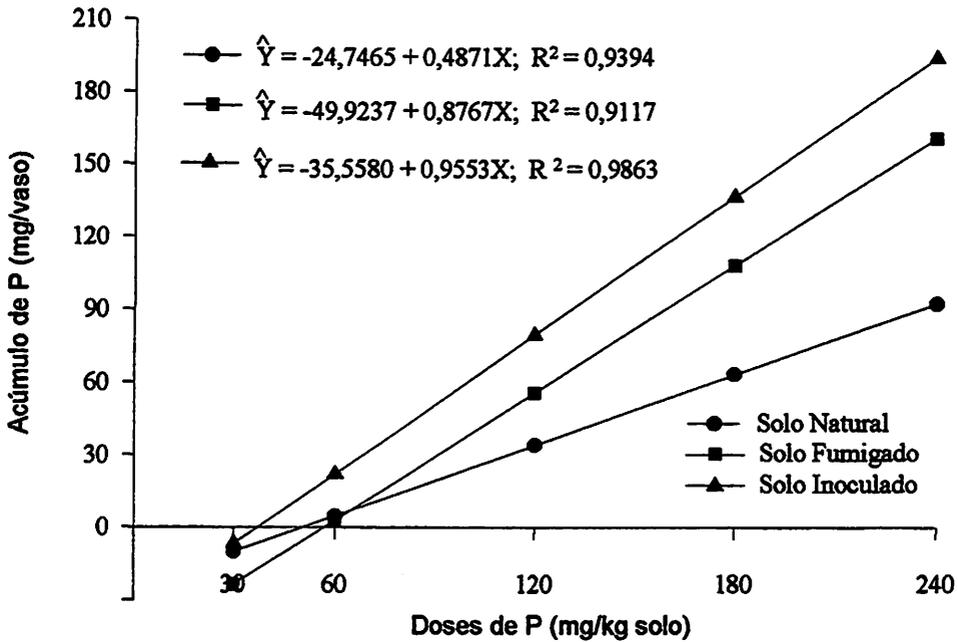
**TABELA 11. Médias de Quantidade Acumulada de Fósforo (P) na matéria seca da parte aérea da alfafa em função das condições de solo.**

<b>Condições de solo</b>	<b>P (mg/vaso)</b>
Natural	36,64 c
Fumigado	60,54 b
Inoculado com FMA	84,81 a

**DMS = 3,01**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

O incremento na absorção de fósforo pelas raízes associadas ao FMA é atribuído ao aumento da superfície de absorção e, conseqüentemente, do volume de solo explorado (Hayman, 1983). Contudo, Cress, Throneberry e Lindsey (1979) afirmam que o sistema com micorriza não depende exclusivamente de uma exploração física, mas principalmente da presença e da expansão de sítios de absorção de maior afinidade (baixo Km) por fósforo nas raízes.



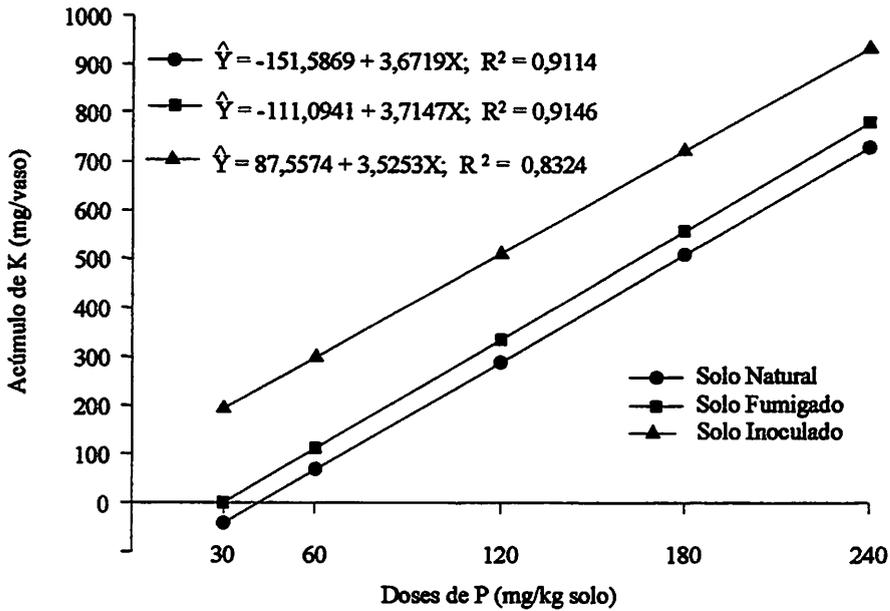
**FIGURA 4.** Acúmulo de fósforo (P) na matéria seca da parte aérea da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

Bonetti (1984), ao avaliar o efeito de FMA's na nodulação, crescimento e absorção de P e N em siratro (*Macroptilium atropurpureum*), também observou que a micorriza favoreceu o acúmulo de P na matéria seca da parte aérea desta leguminosa e a absorção total de P e N em ambientes com baixa disponibilidade de P. Fato também confirmado por Tsai e Phillips (1992) estudando a alfafa em presença de FMA.

#### 4.4.2 Acúmulo de potássio (K)

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da quantidade acumulada de Potássio (K) na matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a quantidade de K acumulada (Tabela 2 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 5, Tabela 8 A). Comparando-se as médias de acúmulo de K promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 12), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento na quantidade acumulada de K equivalente a 24,5 vezes para a dose 60 mg de P/kg de solo; 1,63 vezes para a dose 120; 1,11 vezes para a dose 180 e 1,22 vezes para a dose 240. A alfafa quando submetida à inoculação micorrízica, acumulou, em média, 1,49 vezes a mais de potássio, comparativamente ao solo controle (Tabela 13). A alfafa no solo, em condição natural, acumulou na dose 60 mg de P/kg de solo; 2,6 vezes mais K que o solo fumigado. Nas doses 180 e 240, não foram apontadas diferenças significativas.



**FIGURA 5.** Acúmulo de potássio (K) na matéria seca da parte aérea da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

**TABELA 12.** Quantidade Acumulada de Potássio na matéria seca da parte aérea (mg/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,00 a	0,00 a	42,34 a
60	36,26 b	13,88 b	340,10 a
120	190,21 c	434,56 b	711,70 a
180	659,40 b	652,72 b	725,28 a
240	669,50 b	683,64 b	839,34 a

**DMS = 58,15**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

**Tabela 13. Médias da Quantidade Acumulada de Potássio (K) na matéria seca da parte aérea da alfafa em função das condições de solo.**

<b>Condições de solo</b>	<b>K (mg/vaso)</b>
Natural	311,07 c
Fumigado	356,96 b
Inoculado com FMA	531,75 a

**DMS = 22,43**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

A presença da infecção micorrízica nas raízes das plantas pode alterar a concentração de outros nutrientes no tecido do hospedeiro, além do fósforo, tais como K, Ca, Mg e S (Ames et al., 1983, Smith e Smith, 1990). Em alguns casos, segundo Carling et al. (1978), as evidências sugerem que os efeitos da infecção na concentração dos nutrientes citados estão correlacionados com o aumento na absorção de fósforo pelo fungo. Santos (1999) relata que o acúmulo de K na matéria seca da parte aérea do amendoim forrageiro foi afetado significativamente pelas doses de P e pela infecção micorrízica. Este autor comenta que plantas não inoculadas aumentaram o acúmulo de K nas doses mais elevadas de P, compensando o efeito das micorrizas por doses mais altas de P. Segundo Lu e Koide (1994), a infecção micorrízica e as doses mais elevadas de P têm influências qualitativamente semelhantes. Entretanto, observou-se para a alfafa, que a infecção micorrízica foi fator determinante para o maior acúmulo de K, no solo inoculado, em todas as doses de P estudadas (Tabela 12).

Vários pesquisadores encontraram pouco efeito do P adicionado sobre a quantidade acumulada de K na planta (Filizolla e Baumgartner, 1984; Nascimento, Isepon e Fernandes, 1990), enquanto outros têm relatado uma redução no conteúdo deste elemento (CIAT, 1982), sendo esta redução atribuída aos efeitos da diluição. James, Hurst e Tindall (1995) destacaram que provavelmente, a elevação na taxa fotossintética da planta pelo aumento nas doses de P favorece o influxo de K nas raízes via fluxo de massa.

Os efeitos dos fungos micorrízicos sobre o conteúdo de minerais na matéria seca das plantas podem resultar da ação direta do fungo sobre os mecanismos de absorção, de efeitos secundários resultantes das interações e da diluição ou concentração desses minerais em plantas com produções de matéria seca diferentes, como relatado por Abbot e Robson (1985). Para a alfafa, as diferenças entre os mecanismos de absorção de nutrientes em cada condição de solo estudada foram determinantes para as diferenças encontradas nas quantidades acumuladas de minerais.

#### **4.4.3 Acúmulo de cálcio (Ca)**

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da quantidade acumulada de Cálcio (Ca) na matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a quantidade de Ca acumulada (Tabela 2 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando o comportamento das doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 6, Tabela 8 A). Moreira (1997) também pôde

constatar aumento linear na concentração de Ca na alfafa com o aumento nas doses de P. Este autor destaca a alta demanda de Ca pelas folhas da alfafa com a maturidade da planta, promovida pelo aumento nas doses de P. James, Hurst e Tindall (1995) afirmaram que dependendo da fonte de P utilizada, pode não haver diferenças significativas nos toeres de Ca na alfafa.

Comparando-se as médias de acúmulo de Ca promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 14), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento na quantidade acumulada de Ca equivalente a 25,7 vezes para a dose 60 mg de P/kg de solo, 2,08 vezes para a dose 120, 1,05 vezes para a dose 180 e 1,15 vezes para a dose 240. A alfafa, quando submetida à inoculação micorrízica, acumulou, em média, 1,32 vezes a mais de cálcio, comparativamente ao solo controle (Tabela 15). A alfafa no solo, em condição natural, acumulou na dose 60 mg de P/kg de solo, 3,10 vezes mais Ca que o solo fumigado. Nas demais dosagens de P, verificou-se diminuição no acúmulo, comparado ao solo controle.

**TABELA 14.** Quantidade Acumulada de Cálcio na matéria seca da parte aérea (mg/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,00 a	0,00 a	24,92 a
60	23,65 b	7,64 b	196,37 a
120	126,24 c	331,12 b	689,70 a
180	759,70 b	1024,76 a	1082,68 a
240	950,80 c	1156,42 b	1336,94 a
<b>DMS = 81,51</b>			

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

**TABELA 15. Médias de Quantidade Acumulada de Cálcio (Ca) na matéria seca da parte aérea da alfafa em função das condições de solo.**

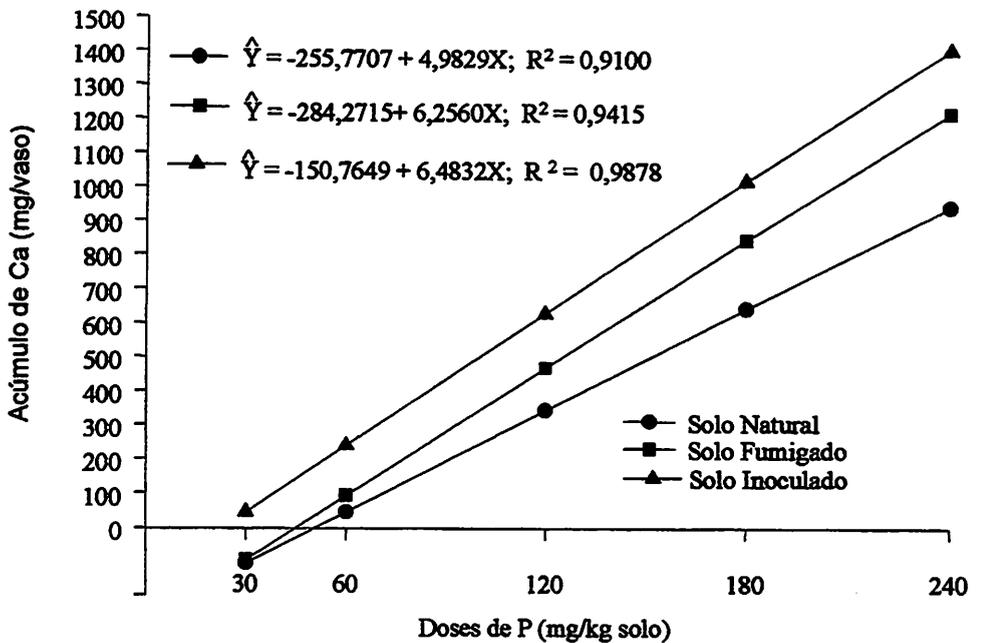
Condições de solo	Ca (mg/vaso)
Natural	372,07 c
Fumigado	503,98 b
Inoculado com FMA	666,12 a

**DMS = 36,45**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

Souza (1998) observou maior acúmulo de Ca na matéria seca da parte aérea do estilósantes com a elevação das doses de P, e principalmente no tratamento de solo com inoculação com *Glomus etunicatum*. Costa e Monteiro (1997), avaliando as respostas do amendoim forrageiro a doses de P, concluíram que a adubação fosfatada aumentou significativamente os rendimentos de matéria seca, com aumentos significativos das quantidades acumuladas de K e Ca.

De acordo com Malavolta et al. (1974), a absorção de Ca está mais associada à capacidade de troca de cátions (CTC) das raízes, e a eficiência na absorção é muito dependente da espécie envolvida. As raízes das leguminosas apresentam uma maior CTC que as gramíneas. Para a alfafa foi observado maior acúmulo de Ca do que de K, concordando com Santos (1999), que verificou o mesmo com o amendoim forrageiro. Vale, Guedes e Guilherme (1995) destacaram a importância do Ca associado ao P para a melhoria do desenvolvimento das raízes das plantas. Como na alfafa o maior acúmulo de Ca foi verificado nas plantas micorrizadas, supõe-se que a inoculação micorrízica tenha aumentado a CTC das raízes da alfafa.



**FIGURA 6.** Acúmulo de cálcio (Ca) na matéria seca da parte aérea da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

Goicoechea et al. (1996) observaram que a associação tripla alfafa - *Rhizobium* - micorriza, acumulou significativamente maiores quantidades de minerais, com destaque para o cálcio, do que plantas inoculadas apenas com o *Rhizobium* ou apenas com FMA, destacando que o adequado suprimento em nitrogênio e fósforo para a alfafa resulta em maior absorção de cálcio pelo sistema radicular. Santos (1999) destaca o fato de que uma nutrição desbalanceada em N fez com que o amendoim forrageiro diminuísse o acúmulo de Ca com a elevação das doses de P. Para o solo em condição natural poderia ter sido observada essa tendência de redução, não fosse a adubação nitrogenada na etapa final do experimento.

#### 4.4.4 Acúmulo de magnésio (Mg)

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da quantidade acumulada de Magnésio (Mg) na matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a quantidade de Mg acumulada (Tabela 2 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 7, Tabela 8 A). Comparando-se as médias de acúmulo de Mg promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 16), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento na quantidade acumulada de Mg equivalente a 9,47 vezes para a dose 60 mg de P/kg de solo; 2,23 vezes para a dose 120; 1,06 vezes para a dose 180 e 1,07 vezes para a dose 240. A alfafa, quando submetida à inoculação micorrízica, acumulou, em média, 1,29 vezes a mais de magnésio, comparativamente ao solo controle (Tabela 17). A alfafa no solo, em condição natural, acumulou na dose 60 mg de P/kg de solo; 1,85 vezes mais Mg que o solo fumigado. Nas demais doses de P, verificou-se diminuição no acúmulo comparado ao solo controle.

**TABELA 16.** Quantidade Acumulada de Magnésio na matéria seca da parte aérea (mg/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,00 a	0,00 a	6,38 a
60	8,66 b	4,69 b	44,45 a
120	26,53 c	69,96 b	156,08 a
180	147,12 b	230,10 a	244,66 a
240	211,66 b	268,86 a	289,02 a

**DMS = 20,51**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

**TABELA 17.** Médias de Quantidade Acumulada de Magnésio (Mg) na matéria seca da parte aérea da alfafa, em função das condições de solo

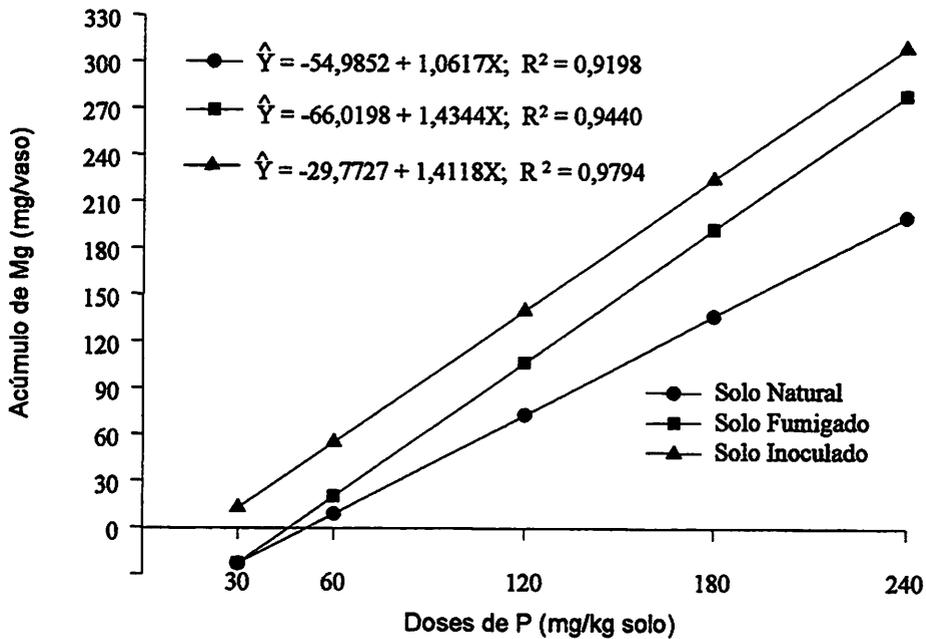
Condições de solo	Mg (mg/vaso)
Natural	78,59 c
Fumigado	114,72 b
Inoculado com FMA	148,12 a

**DMS = 9,17**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

O acúmulo de magnésio na matéria seca da alfafa em função da inoculação micorrízica, foi mais pronunciado nas doses intermediárias de fósforo. Nas doses superiores não se verificou contribuição da inoculação com

FMA, contrariando o comportamento do efeito para os outros minerais. Entretanto, assim como os demais, a adubação fosfatada contribuiu de forma positiva para o acúmulo de magnésio na matéria seca. Hoffmann (1992) observou, estudando leguminosas forrageiras, que em menores doses de P houve uma maior acumulação de Mg, em detrimento do Ca. O autor relata que o Mg é mais facilmente absorvido que o Ca. Essa relação de absorção não foi verificada para a alfafa provavelmente em função da riqueza natural em Ca e afinidade maior por este nutriente pela alfafa, como relatam Nuernberg, Milan e Silveira (1990).



**FIGURA 7.** Acúmulo de magnésio (Mg) na matéria seca da parte aérea da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

Concordando com os relatos de Souza (1998) e Santos (1999), verificou-se que assim como ocorreu para os demais minerais, também o acúmulo de Mg acompanhou a tendência da produção de matéria seca da parte aérea. O maior acúmulo do nutriente verificado pelas plantas micorrizadas, assim como para os demais, certamente foi causado pelo efeito indireto da melhor nutrição fosfatada promovida pelas micorrizas.

#### **4.4.5 Acúmulo de enxofre (S)**

Observou-se resposta significativa e positiva ( $P < 0,05$ ) da quantidade acumulada de enxofre (S) na matéria seca da alfafa em função das doses de fósforo aplicadas e para os diferentes tratamentos de solo. Houve significância ( $P < 0,05$ ) para a interação doses de fósforo (P) x condições de solo (S), demonstrando que a alfafa, nas condições de solo estudadas, comporta-se de forma diferenciada quanto à resposta ao fósforo para a quantidade de S acumulada (Tabela 2 A).

Com o estudo do desdobramento da interação P x S, avaliando as respostas às doses de fósforo em cada condição de solo, observou-se resposta linear para ambas (Figura 8, Tabela 8 A). Comparando-se as médias de acúmulo de S promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas (Tabela 18), observa-se que a influência da inoculação micorrízica atingiu proporções em aumento na quantidade acumulada de S equivalente a 27,2 vezes para a dose 60 mg de P/kg de solo; 2,6 vezes para a dose 120; 1,10 vezes para a dose 180 e 1,25 vezes para a dose 240. A alfafa, quando submetida à inoculação micorrízica, acumulou, em média, 1,59 vezes a mais de enxofre, comparativamente ao solo controle (Tabela 19). A alfafa no solo, em condição natural, acumulou na dose 60 mg de P/kg de solo; 5,31 vezes mais S que o solo

fumigado. Em média, não houve diferença no acúmulo de S pela alfafa entre os solos natural e fumigado.

**TABELA 18.** Quantidade Acumulada de Enxofre na matéria seca da parte aérea (mg/vaso) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,00 a	0,00 a	6,90 a
60	8,13 b	1,53 b	41,69 a
120	17,13 c	37,26 b	98,08 a
180	97,20 a	99,52 a	109,90 a
240	96,64 b	108,70 b	136,36 a

**DMS = 12,74**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

**TABELA 19.** Médias de Quantidade Acumulada de Enxofre (S) na matéria seca da parte aérea da alfafa, em função das condições de solo.

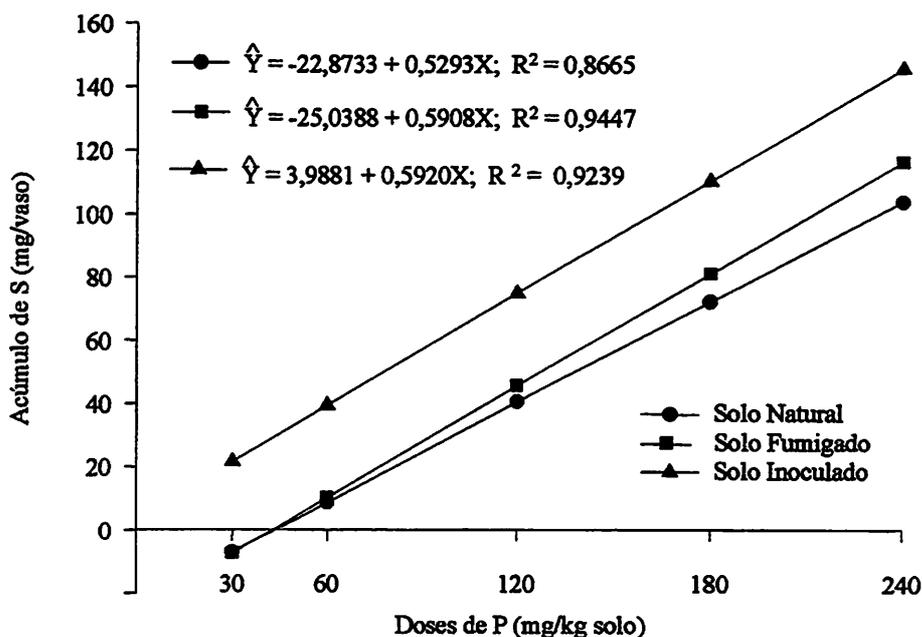
Condições de solo	S (mg/vaso)
Natural	43,82 b
Fumigado	49,40 b
Inoculado com FMA	78,58 a

**DMS = 5,70**

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

Para a alfafa, verificou-se que o acúmulo de enxofre em função da inoculação com FMA, foi significativo até mesmo na maior dose de P, diferenciando do comportamento do acúmulo de magnésio.

Assim como foi verificado por Hoffmann (1992) para o colômbio, a acumulação de enxofre seguiu a tendência da produção de matéria seca da parte aérea. Souza (1998) também verificou, para o estilosantes, que as doses de fósforo proporcionaram um aumento no conteúdo de S na matéria seca, acompanhando a produção de matéria seca da planta. No entanto, esta resposta foi mais expressiva quando o P foi associado à aplicação de N e à inoculação com o FMA *Glomus etunicatum*. Este fato foi verificado para todos os minerais avaliados neste estudo. Em comparação com os demais minerais avaliados, o acúmulo de S encontrado foi bem menor.



**FIGURA 8.** Acúmulo de enxofre (S) na matéria seca da parte aérea da alfafa, cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas.

Santos (1999) constatou que plantas inoculadas de amendoim forrageiro acumularam 1,34 vezes a mais de S que as não inoculadas. Para a alfafa verificou-se 1,59 vezes a mais, em média, nas plantas inoculadas.

Considerando-se que todas as proteínas vegetais têm enxofre, visto que delas fazem parte aminoácidos com S (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1989) e que um dos componentes primordiais da estrutura do aminoácido é o N, pode-se concluir que o adequado suprimento em P e N aumenta a absorção de S e, conseqüentemente, seu acúmulo na matéria seca da planta. Como para alfafa verificou-se que as plantas micorrizadas absorveram mais fósforo e acumularam mais proteína bruta, supõe-se que esse fato tenha contribuído para um maior acúmulo de enxofre.

#### **4.5 Taxa de colonização micorrízica (TXC), densidade de esporos (DE) e nodulação**

As doses de fósforo (P), as condições de solo estudadas (S) e a interação P x S influenciaram significativamente ( $P < 0,05$ ) a taxa de colonização micorrízica das raízes da alfafa (Tabela 1 A).

Observou-se comportamento linear da taxa de colonização micorrízica (solo natural e inoculado) em função das doses de P, podendo ser observado na figura 9; nota-se que houve um decréscimo da colonização com o aumento das doses de P. Para o solo natural, houve um decréscimo médio de 0,1068 unidades percentuais para cada mg de P/kg de solo aplicado. Para o solo inoculado, houve um decréscimo médio de 0,2606 unidades percentuais para cada mg de P/kg de solo aplicado. No solo fumigado, como era esperado, não foi detectada presença de raízes colonizadas por FMA, demonstrando não ter havido contaminação durante a condução do experimento.

Nas tabelas 20 e 21, pode-se observar as diferenças nas amplitudes de colonização do sistema radicular da alfafa, em função das condições de solo e das doses de fósforo aplicadas. Observou-se que as taxas de colonização micorrízica, encontradas na faixa de dosagens de P estudadas, explicam as maiores produções de matéria seca da alfafa em comparação ao tratamento controle (solo fumigado). Paulino, Ocampo e Bedmar (1986) destacaram a alta capacidade para multiplicação de FMA's pelo sistema radicular da alfafa em condições controladas. Estes autores obtiveram solo inóculo de duas espécies de *Glomus*, a partir das raízes da alfafa com 90% de infecção.

**TABELA 20.** Taxa de colonização micorrízica (%) da alfafa, sob diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Doses de P (mg/kg solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	32,80 b	0,00 c	70,20 a
60	28,60 b	0,00 c	57,20 a
120	27,80 b	0,00 c	42,20 a
180	16,00 a	0,00 b	18,60 a
240	10,40 b	0,00 c	18,20 a

**DMS = 5,06**

Médias seguidas de mesma letra no sentido das linhas não diferem entre si (Tukey 5%)

Segundo Siqueira (1993), existem três hipóteses para o mecanismo de inibição da colonização: a primeira considera que as plantas contêm, nas raízes, lectinas que inibem o crescimento do fungo. Em condições de deficiência de P, as plantas acumulam grandes quantidades de fosfatases nas raízes. Essas enzimas formam dímeros com as lectinas, inativando-as e permitindo o

crescimento do fungo no córtex. A segunda é baseada na permeabilidade das membranas das células radiculares, influenciada pela maior ou menor absorção de P. Em condições de alto P, a biossíntese de fosfolipídeos é favorecida e por serem estes integrantes das paredes das membranas, quanto maior a concentração, menor é a sua permeabilidade, e como consequência, tem-se menor exsudação de açúcares e aminoácidos na rizosfera, diminuindo a atividade dos exsudatos na germinação, crescimento micelial dos esporos, reduzindo a colonização das raízes.

Este autor formulou a terceira hipótese, sendo essa a mais recente, propondo que com o aumento da disponibilidade de P no solo, e por consequência, sua absorção e translocação pela planta, aumenta-se a fotossíntese e a exportação de triose-fosfato do cloroplasto para o citoplasma da planta, no qual a sacarose é sintetizada e translocada via floema, até as raízes. A sacarose em altas concentrações nas raízes inibe a colonização. Reforçando esta teoria, Yupanqui (1997), avaliando a fotossíntese líquida na alfafa, relata que sob condições de bom suprimento de P, o acréscimo da taxa fotossintética resultou na elevação do teor de sacarose.

Abbot, Robson e De Boer (1984) e Siqueira e Franco (1988) afirmam que elevadas doses de P podem reduzir a colonização micorrízica. Souza (1998) observou redução na colonização do estilosantes com a elevação das doses de P, assim como Santos (1999), estudando a colonização micorrízica no amendoim forrageiro. No entanto, é o teor do elemento no tecido das plantas, e não na solução do solo, que inibe a colonização micorrízica (Daniels e Trappe, 1980).

Siqueira et al. (1994), avaliando o efeito do fósforo na formação da associação micorrízica em soja, verificaram que a adição de P reduziu significativamente a porcentagem de colonização micorrízica, quantidade de raiz colonizada e também a produção de esporos. Assim, estes autores concluíram

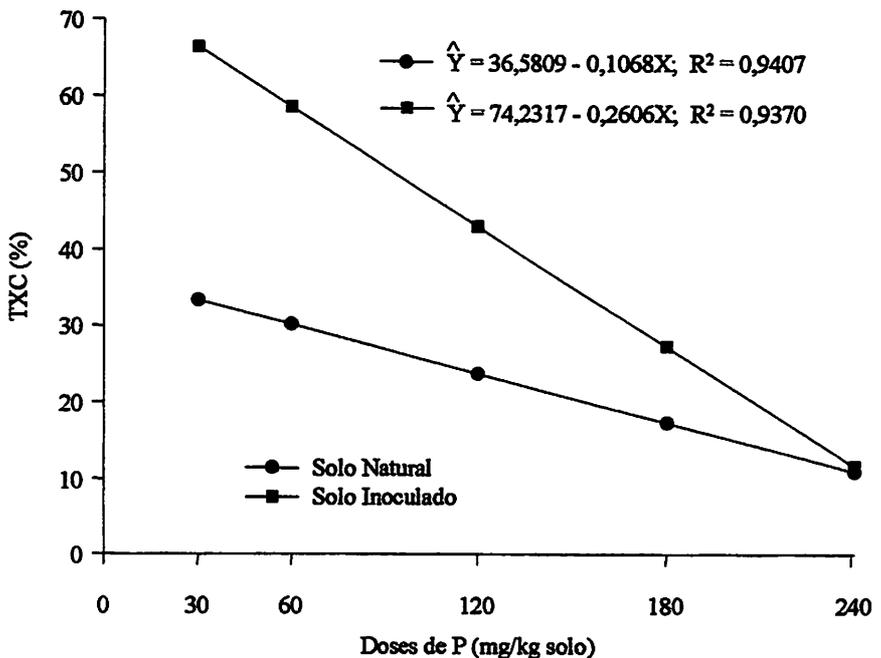
que a colonização de raízes por FMA's nesta planta seria controlada pelo metabolismo de carboidratos do hospedeiro, que seria, por sua vez, influenciado pela nutrição fosfatada.

**TABELA 21.** Médias de Taxa de Colonização Micorrízica (TxC), em função das condições de solo.

Condições de solo	TxC (%)
Natural	23,12 b
Fumigado	0,00 c
Inoculado com FMA	41,40 a

**DMS = 2,27**

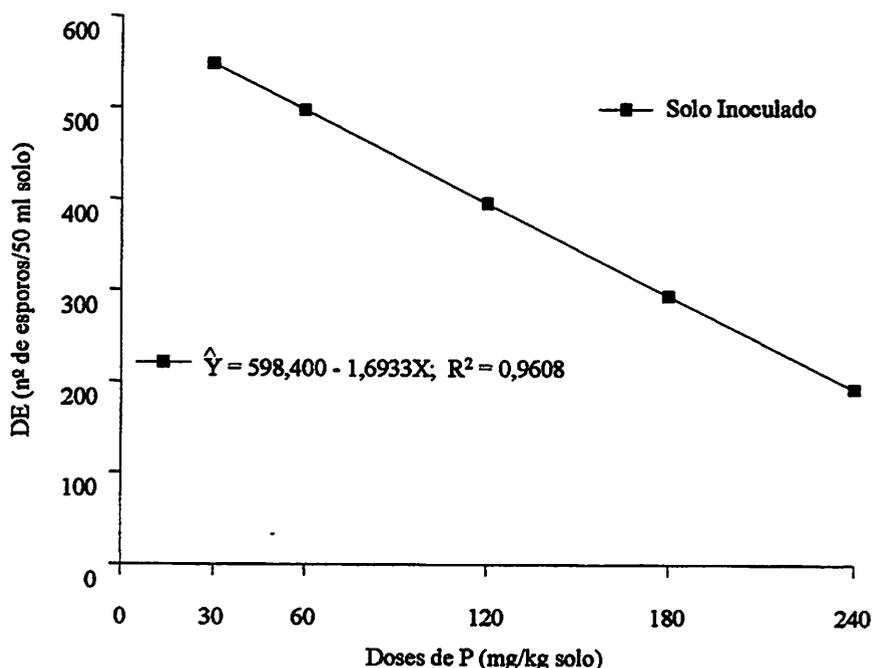
Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)



**FIGURA 9.** Taxa de colonização micorrízica (TxC) das raízes da alfafa, nos solos Natural e Inoculado com FMA, em função das doses de P.

A densidade de esporos no solo (DE) foi significativamente ( $P < 0,05$ ) influenciada pelas doses de fósforo (P), pelas condições de solo (S) e interação (P) x (S) (Tabela 1 A).

Observou-se comportamento linear (Figura 10) da densidade de esporos para o solo inoculado com FMA, com um decréscimo médio de 1,6933 esporos para cada mg de P/kg de solo aplicado. No tratamento controle (solo fumigado), como era de se esperar, não foi verificada presença de esporos de fungos micorrízicos. As doses de P não alteraram significativamente ( $P < 0,05$ ) a DE no solo sob condição natural, provavelmente em função da baixa população de FMA's nativos encontrada neste solo, comparativamente à população de *Glomus etunicatum* (Tabela 22). Este dado leva à suposição da existência de um alto potencial para a inoculação de espécies selecionadas neste solo.



**FIGURA 10.** Densidade de esporos no solo (DE), em função das doses de P e da inoculação com *Glomus etunicatum*.

As micorrizas são geralmente inibidas em condições de elevada fertilidade, e conseqüentemente favorecidas pela baixa fertilidade, na qual a esporulação, juntamente com a colonização, são máximas. Entretanto, em ambiente muito deficiente em fósforo, a aplicação de pequena quantidade desse elemento favorece a quantidade de esporos produzidos, o que não ocorre em doses elevadas (Siqueira e Franco, 1988). Fato este também verificado no estudo em questão.

**TABELA 22.** Médias de Densidade de esporos (DE), em função das condições de solo.

Condições de solo	DE (nº de esporos/50 ml de solo)
Natural	14,56 b
Fumigado	0,00 b
Inoculado	385,04 a
<b>DMS = 18,74</b>	

Médias seguidas de mesma letra no sentido da coluna não diferem entre si (Tukey 5%)

Os efeitos das doses de P e condições de solo influenciaram o número de nódulos das raízes da alfafa (Tabela 23). Para o solo na condição natural, não foi detectada presença de nódulos nas raízes da alfafa, mesmo nos tratamentos em que se aplicaram doses elevadas de fósforo, fato que certamente contribuiu de forma negativa para a produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio pelas plantas cultivadas nesta condição. Supõe-se que a estirpe utilizada no experimento, apesar da alta eficiência demonstrada nos solos submetidos à desinfestação, apresenta baixa capacidade competitiva para o solo em questão, na sua condição natural.

A adição de fósforo e a inoculação com *Glomus etunicatum* facilitaram o aumento do número de nódulos, evidenciando o efeito sinérgico do fósforo na simbiose alfafa - *Rhizobium meliloti* - *Glomus etunicatum*, principalmente nas condições de solo em que foi conduzido este trabalho, concordando com Siqueira (1993), segundo o qual os efeitos da inoculação são mais pronunciados em solos com baixa disponibilidade de nutrientes.

**TABELA 23.** Avaliação conceitual da nodulação da alfafa, em diferentes condições de solo em função das doses de fósforo.

Condição de solo	Doses de P (mg/kg solo)				
	30	60	120	180	240
Natural	0	0	0	0	0
Fumigado	0	0	0	Boa	Boa
Inoculado	0	Baixa	Regular	Muito Boa	Muito Boa

Boa - 30 a 50, Muito Boa - >50, Baixa - < 5, Regular - 5 a 10

Trabalhos realizados por Crush (1974) também demonstraram que a micorrização estimulou a nodulação de *Centrosema pubescens*, *Stylosanthes guianensis*, *Trifolium repens* e *Lotus pedunculatus* e que plantas não micorrizadas apresentavam taxas menores de fixação de N<sub>2</sub>.

Bonetti (1984), ao avaliar o efeito de FMA na nodulação, crescimento e absorção de P e N em siratro, constatou que a micorriza favoreceu o peso e número de nódulos. Também Lopes, Oliveira e Neptune (1989) e Mosse (1973) observaram que a colonização com FMA é necessária para a nodulação do siratro em solos tropicais.

Esse efeito benéfico na nodulação pode estar associado ao melhor estado nutricional apresentado pela planta infectada com FMA. Este fato foi relatado por Barea, Azcon-Aguilar e Azcon (1983) e Goicochea, Antolin e Sanches-Dias (1997) ao estudarem os efeitos da inoculação da alfafa com FMA.

O fósforo provavelmente é o nutriente de maior importância para o crescimento e efetiva nodulação da leguminosa hospedeira (Gibson, 1976), uma vez que a fixação de  $N_2$  pelo *Rhizobium* específico é um processo que requer grande quantidade de energia na forma de ATP.

O adequado suprimento de fósforo melhora as condições para a fixação biológica de nitrogênio, aumentando o número e o tamanho dos nódulos e a quantidade de nitrogênio fixado (Fontes, 1994).

## 5 CONCLUSÕES

- O aumento nas doses de adubação fosfatada e a inoculação micorrízica influenciaram positivamente a produção de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular da alfafa, associada ao maior acúmulo de proteína bruta, P, K, Ca, Mg e S.
- A adubação fosfatada e a micorrização aumentam o número de nódulos da alfafa, fato que certamente contribuiu de forma positiva para um maior acúmulo de proteína bruta.
- Com o aumento nas doses de adubação fosfatada, os benefícios da inoculação micorrízica tenderam a diminuir. Para a faixa de disponibilidade de P utilizada, verificou-se resposta significativa da micorrização, principalmente para a produção de matéria seca da parte aérea e desenvolvimento do sistema radicular, em todos os níveis estudados. Com isso, sugere-se que, para trabalhos futuros, sejam ampliados os níveis de adubação fosfatada.
- Conclui-se, ainda, que mesmo para os níveis de adubação fosfatada atualmente recomendados para a cultura da alfafa, existe resposta significativa à micorrização nos solos da região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOT, L. K.; ROBSON, A. D. Formation of external hyphae in soil by four species of VA mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, London, v. 99, n. 2, p. 245-255, Feb. 1985.
- ABBOT, L. K.; ROBSON, A. D.; BOER, G. The effect of phosphorus on the formation of hypae in soil by the VA mycorrhizal fungus *Glomus fasciculatum*. *New Phytologist*, London, v. 97, n. 3, p. 437-446, Jul. 1984.
- ABBOT, L.K.; ROBSON, A. D. The distribution and abundance of vesicular-arbuscular endophytes in some Western Australian Soils. *Australian Journal of Botanic*, Melbourne, n.25: p. 515-522, 1977.
- AE, N.; OTANI, T; MAKINO, T.; TAZAWA, J. Role of cell wall of groundnut roots in solubilizing sparingly soluble phosphorus in soil. *Plant and Soil*, The Hague, v.186, n.2, p. 197- 205, Oct. 1996.
- AMES, R.N.; READ,C.P.P; PORTER, D. R. ; CAMBARDELLA, C. Hyphal Uptake and transport of nitrogen from thw <sup>15</sup>N-labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. *New Phutologist*, London, v.95, n.5, p.381-396, nov. 1983.
- BAREA, J. M.; ÁZCON-AGUILAR, C. Mycorrhiza and their significance in nodulating nitrogen – fixing plants. *Advances in Agronomy*, New York, v. 36, p. 1 - 54, 1983.
- BAREA, J. M.; ÁZCON-AGUILAR, C.; AZCON, R. Effect de la interacción de fertilizantes solubles de P y micorrizas sobre la nodulación, micorrización y nutrición de la alfalfa. (*Medicago sativa* L.). *Ciência de Suelo*, Madrid, n. 1, 1ª ed., p. 39-43, 1983.
- BLANCHAR, R.W.; REHM, G.; CALDEWELL, A.C. Sulfur in plant materials by digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Society of America Proceedings*, Madison, v.29, n.1, p.71-72, Jan. 1965.

- BONETTI, R.** Efeito de micorrizas arbusculares na nodulação, crescimento e absorção de fósforo e nitrogênio em siratro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n.2, p. 189-192, maio/ago. 1984.
- BONFANTE, P.; PEROTTO, S.** Plants and endomycorrhizal fungi: the cellular and molecular basis of their interaction. In: **VERNA, D. P. S. (ed.) Molecular Biology in Plant – Microbe communication**. Boca Raton: CRC Press, 1992. p. 445 - 470.
- BRASIL.** Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas**, 1961-1990. Brasília, 1992. 84p.
- CARDOSO, E.J.B.N.; LOMBAIS, M. R.** Aplicações práticas de micorrizas vesículo-arbusculares (MVA). In: **CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C.P. (ed.) Microbiologia do solo**. Acmpinas: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1992, p. 283-296.
- CARLING, D.E.; RIEHLE, W.G.; BROWN, M.F.; JOHNSON, D.R.** Effects of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus on nitrate reductase and nitrogenase activities innodulating and non-nodulating soybeans. **Phytopathology**, St. Paul, v.68, n.11, p.1590-1596, Nov. 1978.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT).** **Fertilidade del suelo y nutricion de la planta**. Informe anual 1981. Cali, 1982, p.171-194 (Programa de Pastos tropicales).
- CLARK, R. B.** Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization and host plant growth and mineral acquisition at low pH. **Plant and Soil**, The Hague, p. 89-102, 1997.
- COSTA, C.; MONTEIRO, A. L. G.** Alfafa como forrageira para corte e pastejo. In: **SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMA DE PASTAGENS**, 3, Jaboticabal. **Anais... FUNEP**, 1997, p. 297-317.
- CRESS, W. A.; THRONEBERRY, G. O.; LINDSEY, D. L.** Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non mycorrhizal tomato roots. **Plant Physiology**, Cambridge, v. 64, n.3, p. 484-487, Sept. 1979.

- CRUSH, J. R. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhizal. VII. Growth and nodulation of some herbage legumes. *New Phytologist*, Cambridge, v. 73, p. 743 - 749, 1974.
- DANIELS, B. A.; TRAPPE, J. M. Factors affecting spore germination of the VA fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, New York, v.72, n.3, p. 456-471, may/june 1980.
- DOBEREINER, J.; DE-POLLY, H. A biologia do solo na agricultura, Seropédica RJ. EMBRAPA/UAPNPBS, 1998. 48p.
- EPSTEIN, E. Nutrição mineral das plantas, princípios e perspectivas. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.
- EVANGELISTA, A. R.; RODRIGUES, G.H.S.; MOREIRA, A.; BANYS, L. Avaliação de nove cultivares de alfafa na região de Lavras MG. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29, 1992, Lavras MG. Anais... Lavras:UFLA/SBZ, 1992.
- EVANGELISTA, A.R.; MOULIN, A.F.V.; GONÇALVES, F.G.; SALES, E.C. J. Avaliação de 34 cultivares de alfafa para o Sul de Minas Gerais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34, 1997, Juiz de Fora, MG. 1997. Anais... Juiz de Fora:SBZ, 1997.
- FAQUIN, V. Cinética da absorção de fosfato, nutrição mineral, crescimento e Produção da soja, sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. Piracicaba: ESALQ, 1988, 136p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)
- FAQUIN, V. Nutrição Mineral de Plantas. Lavras, MG, ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- FERREIRA, D.F. Sistema de análise estatística para dados balanceados. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 1998.
- FILIZZOLA, V. L.; BAUMGARTNER, J. G. Efeito da calagem e da adubação com fósforo e zinco no desenvolvimento da *Brachiaria decumbens*. Jaboticabal, UNESO, 1984. 143p.

- FITTER, A. H. Water relations of red clover (*Trifolium pratense* L.) as affected by mycorrhizal infections and Phosphorus supply before and during drought. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.39, n.202, p.595-603, May 1988.
- FOLLET, R. F.; WILKINSON, S. R. Nutrient management of forages. In: BARNES, R. F.; MILLER, D. A.; NELSON, C. J. *Forages: the science of grassland agriculture*. 5<sup>a</sup> ed. Ames: IOWA State University Press, 1995. v.2, p. 55-82.
- FONTES, P. C. R. Fertilização da cultura da alfafa. In: BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P. P.; VILELA, D. (ed.). *Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (Medicago sativa) nos trópicos*. Juiz de Fora: EMBRAPA, 1994. p. 13-22.
- GERDEMANN, J. W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual Review of Phytopatology*, Palo Alto, v. 6, p. 397 – 418, 1968.
- GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by west sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, London, v.46, n.1, p.235-246, feb. 1963.
- GIBSON, A. H. Limitation to nitrogen fixation in legumes. In: NEWTON, W. E. and NYMAN, O. J. (eds.). *Proceedings of the International Symposium of Nitrogen Fixation*. Washington: University Press, 1976. v.2, p. 400-428.
- GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection roots. *New Phytologist*, Cambridge, v.84, n.3, p.489-500, mar. 1980.
- GOICOEHEA, N.; ANTOLIN, M. C.; SÁNCHEZ-DIAZ, M. Influence of arbuscular mycorrhizae and *Rhizobium* on nutrient content and water relations in drought stressed alfalfa. *Plant and Soil*. Dordrecht, v.192, n.2, p.261 - 268, may 1997.
- GOICOEHEA, N.; ANTOLIN, M. C.; STRNAD, M.; SÁNCHEZ-DIAZ, M. Root cytokinins, acid phosphatase and nodule activity in drought stressed mycorrhizal or nitrogen fixing alfalfa plants. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v.47, n.298, p.683-686, may 1996.

- GONÇALVES, C.A.; FERREIRA, J.G.; CARVALHO, J.G. de ; LOPES, A.S. Adubação de Pastagens. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, v.6, n.70, p.35-52, oct. 1980.
- GUSS, A.; GOMIDE, J. A.; NOVAIS, R. F. Exigência de fósforo para o estabelecimento de quatro espécies de *Brachiaria* em solos com características físico-químicas distintas. Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v.19, n.4, p.278-289, 1990.
- GRIFFITH, W. K. Stisfyng the nutritional requeriments of established legumes. In: MAYS, D. A. (ed). Forage fertilization. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p 69-147.
- HAYMAN, D.S. The physiology of VA endomycorrhizal symbiosis. Canadian Journal of Botany, Ottawa, v.61, n.4, p.944-963, apr. 1983.
- HOFFMANN, C. R. Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colônio, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em latossolo da região noroeste do Paraná. Lavras: ESAL, 1992. 204p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).
- HORWITZ, W. Official methods of analisys of the association of tropical analytical chemistry. 12. ed. Washington: AOAC., 1975, 1094p.
- JAMES, D. W.; HURST, C. J.; TINDALL, T. A. Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium deficiency: biomass. Journal of Plant Nutricion, New York, v.18, n.11, p. 2447-2464, 1995.
- JAKOBSEN, I.; ROSENDAHL, L. Carbon flow into soil and external from roots of mycorrhizal cucumber plants. New Phytologist, Cambridge, v. 115, p. 77- 83, jan. 1980.
- JOHANSEN, A.; JAKOBSEN, I.; JENSEN, E. S. External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 3. Hyphal transport of <sup>32</sup>P and <sup>15</sup>N. New Phytologist, Cambridge, v.124, n.1, p.61-68, may 1993.

- KEPLIN, L. S. A. Metodologia de estabelecimento e avaliação de alfafa sob condições de corte. In: BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P. P.; VILELA, D. (ed.) *Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (Medicago sativa L.) nos trópicos*. Juiz de Fora-MG: EMBRAPA, 1994. p. 29-36.
- LEWIS, D. H. Comparative aspects of the carbon nutrition of mycorrhizas. In: SANDERS, F. E.; MOSSE, B.; THNIKER, P. B. (eds). *Endomycorrhizas*. London: Academic Press, 1975. p. 119 - 148.
- LOBATO, E.; KORNELIUS, E.; SANZONOWICZ, C. Adubação fosfatada em pastagens. In: MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; YAMADA, I.; MALAVOLTA, E. (eds). *Calagem e adubação de pastagens*. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.74-145.
- LOPES, A.S. ; YAMADA, T. **Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 1998 (Informações Agronômicas n.84).
- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, E.; NEPTUNE, A. L. M. Efeitos de espécies de micorrizas vesículo arbusculares em siratro (*Macroptilium atropurpureus*). *Bragantia*, Campinas, v.39,n.17, p.241-245, nov.1980.
- LOPES, E.S. Importância das micorrizas em explorações agropecuárias. In: **SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS**. 1989, Jaboticabal-SP, Anais... Jaboticabal:UNESP, 1989. p.193-236.
- LU, X.; KOIDE, R. T. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. *New Phytologist*, Cambridge, v.128, n.2, p.211-218, oct. 1994.
- LYNCH, J.M. **Biotecnologia do solo: fatores microbiológicos na produtividade agrícola**. São Paulo: Manole, 1986, 209p.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Pioneira, 1974. 727p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 210p.**
- MARSCHNER, H; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, The Hague, v. 159, n. 1, p. 89 - 102, Feb. 1994.**
- MEDINA, O. A.; SYLVIA, D. M.; KRETSCHMER, A. E. Response of siratro to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi: I. Selection of effective vesicular-arbuscular fungi in amented soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.52, n.2, p.416-419, mar./apr. 1988.**
- MIRANDA, J.C.C. Influência de fungos endomicorrízicos inoculados a campo na cultura de sorgo e soja em solo sob cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.6, n1, p.19-23, jan./abr. 1982.**
- MORTON, J. B.; BENNY, G. L. Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (*Zygomycetes*) new order *Glomales*, two new siborders, *Glomineae* and *Gigasporineae* and two new species of *Glomaceae*. *Mycotaxon*, Ithaca, v. 37, p. 471 - 491, 1990.**
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v.11, p.171-176, 1973.**
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for Tropical Agriculture. Honolulu: Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82p (Research Bulletin, 194).**
- MOREIRA, A. Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa*) e centrosema (*Centrosema pubescens*Benth.) e avaliação de extratores. Piracicaba-SP: ESALQ/USP, 1997. p.107. (Tese - mestrado em Agronomia)**
- MUGGLER, C.C.; CURT, N.; SILVA, M.L.N.; LIMA, J.M. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do rio Corrente, sudoeste da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.2, p.221-232, mar. 1996.**

- NASCIMENTO, V. M.; ISEPON, O. J.; FERNANDES, F. M. Efeito de doses de NPK nas relações K, Ca e Mg em *Brachiaria decumbens* Stapf., cultivada em latossolo da região do cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27. 1990, Campinas. Resumos... Campinas:SBZ, 1990. p.241.
- NEWMANN, E.I. ; RITZ, K. Evidence on the pathways of phosphorus transfer between Vesicular VA arbuscular mycorrhizal plants. *New Phytologist*, London, v.104, n.1, p77-87. Sept. 1986.
- NUERNBERG, N. J. Técnicas de produção de alfafa. In: PEIXOTO, M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (ed.). *Pastagens: fundamentos da exploração racional*. 2 ed. Piracicaba:FEALQ, 1994, p.657-678.
- NUERNBERG, N.J. ; MILAN, P.A.; SILVEIRA, C.A.M. *Manual de produção de alfafa*. Florianópolis: EMPASC, 1990. 102p.
- OLIVEIRA, P. P. A.; OLIVEIRA, W. S.; TSAI, S. M. Associações simbióticas com a microbiota do solo. In: PEIXOTO, A.M., MOURA, J.C., SILVA, S.C., FARIA, V.P. (ed.) In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM: Alfafa, 16., 1999, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba:FEALQ, 1999, p.117- 132.
- PAULINO, V.T.; COSTA, N.L.; CARDELLI, M.A.; RODRIGUES, A.N.; CHAGAS, F. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da adubação fosfatada em *Centrosema brasilianum* (L.) Benth. *Pasturas Tropicales*, Cali, v.14, n.3, p.14-17, dic. 1992.
- PAULINO, V.T.; COSTA, N.L.; LUCENA, M.A.C.; SCHUNKE, R.; LOPES, R.B. Resposta de *Pueraria phaseoloides* (BENTH) à adubação fosfatada em presença ou não de fungo micorrízico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora, MG. *Anais...* Juiz de Fora:SBZ, 1997. p.130-132.
- PAULINO, V.T.; OCAMPO, J.A.; BEDMAR, E.J. Interação *Rhizobium*-MVA na fixação de nitrogênio em leguminosas forrageiras tropicais cultivadas em meio inerte. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 1., 1985, Lavras-MG, *Anais...*Lavras: FAEPE, 1986. p.169.

- PHILLIPS, J.M.; HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transaction of British Mycological Society**, London, v.55, n.1, p.158-161, Aug. 1970.
- PLAZOLA, G. R. A.; CERRATO, F. R.; ETCHEVERS, J. D. *Leucaena leucocephala*, a plant of high mycorrhizal dependence in acid soils. **Leucaena Research Reports**, Oxford, n.9, p. 69-73, 1988.
- POWEL, C. L. I. Selection of efficient VA mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v.68, p.3-9, 1982.
- RASSE, D. P.; SMUCKER, J. M. Tillage effects on soil nitrogen and plant biomass in a corn-alfalfa rotation. **Journal of Environment Quality**, Madison, v.28, n.6, p.873-880, nov./dec. 1999.
- REID, R. L; JUNG, G. A. Effects of elements other than nitrogen on the nutritive value of forage . In: MAYS, D. A. (ed). **Forage fertilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p 395-435.
- SAIBRO, J.C. Produção de alfafa no Rio Grande do Sul. In: PEIXOTO, M.; MOURA, J. C.; FARIA, V. P. (ed.). In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM**, 7., 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985, p.61-106.
- SAIF, S.R. Vesicular-arbuscular micorrizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. **Angewandte Botany**, Berlin, v.60, p.125-139, 1986.
- SALINAS, J.G. ; SANCHES, P.A. Soil-plant relationship affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.28, n.2, p.156-158, fev. 1976.
- SANTOS, I.P.A. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de Brachiário e Amendoim Forrageiro consorciados. Lavras-MG: UFLA, 1999. p.158. (Dissertação - Mestrado em Zootecnia)

- SARAIVA, O.F.; CARVALHO, M.M.; OLIVEIRA, F.T.T. ; MARTINS, C.E.**  
Fatores nutricionais limitantes ao crescimento de forrageiras tropicais em dois solos da Zona da Mata - MG, II. Podzólico Vermelho Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.21, n.7, p.709-714, jul. 1986.
- SCHUBERT, A.; HAYMAN, D.S.** Plant growth response to vesicular-arbuscular mycorrhiza XVI - Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. **New Phytologist**, Cambridge, v.103, p.79-90, may 1986.
- SCHWAB, S. M.; MENGE, J. A.; LEONARD, R. T.** Comparison of stages of VA formation in sudan grass grown a two levels of phosphorus nutrition. **American Journal of Botany**, Columbus, v.70, p.1225-1233, nov. 1983.
- SCHMEHL, W. R.; ROMSDAL, S. D.** Alfafa. **Technical Bulletin. Colorado Agricultural Experimental Station**, Colorado, n.1, p.1-74, 1963.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S.** **Microorganismos e processos biológicos do solo**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 142 p.
- SIQUEIRA, J.O. ; FRANCO, A.A.** **Biotechnologia do Solo: Fundamentos e Perspectivas**. Lavras, MEC/ESAL/FAEPE/ABAS, 1988. 235p.
- SIQUEIRA, J.O.; PAULA, M. A.** Efeito de micorrizas vesículo-arbusculares na nutrição e aproveitamento de fósforo pela soja em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.97-102p. maio/ago. 1986.
- SIQUEIRA, J.O.** **Biologia do Solo**. Lavras:ESAL/FAEPE, 1993. 230p.
- SIQUEIRA, J.O.** Micorrizas: forma e função. In: **REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS**, 1.,1986, Lavras, **Anais...** Lavras:ESAL, 1986. p.5-32.
- SMITH, S. E.; SMITH, F. A.** Structure and funtion of the interface in biotrophic symbioses as they relate to nutrient transport. **New Phytologist**, London, v. 114, n.1, p. 1-38, jan. 1990.

- SOUZA, R.F. Micorriza e Fósforo no crescimento de espécies forrageiras em solo de baixa fertilidade. Lavras: UFLA, 1998. 145p (Dissertação 0 Mestrado em Forragicultura e Pastagens).**
- TRAPPE, J. M. Phylogenetic and aspectis of mycotropy in the angiosperms from na evolutionary stand point. In: SAFIR, G. R. (ed.) Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Boca Ratton: CRC Press, 1987. p. 5 – 25.**
- TSAI, S. M.; PHILLIPS, D. A. Flavonoids naturally released from alfalfa promote development of symbiotic *Glomus* spores *in vitro*. Apllied and Environment Microbiology, Washington, v.57, p.1485-1488, 1992.**
- VALE, F.R.; GUEDES, G.A.A.; GUILHERME, L.R.G. Manejo da fertilidade do solo. Lavras, MG:UFLA/FAEPE, 1995. 206p.**
- VAN RAIJ, B. Avaliação da Fertilização do Solo. Piracicaba: Potafós, 1981. 142p.**
- VAN RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres/Potafós, 1991. 343p.**
- WERNER, J.C.; PAULINO, V.T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N.O.; QUAGGIO, J.A. Forragens. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2 ed. Campinas, Instituto Agrônômico & Fundação IAC, 1996, p.263-273 (Boletim Técnico, 100).**
- YUPANQUI, F. F. R. Nutrição fosfatada e fotossíntese no sistema simbiótico *Medicago sativa* - *Rhizobium meliloti*. Viçosa-MG: UFV, 1997. 124p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).**
- ZAMBOLIM, L.; SIQUEIRA, J.O. Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura. Belo Horizonte:EPAMIG, 1985. p.36 (EPAMIG - Documento, 26).**

## ANEXOS

<b>ANEXO A</b>		<b>Página</b>
<b>TABELA 1 A</b>	Resumo das análises de variância (Quadrados médios) da produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE).....	<b>81</b>
<b>TABELA 2 A</b>	Resumo das análises de variância (Quadrados médios) para as quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) .....	<b>81</b>
<b>TABELA 3 A</b>	Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE), estudando as doses de fósforo dentro de cada condição de solo.....	<b>82</b>
<b>TABELA 4 A</b>	Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE), estudando as condições de solo dentro de cada dose .....	<b>82</b>
<b>TABELA 5 A</b>	Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE), estudando regressão para as doses de fósforo dentro de cada condição de solo.....	<b>83</b>

<b>TABELA 6 A</b>	<b>Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando as doses de fósforo dentro de cada condição de solo .....</b>	<b>83</b>
<b>TABELA 7 A</b>	<b>Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando as condições de solo dentro de cada dose de fósforo .....</b>	<b>84</b>
<b>TABELA 8 A</b>	<b>Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando regressão para as doses de fósforo dentro de cada condição de solo .....</b>	<b>84</b>

**TABELA 1 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) da Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE).

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	PMSPA	RPB	PMSR	TXC	DE
Doses (P)	4	7815,55*	192,66*	3187,57*	1731,65*	38343,13*
Solos (S)	2	1467,98*	91,14*	348,50*	10761,05*	1190513,44*
P x S	8	157,34*	7,47*	61,33*	694,95*	35920,52*
Resíduo	60	3,95	0,66	3,64	11,10	759,54
Média geral		24,30	4,53	15,70	21,50	133,20
R <sup>2</sup>		0,9933	0,9625	0,9845	0,9807	0,9841
CV (%)		8,18	17,89	12,15	15,49	20,69

\* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade (Teste F)

**TABELA 2 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) para as quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S).

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	P	K	Ca	Mg	S
Doses (P)	4	68998,74*	1541981,79*	3982996,54*	192718,65*	37130,25*
Solos (S)	2	14506,06*	338978,50*	542285,55*	30048,34*	8713,49*
P x S	8	2790,65*	55715,96*	63780,49*	4012,09*	1216,41*
Resíduo	60	19,63	1088,32	2874,33	181,93	70,29
Média geral		60,66	399,92	514,06	113,87	57,27
R <sup>2</sup>		0,9964	0,9911	0,9902	0,9875	0,9765
CV (%)		7,30	8,24	10,42	11,84	14,63

\* Significativo ao nível de 5 % de probabilidade (Teste F)

n.s. Não Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

1- Solo Natural, 2- Solo Fumigado, 3- Solo Inoculado

Causas de Variação		GL	PMSPA	RPB	PMSR	TXC	DE
Quadrados Médios							
Solo d/ dose 30	2	3,66 <sup>n.s.</sup>	0,30 <sup>n.s.</sup>	2,61 <sup>n.s.</sup>	6168,86	459982,46	
Solo d/ dose 60	2	271,82	22,42	102,47	4089,80	431620,86	
Solo d/ dose 120	2	1069,39	42,19	414,20	2358,06	271396,86	
Solo d/ dose 180	2	258,07	15,72	59,26	507,26	97700,06	
Solo d/ dose 240	2	494,39	40,41	15,26	416,26	73495,26	
Resíduo	60	3,66	0,66	3,64	11,10	759,54	

TABELA 4 A. Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrizica (TXC) e Densidade de esporos (DE), estudando as condições de solo dentro de cada dose.

n.s. Não Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

1- Solo Natural, 2- Solo Fumigado, 3- Solo Inoculado

Causas de Variação		GL	PMSPA	RPB	PMSR	TXC	DE
Quadrados Médios							
Doses d/ Nat <sup>1</sup>	4	1945,76	36,68	1208,88	447,66	56,84 <sup>n.s.</sup>	
Doses d/ Fum <sup>2</sup>	4	3119,61	77,68	1057,77	0	0	
Doses d/ Inoc <sup>3</sup>	4	3064,87	93,25	1041,58	2673,90	110127,34	
Resíduo	60	3,95	0,66	3,64	11,10	759,54	

TABELA 3 A. Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrizica (TXC) e Densidade de esporos (DE), estudando as doses de fósforo dentro de cada condição de solo.

**TABELA 5 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), Rendimento de proteína bruta (RPB), Produção de matéria seca do sistema radicular (PMSR), Taxa de colonização micorrízica (TXC) e Densidade de esporos (DE); estudando regressão para as doses de fósforo dentro de cada condição de solo

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	PMSPA	RPB	PMSR	TXC	DE
<b>Solo Natural</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	7274,05*	135,30*	4421,61*	1684,48*	-
Desvio de Regressão	(3)	169,66	3,81	137,94	35,38	-
<b>Solo Fumigado</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	12002,93*	287,71*	4074,83*	0	-
Desvio de Regressão	(3)	158,49	7,63	54,73	0	-
<b>Solo Inoculado</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	12032,59*	343,77*	3973,78*	10021,48*	423224,96*
Desvio de Regressão	(3)	75,63	9,74	64,18	224,69	5761,46

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

n.s. Não Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

**TABELA 6 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando as doses de fósforo dentro de cada condição de solo.

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	P	K	Ca	Mg	S
Doses d/ Nat <sup>1</sup>	4	9322,81*	545864,67*	1006807,77*	45224,72*	11931,05*
Doses d/ Fum <sup>2</sup>	4	31111,69*	556674,86*	1533899,47*	80425,82*	13633,76*
Doses d/ Inoc <sup>3</sup>	4	34145,54*	550874,17*	1569850,28*	75092,29*	13998,26*
Resíduo	60	19,63	1088,32	2874,33	181,93	70,29

1- Solo Natural, 2- Solo Fumigado, 3- Solo Inoculado

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

**TABELA 7 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando as condições de solo dentro de cada dose de fósforo.

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	P	K	Ca	Mg	S
Solo d/ dose 30	2	11,26 <sup>n.s</sup>	2987,79 <sup>n.s</sup>	1035,01 <sup>n.s</sup>	67,84 <sup>n.s</sup>	79,35 <sup>n.s</sup>
Solo d/ dose 60	2	575,23 <sup>*</sup>	166028,82 <sup>*</sup>	54754,70 <sup>*</sup>	2397,36 <sup>*</sup>	2317,98 <sup>*</sup>
Solo d/ dose 120	2	4430,02 <sup>*</sup>	340377,55 <sup>*</sup>	406702,16 <sup>*</sup>	21736,04 <sup>*</sup>	8879,64 <sup>*</sup>
Solo d/ dose 180	2	4186,80 <sup>*</sup>	8041,45 <sup>*</sup>	148273,01 <sup>*</sup>	13843,10 <sup>*</sup>	228,68 <sup>n.s</sup>
Solo d/ dose 240	2	16465,36 <sup>*</sup>	44406,71 <sup>*</sup>	186642,62 <sup>*</sup>	8052,36 <sup>*</sup>	2073,49 <sup>*</sup>
Resíduo	60	19,63	1088,32	2874,33	181,93	70,29

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

n.s. Não Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)

**TABELA 8 A.** Resumo das análises de variância (Quadrados médios) com o desdobramento da interação (P) x (S), para as variáveis quantidades acumuladas na matéria seca da parte aérea de P, K, Ca, Mg e S; estudando regressão para as doses de fósforo dentro de cada condição de solo.

Causas de Variação	Quadrados Médios					
	GL	P	K	Ca	Mg	S
<b>Solo Natural</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	35034,20 <sup>*</sup>	1990109,58 <sup>*</sup>	3664856,17 <sup>*</sup>	166392,17 <sup>*</sup>	41356,79 <sup>*</sup>
Desvio de Regressão	(3)	752,35	64449,71	120791,63	4835,56	2455,81
<b>Solo Fumigado</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	113461,35 <sup>*</sup>	2036748,76 <sup>*</sup>	5776752,86 <sup>*</sup>	303717,96 <sup>*</sup>	51521,32 <sup>*</sup>
Desvio de Regressão	(3)	3661,80	63316,89	119615,00	5995,10	1004,57
<b>Solo Inoculado</b>						
Doses de Fósforo	4					
Regressão Linear	1	134713,46 <sup>*</sup>	1834390,27 <sup>*</sup>	6203962,61 <sup>*</sup>	294206,30 <sup>*</sup>	51736,65 <sup>*</sup>
Desvio de Regressão	(3)	622,90	123035,47	25146,16	2054,29	1418,80

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (Teste F)