EFICIÊNCIA DO FOSFATO DE ALUMÍNIO JANDIÁ NO DESENVOLVIMENTO
DO CACAUEIRO, NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DA CALAGEM E DE FUNGOS
ENDOMICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES

RAIMUNDO CARLOS MOIA BARBOSA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Março - 1992

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

B238e Barbosa, Raimundo Carlos Moia
Eficiência do fosfato de alumínio Jandiá no desenvolvimento do cacaueiro, na presença e ausência da calagem e de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares. Piracicaba, 1992.

146p. ilustr.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Cacau - Desenvolvimento 2. Cacau - Micorriza 3. Cacau - Nutrição 4. Calagem 5. Fosfato de alumínio em cacau I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.74

EFICIÊNCIA DO FOSFATO DE ALUMÍNIO JANDIÁ NO DESENVOLVIMENTO
DO CACAUEIRO, NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DA CALAGEM E DE FUNGOS
ENDOMICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES

Autor: Raimundo Carlos Moia Barbosa

Aprovada em: 22/04/1992

Comissão julgadora:

Prof. Dr. José Dias Costa	ESALQ/USP
Prof. Dr. José Renato de Freitas	ESALQ/USP
Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira	ESALQ/USP
Dr. Roberto Bonetti	CENA/USP
Dr. Tsuioshi Yamada	POTAFOS

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira
Orientador

À minha mãe IZABEL,
com respeito e orgulho.

À minha esposa MARCOLINA,
pelo companheirismo e incentivo.

A meus filhos CARLOS LAMARCK,
ADRIANA CARLA e ARTHUR EMILIO,
pela paciência e estímulo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira, pela amizade, compreensão e orientação durante o curso.

À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), pela oportunidade de aperfeiçoamento.

Ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU-Belém) na pessoa do Dr. Ernesto Maués da Serra Freire, pelo fornecimento do fosfato de alumínio Jandiá utilizado na pesquisa.

Aos professores do curso de Pós-graduação da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, pelos ensinamentos e experiências transmitidas.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP pela colaboração, e em especial, aos Srs. Antonio Carlos Ferreira, Luis Fernando Baldesin, Mário Benedito Lodovico e a Sra. Denise de Lourdes C. Mescolotti pelo auxílio na execução das análises.

Aos colegas de curso pelo convívio e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Fosfatos naturais	4
2.2. Efeito da Calagem e da Adubação Fosfatada na Cultura do Cacaueiro	18
2.3. Micorrizas Vesículo-Arbusculares (MVA) ..	24
2.4. Fatores que Influenciam a Formação das Mi- corrizas Vesículo-Arbusculares	28
2.4.1. Relações Fungo-Planta na Formação Micorrízica	28
2.4.2. Efeitos dos Fatores do Solo na For- mação Micorrízica	30
2.5. Efeitos das MVA no Crescimento das Plantas	34
3. MATERIAIS E MÉTODO	42
3.1. Planta	42
3.2. Solo	42
3.3. Fertilizantes	43
3.4. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (MVA)	44
3.5. Tratamentos	44
3.5.1. Preparo do Solo	46
3.5.2. Calagem e adubação	46
3.5.3. Obtenção dos inóculos	47
3.5.4. Obtenção das plântulas.....	48

3.5.5. Inoculação, instalação e condução do experimento	48
3.5.6. Colheita do experimento	49
3.5.7. Variáveis avaliadas	50
3.5.7.1. Peso da matéria seca da parte aérea da planta	50
3.5.7.2. Análise química da parte aérea da planta	50
3.5.7.3. Avaliação do estabelecimento da micorriza	51
3.5.8. Análises estatísticas	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. Peso da matéria seca da parte aérea	54
4.2. Absorção dos macronutrientes	60
4.2.1. Nitrogênio	60
4.2.2. Fósforo	66
4.2.3. Potássio	74
4.2.4. Cálcio	80
4.2.5. Magnésio	86
4.2.6. Enxofre	93
4.3. Absorção dos micronutrientes	99
4.3.1. Cobre	99
4.3.2. Ferro	105
4.3.3. Manganês	111
4.3.4. Zinco	117
4.4. Colonização micorrízica	123
5. CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

EFICIÊNCIA DO FOSFATO DE ALUMÍNIO JANDIÁ NO DESENVOLVIMENTO
DO CACAUEIRO, NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DA CALAGEM E DE FUNGOS
ENDOMICORRÍZICOS VESÍCULO-ARBUSCULARES

Autor: Raimundo Carlos Moia Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

RESUMO

No experimento conduzido em casa-de-vegetação, foi avaliada a eficiência do fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação e calcinado a 350°C e 700°C e do superfosfato triplo como fonte de fósforo no desenvolvimento do cacaueiro (*Theobroma cacao* L.). Como substrato, utilizou-se uma areia quartzosa esterilizada em autoclave, com dois níveis de pH diferenciados pela calagem, sem e com inoculação de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (MVA) nativos e *Gigaspora margarita* em plântulas de cacaueiros com duas semanas de idade. Após sete meses, as plantas foram colhidas obtendo o peso da matéria seca da parte aérea, as concentrações e quantidades acumuladas dos macro e dos micronutrientes e a colonização do fungo nas radículas.

Os resultados obtidos demonstram que na presença da calagem e de fungos *Gigaspora margarita* houve aumento da produção de matéria seca com adição do fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C e de superfosfato triplo. Na presença da calagem, o superfosfato triplo apresentou um aumento de solubilidade de 115% em relação ao fosfato de alumínio Jandiá com e sem calcinação. A inoculação de fungos micorrízicos *Gigaspora margarita* e fungos nativos, na presença da calagem, aumentou o teor de P em 150% e 140% respectivamente e reduziu as concentrações de N, Ca, Mg, S, Fe e Mn, além de aumentar a absorção total de todos os nutrientes. A aplicação de fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação na presença da calagem, demonstrou eficiência equivalente e até superior ao superfosfato triplo em relação à concentração de P, Ca e S; porém, a quantidade total absorvida de P e Fe foi superior com a adubação de superfosfato triplo.

Foi constatada a elevada concentração de manganês na planta causada pela esterilização do solo, assim como a inexistência de infecção radicular.

JANDIÁ ALUMINIUM PHOSPHATE EFFICIENCY IN THE DEVELOPMENT
OF CACAO, IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF LIMING AND
OF VESICULAR-ARBUSCULAR ENDOMYCORRHIZA FUNGI

Author: Raimundo Carlos Moia Barbosa
Adviser: Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

SUMMARY

In an experiment carried out in the greenhouse, the Jandiá aluminium phosphate efficiency was evaluated without calcination and calcinated at 350°C and 700°C, and triple superphosphate as a phosphorus source in cacao development (*Teobroma cacao* L.). It was utilized a kind of quartz sand as a substrate sterilized in autoclave with two pH levels distinguished by liming with and without the vesicular-arbuscular (MVA) mycorrhizal native fungi inoculation and *Gigaspora margarita* in two weeks old cacao seedlings. After seven months, the plants were harvested and obtaining the above-ground dry matter weight, the concentrations and quantities of accumulated macro and micronutrients and fungus colonization in the rootlets.

The results obtained showed that in the presence of liming and *Gigaspora margarita* fungi there was an increase of dry matter production with the Jandiá

aluminium phosphate calcinated at 700°C and the addition of triple superphosphate. In the presence of liming, the triple superphosphate showed an increase of 115% in the rate of solubility in relation to the Jandiá aluminium phosphate with and without calcination. In the presence of liming, the *Gigaspora margarita* mycorrhizal fungi and native fungi inoculation increased the P content in 150% and 140%, respectively and reduced N, Ca, Mg, S, Fe and Mn concentrations, while increasing the total absorption of all nutrients. The application of Jandiá aluminium phosphate with and without calcination in the presence of liming, showed an equivalent and even superior efficiency when compared to the triple superphosphate in their effect on P, Ca, and S concentrations in the plants, however the amount of P and Fe quantities were superior with triple superphosphate fertilization.

A high manganese concentration as well as the absence of rootlet infection were verified in the plants caused by soil sterilization.

1. INTRODUÇÃO

O cacaueiro (*Theobroma cacao* L.) nos países produtores tem se desenvolvido com maior sucesso em solos de média a alta fertilidade e sem limitações de ordem física. Entre os fatores químicos do solo que mais limitam o crescimento e produção do cacaueiro, estão a deficiência de fósforo e o elevado teor de alumínio associado a pobreza de bases divalentes presentes no complexo de troca (MORAIS et alii, 1978).

No Brasil, o cultivo do cacaueiro concentra-se no sudeste da Bahia ocupando uma área aproximada de 625 mil ha e na região amazônica com 80 mil ha, cujas as produções contribuem para colocar o país como o segundo maior produtor mundial de cacau.

Na Amazônia, como em quase todas as regiões brasileiras, predominam solos muito intemperizados, ácidos e com baixos teores de nutrientes disponíveis às plantas. Por outro lado, o acelerado processo de fixação de fósforo devi-

do aos altos teores de óxidos de ferro, alumínio e manganês existentes nestes solos, determinam uma maior deficiência deste nutriente. Nestas condições, para se alcançar altos rendimentos das culturas, é necessário grande quantidade de adubos fosfatados. Para a correção da falta do fósforo no solo, aplica-se adubos fosfatados solúveis, onerando bastante o custo de produção agrícola.

A calagem e a adubação com fosfatos naturais, têm sido uma prática empregada para redução da fixação de fósforo, retardando a sua disponibilidade e melhorando o seu aproveitamento pelas culturas.

A importância da associação micorrízica vesículo-arbuscular (MVA) na nutrição mineral do cacaueiro, foi evidenciada em trabalho realizado por EZETA & SANTOS (1981). Dentre os efeitos benéficos de tais associações, destaca-se a melhor nutrição, principalmente de fósforo, cobre e zinco, resultando em um melhor desenvolvimento da planta (GERDEMANN, 1968; MOSSE, 1973a).

Sendo o cacau um produto de exportação, a cacauicultura é de grande importância como fonte de divisas para o Brasil. Com a expansão do cultivo do cacaueiro na região amazônica onde ocorrem grandes reservas de rochas contendo fosfato de alumínio, é de alto interesse o conhecimento da eficiência deste fosfato como fonte de fósforo na adubação do cacaueiro.

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar em condições controladas, a eficiência do fosfato de alumínio Jandiá com diferentes tratamentos térmicos comparando com o superfosfato triplo, na presença e ausência da calagem e de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fosfatos naturais

O emprego de rocha fosfatada no solo na forma de minério, como fonte de fósforo às plantas, tem demonstrado resultados experimentais bastante discordantes, visto que, a maioria dos experimentos com ela conduzidos, não considera a variabilidade entre os solos e nem entre as rochas, impossibilitando assim, uma conclusão sobre a eficiência dessas rochas como fonte de fósforo para o solo e as culturas (FENSTER & LEON, 1978).

KHASAWNEH & DOLL (1978), afirmam que as divergentes opiniões com respeito a eficiência do fosfato de rocha, podem ser resolvidas se forem consideradas as diferenças na composição química e mineralógica das várias fontes de fosfato de rocha e se os fatores que afetam a dissolução dos mesmos nos solos, forem quantificados pela aplicação dos conhecimentos e aceitação dos princípios de química de solos. Como ponto pacífico afirmam que, embora a

fonte e a forma do fosfato de rocha sejam importantes, sua eficiência em um solo específico, podem ser grandemente determinada pelos fatores do solo.

Em solos de baixa fertilidade e alta capacidade de fixação de fósforo, a aplicação de fosfatos naturais tem sido considerada como alternativa de adubação promissora para o caso de culturas perenes (GOEDERT & LOBATO, 1980; 1984). Dada a pequena reatividade dessas fontes de fósforo com o solo, permite uma menor e menos intensa formação de P-não-lábil, pelo menos a curto prazo, ocasionando efetividade mais duradoura dos efeitos da adubação (BALLARD, 1984).

Para KHASAWNEH & DOLL (1978), a dissolução do fosfato de rocha no solo, se baseia nos seguintes parâmetros: 1) no gradiente de pH, onde a solubilidade aumenta com o decréscimo do pH; 2) no gradiente pCa, onde a solubilidade aumenta com o decréscimo da atividade de Ca na solução do solo; 3) no gradiente da atividade do íon H_2PO_4^- na solução do solo, onde a solubilidade é aumentada se existir um adsorvente para reduzir a concentração do íon H_2PO_4^- e diminuída se o H_2PO_4^- se encontra em concentração elevada; 4) para valores de pH abaixo de certos níveis, a solubilidade aumenta com o acréscimo da substituição do íon PO_4^{3-} por CO_3^{2-} .

Verifica-se que, os três primeiros parâmetros estão relacionados com os atributos do solo, e o quarto, diz respeito as características intrínsecas do fosfato de rocha,

que determina a reatividade destes materiais. Todavia, outros fatores devem ser incluídos, como a espécie de planta utilizada, variabilidade dos solos, material genético cultivado e condições microbiológicas do solo e da rizosfera para que se possa avaliar com maior propriedade, a eficiência dos fosfatos naturais aplicados diretamente ao solo como fonte de fósforo às plantas.

O efeito da acidez, bem como de outras propriedades do solo, que interferem na solubilização da fluorapatita, pode ser visualizado através da reação química seguinte (KÖRNDORFER, 1978).

Analisando esta reação, observa-se que, em solos ácidos com elevada concentração de hidrogênio, favorecem a dissolução dos fosfatos naturais. KHASAWNEH & DOLL (1978), observaram que os baixos valores de pH de um solo estão geralmente associados a outras condições do meio que influenciam na solubilização da rocha fosfatada, como o alto teor de alumínio e o baixo teor de cálcio trocáveis. MOREIRA et alii (1979) e BRAGANÇA et alii (1981), constatarem a existência de relação positiva entre o teor de alumínio trocável e a solubilização do fosfato natural. Entretanto, NOVAIS & RIBEIRO (1982), observaram efeito negativo desse cátion sobre a dissolução da apatita de Araxá, em solução com pH constante e tamponado.

Em um experimento em casa-de-vegetação ELLIS

et alii (1955) observaram que a calagem diminuiu a liberação de fósforo do fosfato de rocha. Quando o fosfato natural foi aplicado um mês antes da calagem para pH 7,0 o crescimento da aveia foi melhor e a absorção de fósforo maior do que quando a ordem das aplicações foi invertida. Todavia, NEME & LOVADINI (1967) trabalhando com um solo denominado "Terra do Cerrado" da Estação Experimental de Campinas, estudaram o efeito do fosfato de Araxá e da fosforita de Olinda na produção de matéria seca da soja perene (*Glycine javanica*) durante 6 anos e encontraram resultados diferentes daqueles de ELLIS et alii (1955) para a aveia. Os efeitos do fosfato de Araxá e da fosforita de Olinda foram aumentados em 39 e 45%, respectivamente, com aplicação de 6t de calcário/ha.

DYNIA (1977), em ensaios conduzidos em vasos com cinco solos diferentes, observou que, a elevação do pH dos solos aumentou a eficiência do superfosfato triplo, diminuiu a eficiência relativa do fosfato de Gafsa e praticamente não afetou a do fosfato de alumínio calcinado Maranhão (Pirocaua); enquanto os fosfatos de Catalão e Patos-de-Minas mostraram-se ineficientes como fonte de fósforo para o trigo. FEITOSA et alii (1978), mostraram também, em um experimento em casa-de-vegetação com Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, usando como planta teste o trigo a eficiência relativa de diversos fosfatos aplicados em diferentes doses de P_2O_5 total. O superfosfato triplo foi o

melhor fertilizante, seguido do termofosfato "Yoorin". O hiperfosfato, o termofosfato IPT, e os fosfatos de alumínio calcinados Maranhão, Fospal e Alvorada tiveram comportamento semelhante e superior aos demais. Os fosfatos de Araxá, Jacupiranga, Patos-de-Minas, Catalão, Abaeté, Olinda, Ipanema e Tapira não diferiram da testemunha em nenhuma das doses aplicadas.

BLANCO et alii (1965), trabalhando com fosforita de Olinda entre outros fosfatos, em três condições de pH, verificaram que na faixa de pH 5,1 e 5,3, houve melhor aproveitamento desses fosfatos. A calagem visando a elevação do pH acima 5,5 proporcionou perdas da eficiência dos fosfatos utilizados. ATANASIU (1971), também encontrou melhores resultados para o fosfato natural aplicado em Latossolos de regiões tropicais com pH entre 4,9 e 5,1; quando comparados com uma fonte de fósforo solúvel em água.

Resultados discordantes dos anteriores, sobre o efeito benéfico da acidez do solo na solubilização do fosfato natural foram obtidos por RYAN & SMILLIE (1975). Eles constataram que o "Phospal" (material obtido da calcinação de um fosfato alumino-cálcico do Senegal) proporcionou acréscimos na produção da matéria seca e no conteúdo de fósforo do azevém perene italiano (*Lolium multiflorum* Lam), com acréscimo do pH do solo. Entretanto, efeitos favoráveis da acidez do solo foram novamente relatados por JUO & KANG (1979), em trabalho conduzido em dois solos ácidos da

Nigéria, usando os fosfatos naturais de Marrocos e do Togo. Eles observaram que o acréscimo do pH através da calagem em torno de 5,5, deprimiu a absorção de fósforo dos fosfatos de rocha pela planta, porém, aumentou a absorção de fósforo proveniente do superfosfato triplo.

Em ensaios conduzidos em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob vegetação de cerrado, GOEDERT & LOBATO (1980) estudaram a eficiência agronômica de onze fontes de fósforo tendo como planta teste uma sucessão de cultivos anuais: trigo, soja e arroz. Os resultados obtidos evidenciaram que, o superfosfato triplo foi o que melhor se comportou, vindo a seguir o fosfato de Gafsa e o termofosfato magnesiano. Dentre os demais fosfatos testados, o fosfato de alumínio calcinado Maranhão (Pirocaua) teve eficiência agronômica semelhante ao termofosfato IPT, fosfato da Flórida/EUA e ao fosfato do Tennessee/EUA e superior ao fosfato natural de Patos-de-Minas, de Araxá, de Abaeté e de Catalão. Foi ainda constatado que a eficiência agronômica dos fosfatos naturais melhora com o aumento da acidez do solo.

Dentre as características do solo que afetam a fixação do fósforo e consequentemente a eficiência agronômica das rochas fosfatadas estão: a matéria orgânica e o teor de argila. A fração argila e em menor intensidade, a fração silte estão relacionadas, de forma indireta, com a adsorção de fósforo, uma vez que contém óxidos hidratados de ferro e alumínio em sua superfície. De acordo com BARBOSA

FILHO (1984), solos com semelhantes mineralogia de argila reterão mais fósforo com aumento no seu teor de argila.

Ainda com referência a esse aspecto, THOMAZI et alii (1990), estudando os solos do município de Piracicaba (SP), concluem que a argila e o óxido de ferro livre são os fatores que contribuem para a fixação de fósforo nesses solos e que, dentre os solos estudados o denominado de Ribeirão Claro foi o que apresentou menor capacidade de fixação de fósforo.

A matéria orgânica, através de seus produtos de decomposição (ácidos orgânicos e húmicos), influencia negativamente a fixação de fósforo nos solos. A formação de complexos de alumínio e ferro nesta fração, reduz a adsorção do $H_2PO_4^-$, por outro lado, formam também complexos fosfóricos nos quais a disponibilidade de fósforo é aumentada (MALAVOLTA, 1976).

O emprego de aditivos visando aumentar a dissolução dos fosfatos de rocha no solo tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores. Assim, Terman et alii (1964) usaram enxofre, resina-H e superfosfato simples como acidulantes para fosfato de rocha, constatando melhores resultados na absorção de fósforo pelo milho do que quando usaram somente a rocha. SALINAS & SANCHEZ (1976), observaram que fungos micorrízicos inoculados ao solo, aumentavam a disponibilidade de fósforo para os vegetais. KHASAWNEH & DOLL (1978), relatam uma série de dados, desde 1916 em que o

aditivo ora foi enxofre, inoculado ou não com *Thiobacillus* spp, em que a eficiência dos fosfatos de rocha foi melhorada; ora fontes de fertilizantes não fosfatados solúveis, como sulfato de amônio e cloreto de potássio, proporcionando um acréscimo na absorção de fósforo de 28,5% em relação ao tratamento que usou isoladamente o fosfato natural. Além desses, misturas de fosfatos naturais com superfosfatos foram tentadas, mas os resultados de uma maneira geral, levam a acreditar que a eficiência aumenta à medida que aumentam as quantidades de fosfato provenientes dos superfosfatos (FERNANDES & KAMINSKI, 1987; NACHTIGALL et alii, 1989).

As características físicas, químicas e mineralógicas das rochas fosfatadas influem na sua utilização direta ao solo como fonte de fósforo às culturas. McCLELLAN (1978), considera que a maioria dos depósitos de apatitas comerciais, são originários de sedimentos marinhos, complexos ígneos alcalinos, depósitos residuais produzidos pela intemperização de calcários fosfáticos sedimentares e complexos carbonatitos ígneos. A composição química destes materiais ditam a variação nas propriedades dos fosfatos produzidos. Em sedimentos marinhos, o fosfato é basicamente formado por carbonato fluorapatita; em depósitos ígneos a composição química dos fosfatos assemelham-se ao da fluorapatita; em depósitos residuais os fosfatos de ferro-alumínio e cálcio-ferro-alumínio estão associados às apatitas.

O principal mineral fosfático em todas as rochas fosfatadas é a apatita, cuja reatividade química difere segundo a sua composição, que por sua vez está relacionada com sua origem geológica. Assim, rochas sedimentares apresentam substituição isomórfica de PO_4^{3-} por CO_3^{2-} e F^- , mostrando uma maior liberação de fosfato quando a substituição aumenta, resultando uma microestrutura cristalina, porosa, com alta superfície específica e de maior solubilidade, enquanto que, as rochas ígneas e metamórficas apresentam uma forte estrutura cristalina, pouco reativas e muito lenta liberação de fósforo, o que limita sua aplicação direta como fonte de fósforo (CHIEN & McCLELLAN, 1977; McCLELLAN & GREMILLION, 1980). Em decorrência das substituições isomórficas, as análises químicas indicam maior teor de fósforo em rochas ígneas do que em rochas sedimentares, embora esta característica seja importante como fator químico para indústria de adubos, torna-se irrelevante se o fosfato destina-se à aplicação direta ao solo (KHASAWNEH & DOLL, 1978), uma vez que, neste caso, sua reatividade no solo é a principal propriedade a ser observada (KAMINSKI, 1983).

A variabilidade entre as espécies vegetais e mesmo entre os cultivares da mesma espécie no que se refere à habilidade de absorção de fósforo, é um importante fator a ser considerado na avaliação agronômica dos fosfatos naturais. Segundo CABALA-ROSAND & SANTANA (1983) e BARBOSA FILHO (1984), as diferenças entre as espécies vegetais quanto à

capacidade de absorção de fósforo das rochas fosfatadas estão relacionadas com a dinâmica do crescimento da planta, com as características de seu sistema radicular e com as transformações químicas na interface raiz-solo.

GOEDERT & LOBATO (1984) em experimento de campo, verificaram a maior capacidade de absorção de fósforo pelo capim-andropogon, quando comparado com o trigo, soja, arroz e sorgo em rotações sucessivas em solo de cerrado. Os autores relacionaram essa maior eficiência ao sistema radicular da espécie, que mostrou-se bastante desenvolvido tanto em volume como em profundidade.

Para DRAKE & STECKEL (1955), a capacidade de troca catiônica das raízes das espécies vegetais, estaria associada à maior eficiência no aproveitamento do fósforo dos fosfatos naturais. Estes autores observaram que plantas com sistemas radiculares com elevada capacidade de troca catiônica, foram de duas a três vezes mais eficientes em absorver fósforo do solo e dos fosfatos naturais, que plantas com sistemas radiculares de baixa capacidade de troca catiônica. Verificaram, também, que plantas de aveia, com capacidade de troca catiônica relativamente baixa, quando cultivadas em associação com trevo vermelho cujo sistema radicular possui alta capacidade de troca catiônica, continham 60% mais fósforo, do que quando cultivadas isoladamente. Ainda sobre este mesmo enfoque, RAIJ & DIEST (1979) estudaram a habilidade do trigo, milho, capim gordura, soja,

capim paspalum e trigo mourisco, em utilizar o fósforo do superfosfato e de vários fosfatos naturais, entre os quais o fosfato do Maranhão, o hiperfosfato, o fosfato de Patos-de-Minas e o fosfato Alvorada, além de um fosfato africano. Os resultados mostraram que apenas o trigo mourisco pode utilizar satisfatoriamente o fósforo de todos fosfatos. Para as outras culturas, somente o fosfato Maranhão e o hiperfosfato apresentaram valores fertilizantes significativos. Os autores sugerem que culturas como trigo mourisco, com um padrão de absorção de cátions superior a de ânions e que utilizam eficientemente o fósforo dos fosfatos naturais, deveriam ser investigadas e pesquisadas em razão do crescente uso dos fosfatos de rocha na agricultura dos países tropicais.

Com referência às ocorrências de rochas fosfatadas no Brasil, CARVALHO (1977) cita que as nossas reservas correspondem a cerca de 1.436 bilhão de toneladas, contendo aproximadamente 129 milhões de toneladas de P_2O_5 e que as maiores concentrações de mineral fosfático ocorrem nos estados de Minas Gerais e Goiás. Ainda segundo este autor, as reservas brasileiras evidenciam quatro tipos de formação de depósitos: a) jazida sedimentar, sob a forma de fosforita; b) jazida sedimentar-metamórfica; c) jazidas relacionadas com atividade magmática, sob a forma de apatita; d) jazida de concentração residual e enriquecimento secundário, constituindo as bauxitas fosforosas.

As rochas fosfáticas nacionais são predominantemente de origem ígnea, com baixo grau de substituição isomórfica e consequentemente de pouca reatividade nos solos, apresentando baixo teor de P_2O_5 . Nessas condições, torna-se necessário uma prévia concentração da rocha, para sua maior solubilização.

Dentre todos os métodos conhecidos para o acréscimo do teor de fósforo solúvel dos fosfatos naturais, o mais eficiente, além da acidificação total por ácidos fortes, é o tratamento térmico na obtenção dos termofosfatos. Entre os termofosfatos utilizados como fertilizantes, destaca-se os fosfatos aluminosos calcinados pela sua ocorrência significativa na região Nordeste do Brasil.

Segundo COSTA & SÁ (1980), os fosfatos de alumínio da Amazônia Oriental, foram formados por intemperismo laterítico acentuado, de rochas-mães primariamente mineralizadas por fosfatos. De acordo com esses pesquisadores, os horizontes dos perfis lateríticos dessas rochas correlacionam-se com aqueles de depósitos de bauxita da Amazônia, os quais formaram-se juntamente com os fosfatos, durante o período geológico Plioceno-Pleistoceno.

O horizonte de fosfatos é constituído principalmente pelos minerais: crandalita-goyazita (Ca, Sr), $Al_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$; variscita: $(Al, Fe^{3+})PO_4 \cdot 2H_2O$; senegalita: $Al_2PO_4(OH)_3 \cdot H_2O$; wardita: $(Na, Ca)Al_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$; augelita: $Al_2PO_4(OH)_3$.

Além desses, encontram-se goethita, gibbsita, boehmita e anatásio, contendo a crosta ferruginosa hematita, goethita e fosfatos de ferro e cálcio.

As rochas contendo fosfatos de alumínio na região Norte e Nordeste do país, localizam-se próximo ao litoral dos estados do Pará e Maranhão e são conhecidas desde o início do século XX, quando a reserva da ilha de Trauíra no Maranhão era considerada como a única grande reserva fosfática do Brasil (BRAUN, 1983).

Os minerais fosfáticos ocorrentes nas jazidas de fosfato de alumínio são, insolúveis ou de baixa solubilidade em água e extratores convencionais, usados para a avaliação do fósforo em fertilizantes.

Com o tratamento térmico de calcinação, os minerais fosfáticos que constituem as rochas de fosfato de alumínio modificam sua fase cristalina originária, perdendo a água de constituição, a partir de 180°C se prolongando até 700°C. Com o aumento da temperatura de calcinação, ocorre reorganização cristalina com consequente aumento do grau de cristalinidade dos minerais fosfáticos, mostrando uma tendência à queda na solubilização do fósforo. Nas condições de calcinação até a temperatura de 700°C o fosfato de alumínio forma uma fase amorfa, a qual tem alta solubilidade em solução neutra de citrato de amônio (ALCARDE & PONCHIO, 1980).

GUARDANI (1987), estudando a solubilidade de

fosfatos de alumínio da região Norte-Nordeste do Brasil em relação ao tratamento térmico de calcinação, verificou que as quatro amostras analisadas, uma do estado do Pará (Jandiá) e as demais do estado do Maranhão (Pirocaua, Trauíra superior e Trauíra inferior), apresentaram comportamento similar, isto é, aumentaram sua solubilidade em solução neutra de citrato de amônio com o acréscimo da temperatura de calcinação até a faixa de 500 a 700°C, com posterior aumento da temperatura a solubilidade diminuiu. Este autor, também observou que para as quatro amostras testadas, os melhores resultados foram:

Jandiá:	P ₂ O ₅ total = 24%; P ₂ O ₅ solúvel = 19,8%
Pirocaua:	P ₂ O ₅ total = 20%; P ₂ O ₅ solúvel = 19,0%
Trauíra superior:	P ₂ O ₅ total = 33%; P ₂ O ₅ solúvel = 30,5%
Trauíra inferior:	P ₂ O ₅ total = 25%; P ₂ O ₅ solúvel = 24,0%

O tratamento térmico, além de tornar o fósforo mais disponível para as plantas, aumenta a concentração de P₂O₅ total no produto, em consequência da perda de água estrutural. Por outro lado, a formação de pontes oxigênicas na estrutura alumínica estabiliza o alumínio, tornando-o mais insolúvel e sem problemas para as plantas (BRAUN, 1983).

Diversos resultados experimentais demonstraram a eficiência agrônômica dos fosfatos de alumínio calci-

nado da Amazônia como fonte de fósforo para as plantas (FEITOSA et alii, 1978; GOEDERT & LOBATO, 1980; 1984). Todos esses estudos indicam que a calcinação de rochas contendo fosfato de alumínio é uma alternativa promissora para o fornecimento de fertilizantes fosfatados principalmente às regiões Norte e Nordeste do Brasil.

2.2. Efeito da Calagem e da Adubação Fosfatada na Cultura do Cacaueiro

A acidez do solo e a deficiência de fósforo constituem os principais fatores que limitam o crescimento e a produção do cacaueiro (CABALA-ROSAND et alii, 1975; MIRANDA & DIAS, 1971).

A calagem, prática recomendada para o controle da acidez do solo, tem sido tradicionalmente efetuada com a finalidade de elevar o pH do solo para uma faixa próxima à neutralidade, geralmente 6,5 - 7,0. Admite-se que, desta forma, fatores tais como a baixa saturação de bases, a fixação de fósforo e a toxicidade devida ao alumínio e manganês sejam eliminados ou provavelmente influenciados.

Os efeitos da correção da acidez sobre o desenvolvimento do cacaueiro, bem como o grau de tolerância desta planta ao alumínio tem sido avaliados em trabalhos em laboratório, casa-de-vegetação e campo. Os dados disponíveis

de cultivos em solução nutritiva sugerem que o cacaueteiro apresenta uma certa tolerância ao alumínio (EZETA & SANTANA, 1979). Nesta mesma linha de pesquisa, SMYTH (1967), relatou que o cacaueteiro se desenvolveu bem em solos ácidos de Trinidad e da Guiana Inglesa, mesmo com níveis elevados de Al^{3+} , a ponto de provocar um desenvolvimento anormal no sistema radicular do milho.

HARDY (1961) chegou a sugerir que o cacaueteiro, tal como o cafeeiro e o chá, seria mais tolerante a condições de acidez que alguns outros cultivos tropicais, alertando entretanto, que solos extremamente ácidos deveriam ser evitados. É possível que o cacaueteiro esteja incluído entre o grupo de plantas que exudam ácidos quelantes ou tem capacidade de aumentar o pH na interface solo-raiz, de modo a atenuar os efeitos indiretos do Al^{3+} .

Tem se observado também que em alguns casos, mesmo quando o Al trocável e a saturação desse elemento são relativamente elevados (20-30%), não ocorre efeito detrimental sobre a produção primária do cacaueteiro quando se aplica fósforo (MORAIS et alii, 1978). Todavia, sob saturações de Al mais elevada (>30%), a produção de biomassa decresce consideravelmente (CABALA-ROSAND & SANTANA, 1983).

Por outro lado, em solos que apresentam baixos teores de Ca e Mg trocáveis (Oxisols), a adição de calcário dolomítico tem sido benéfica, talvez mais pela adição de Ca e Mg como nutrientes do que pelo efeito na acidez do

solo (MORAIS et alii, 1979). Entretanto, os teores de Al trocável nesses solos, variando de 0,6 a 1,0 meq.100g⁻¹, representam altas saturações do elemento devido aos baixos teores de Ca e Mg. Desta maneira, torna-se difícil separar os efeitos diretos de Al, daqueles decorrentes dos baixos níveis dessas bases sobre o desenvolvimento e produção do cacaueiro.

Os efeitos da calagem em cacaueiros adultos foram inicialmente avaliados em experimentos conduzidos em seis plantações comuns em que o Al trocável no solo variou de 0,2 a 1,7 meq.100g⁻¹ e a soma de Ca + Mg de 3,2 a 7,2 meq 100g⁻¹. Nessas condições não houve efeito da calagem, tendo registrado, em cinco áreas, aumentos de produção de 39%, devido a adubação, e que corresponderam a 293 kg ha⁻¹ (CABALA-ROSAND & SANTANA, 1983).

Um segundo experimento foi conduzido em quatro plantações adultas de cacaueiros comuns instalados em solo Vargito Distrófico (Tropudult), para medir os efeitos da aplicação a longo de doses de calcário dolomítico, calculadas multiplicando-se os teores de Al trocável pelos fatores 0,0; 1,5 e 3,0 toneladas de corretivo. Em todos os tratamentos aplicaram-se anualmente 60 kg ha⁻¹ de N, 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O (SANTANA & MORAIS, 1982). Os dados de produção no período 1977 a 1981 evidenciaram incrementos significativos em dois dos locais, justamente onde as saturações de Al apresentavam-se mais eleva-

das. A dosagem de 1,5 t de corretivo por meq de Al foi a que condicionou maiores aumentos de produção que diminuíram quando se aplicou o dobro dessa dose.

Tanto a produção de biomassa, como a produção de amêndoas estão relacionadas com os efeitos produzidos pelo fósforo na cultura do cacaueiro (CABALA-ROSAND et alii, 1982).

Na cultura do cacaueiro, os cultivares diferem quanto à habilidade de absorção de fósforo. CABALA-ROSAND & MARIANO (1985), realizaram experimento em casa-de-vegetação para avaliar a eficiência na absorção de fósforo em cinco cultivares de cacau. As produções de massa seca e o conteúdo de fósforo evidenciaram a superioridade da combinação SIC 831 x SCA 6, que apresentou também maior área foliar e maior quantidade de raízes secundárias, situando-se em plano intermediário os híbridos SIX 864 x SIC 328, SIC 823 x ICS 1 e SIC 831 x IMC 67 e, em plano inferior, a cultivar Catongo. Verificaram também que a extensão do sistema radicular das cultivares, influenciou significativamente na absorção de fósforo, existindo uma associação estreita entre a absorção de fósforo e o comprimento da área das raízes secundárias.

Respostas de cacaueiros Catongo a doses crescentes de fonte de fósforo solúvel na presença de níveis constantes de N e K foram avaliadas no período de 1971-1980 em oito plantações instaladas em solos representativos do

Sul da Bahia. Respostas consideráveis para o fósforo ocorreram em todos os 10 anos, especialmente para a dose anual de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Embora tenha sido constatado maiores aumentos de produção quando se aplicou o dobro dessa dose, os mesmos não foram economicamente compensadores quando em confronto com as respostas à dose anterior (CABALA-ROSAND et alii, 1982).

MIRANDA & CABALA-ROSAND (1973), avaliaram a eficiência agrônômica de rochas fosfatadas e fontes solúveis em experimentos conduzidos em plantações comuns de cacaueiros. Os autores observaram que o superfosfato simples foi a fonte que apresentou maior eficiência agrônômica, possivelmente em decorrência da deficiência de enxofre na área ensaiada. Embora sem diferenciação estatística, o fosfato de Olinda, o superfosfato triplo e o fosfato de amônio foram as fontes que se situaram em segundo plano, apresentando logo a seguir o termofosfato e a farinha de ossos, com produções bastante similares entre si. O fosfato de Araxá e a apatita de Itambé mostraram baixo valor fertilizante respondendo por produções equivalentes ao tratamento em que se aplicou apenas N e K.

Conforme os resultados de TEOD et alii (1984), o cacaueiro apresenta acentuada resposta para o fósforo aplicado na forma de fosfato de rocha. Em experimentos executados em três solos do sudeste da Bahia, foram testados o valor fertilizante das rochas fosfatadas de Patos (Minas

Gerais), Gafsa (Tunísia) e Marrocos em comparação com o fosfato monocálcico sob diferentes tempos de contato solo x fosfato (CABALA-ROSAND & WILD, 1982); os resultados demonstraram que os fosfatos de Gafsa e de Marrocos apresentaram valor fertilizante similar ou superior à fonte solúvel, enquanto que o fosfato de Patos mostrou baixa eficiência agronômica. A superioridade do valor fertilizante da rocha fosfatada de Gafsa sobre os fosfatos de Patos e Araxá ficou também evidenciado através de experimentos em vasos com plantas de cacaueiros cultivadas em solo ácido argiloso (MORAIS et alii, 1979).

Em trabalhos recentes, como parte de um programa de âmbito nacional, estão sendo testadas fontes fertilizantes alternativas na cultura do cacaueiro, através de experimentos em casa-de-vegetação e campo. As produções de matéria seca e conteúdo de fósforo nos cacaueiros tem evidenciado maiores eficiências para os termofosfatos, para fosfatos solubilizados pelo bissulfato de amônio (produzidos pela reação do ácido sulfúrico e sulfato de amônio sobre os concentrados fosfáticos), para os superfosfatos simples e para a farinha de ossos. Em situação intermediária apresentam-se os fosfatos parcialmente acidulados, enquanto que índices bastante baixos foram encontrados para os concentrados de Patos e Araxá sem qualquer tratamento térmico ou de acidulação (CABALA-ROSAND & SANTANA, 1988).

2.3. Micorrizas Vesículo-Arbusculares (MVA)

As micorrizas são associações simbióticas mutualísticas que se formam entre determinados fungos do solo e as raízes da maioria dos vegetais superiores. O termo micorriza (do grego, mykes = fungo; rhiza = raiz) foi designado por Frank, em 1885, porém foi ASAI (1943), citado por GERDEMANN (1968), quem apresentou evidências experimentais de que as micorrizas vesículo-arbusculares influenciam o crescimento das plantas. MOSSE (1957) mostrou que plantas colonizadas tiveram melhor crescimento e maior absorção de nutrientes que as não-colonizadas.

Com base apenas no tipo morfológico e anatômico da colonização das raízes pelo fungo, as associações micorrízicas podem ser agrupadas em ectomicorrizas, endomicorrizas e ectoendomicorrizas. Em todos esses tipos, o fungo penetra a raiz, colonizando as primeiras camadas do córtex intercelularmente, sendo que no caso das endomicorrizas e ectoendomicorrizas, as células distais do córtex são invadidas (LOPES et alii, 1983). Numa tentativa de estabelecer uma relação natural que pudesse explicar a evolução dos diferentes tipos de micorrizas, foi proposto por LEWIS (1975) a seguinte classificação: ectomicorrizas, micorrizas vesículo-arbusculares (MVA), micorrizas ericáceas, micorrizas arbutáceas e micorrizas orquidáceas.

Do ponto de vista ecológico e sob considera-

ções práticas, as ectomicorrizas e endomicorrizas VA (MVA) são as mais importantes. As MVA diferem das ectomicorrizas por não formarem manta ao redor e não provocarem alterações morfológicas nas raízes. Caracterizam-se por desenvolvimento de uma tênue rede miceliana permanente ao redor das raízes, com hifas finas que se difundem no solo e que penetram no córtex, inter e intracelularmente (TINKER, 1980). Segundo TRAPPE (1981), as MVA são de ocorrência generalizada no globo terrestre se associando à maioria das famílias vegetais, tendo sido constatada sua presença em briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas.

No Brasil, observou-se a presença de fungos MVA em um grande número de plantas que vivem em solos do cerrado (THOMAZINI, 1974), em café (FERNANDES & SIQUEIRA, 1989), em guaraná, pimenta-do-reino, malva e juta (FERRAZ, 1979), em gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais (MILLER et alii, 1979), em cana-de-açúcar (DAINESE & CARDOSO, 1981) e em amendoim e nas plantas invasoras da cultura (BONONI et alii, 1988).

De acordo com LOPES et alii (1983), os fungos MVA ocupam a seguinte posição no reino Mycetae: Divisão - Amastigomicota; subdivisão - Zigomicotina; Classe - Zigomicetos; ordem - Endogonales; família - Endogonaceae; gêneros - *Endogone*, *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora*, *Sclerocystis*, *Modicella*, *Graziella*, *Entrophospora* e *Complexipes*. GERDEMANN & TRAPPE (1974) reconheceram sete gêneros de

fungos pertencentes à ordem Endogonales, como endomicorrízicos, destes, apenas quatro, *Glomus*, *Gigaspora*, *Acaulospora* e *Sclerocystis* foram identificados como formadores de micorrizas do tipo vesicular-arbuscular com as plantas hospedeiras. Os fungos MVA associam-se à maioria das espécies de plantas cultivadas, embora sejam raros ou ausentes em famílias como, por exemplo, Cruciferae, Chemopodiaceae, Caryophyllaceae e Cyperaceae (POWELL & BAGYARAJ, 1984).

As MVA são constituídas por três componentes básicos: as raízes do hospedeiro, as hifas do fungo no interior das raízes e as hifas externas que se estendem através da rizosfera (LOPES et alii, 1983).

A dinâmica da infecção das raízes do hospedeiro pelo fungo simbiote inicia-se com a germinação e crescimento dos propágulos (esporos e hifas de raízes colonizadas) na rizosfera, formando as hifas infectivas, que por ação de enzimas e por pressão, formam o apressório através do qual penetram no interior das raízes (SWARD, 1978; LOPES et alii, 1983). Os fungos micorrízicos colonizam apenas o córtex da raiz, não invadindo a endoderme, o cilindro vascular e o meristema radicular da planta (GERDEMANN, 1974). Após a penetração, as hifas fúngicas se ramificam pelo córtex inter e intracelularmente diferenciando-se em arbúsculos, vesículas e esporos nas camadas mais internas.

Os arbúsculos são estruturas intracelulares efêmeras formadas por ramificações sucessivas de hifas lo-

calizadas no interior das células da planta hospedeira, constituindo-se no sítio de troca entre o fungo e a planta, possuindo vida média entre quatro a cinco dias, segundo COX & TINKER (1976); quatro a treze dias segundo BAREA & AZCÓN-AGUILLAR (1983) e uma a três semanas segundo MOSSE (1981); quando então se degeneram.

As vesículas desenvolvem-se inter ou intracelularmente, apresentando formato oval ou piriforme ao longo ou nas extremidades das hifas externas e internas. É provável que as vesículas funcionem como órgãos de reserva temporário do fungo HOLLEY & PETERSON (1979) e como propágulos, atuando como esporos (GERDEMANN, 1968).

A verificação das MVA nas raízes das plantas hospedeiras apresenta certa dificuldade, uma vez que o fungo não lhes causa alterações visuais. Além disso, sendo um simbiote obrigatório, o fungo não cresce em meio de cultura normalmente usados para o isolamento de fungos do solo ou de raízes. Para se constatar a colonização, as raízes tem que ser clareadas e coradas com produtos químicos e observadas em lupa ou microscópio (PHILLIPS & HAYMAN, 1970). No solo, a presença do fungo pode ser verificada por intermédio da coleta de esporos e micélio, através da técnica de peneiramento úmido seguido de centrifugação em solução de sacarose e observação microscópica (GERDEMANN & NICOLSON, 1963).

2.4. Fatores que Influenciam a Formação das Micorrizas Vesículo-Arbusculares

As MVA resultam de uma condição de equilíbrio entre o fungo, a planta e o ambiente (clima e solo), sendo que cada um desses componentes é afetado por fatores que podem atuar isoladamente, interrelacionados direta ou indiretamente (LOPES et alii, 1983).

2.4.1. Relações Fungo-Planta na Formação Micorrízica

Numerosos resultados experimentais demonstraram diferentes respostas da planta à inoculação com fungos MVA (POWELL, 1975b; SCHUBERT & HAYMAN, 1986; MCGONIGLE & FITTER, 1988).

Os efeitos benéficos proporcionados pela inoculação dos fungos MVA em relação ao hospedeiro, estão relacionados com a interação solo-planta-microrganismo e a dependência micorrízica da planta (BAREA et alii, 1984). A dependência micorrízica, é definida como sendo "o grau que as plantas necessitam estar micorrizadas para produzirem um crescimento máximo a dado nível de fertilidade do solo" GERDEMANN (1974), e expressada numericamente pela relação entre o crescimento de plantas micorrizadas e não micorrizadas, multiplicada por 100 (MENGE et alii, 1978). Existem

grandes variações quanto a esse grau, desde uma total independência, como nas plantas que não formam micorrizas, até uma quase total dependência, no caso de plantas que não se desenvolvem satisfatoriamente sem estarem micorrizadas, mesmo em solos de elevada fertilidade (MILLER Jr., et alii, 1986). Culturas como citrus (GRAHAM & SYVERTSEN, 1985); trigo (AZCÓN & OCAMPO, 1981), cacau (EZETA & SANTOS, 1981) e soja (PEREIRA, 1986) tem demonstrado serem relativamente dependentes das endomicorrizas para absorção de fósforo.

Dentre os macronutrientes, o fósforo é o mais relacionado com a dependência micorrízica das plantas. Há diferenças entre espécies e mesmo entre cultivar da mesma espécie de plantas, tanto pela capacidade de extração de fósforo (AZCON-AGUILLAR et alii, 1984), como pela demanda deste elemento (HARLEY & SMITH, 1983). Assim sendo, aquelas espécies ou cultivares de plantas com menor capacidade de absorção e com maior demanda de P são as que mais se beneficiam dos fungos MVA, e, portanto, as mais dependentes da simbiose para o seu melhor desenvolvimento. Além do fósforo, tem-se observado evidências que relacionam, a dependência micorrízica das plantas para absorção de Mn, de Zn e Cu (LAMBERT et alii, 1979; BAREA et alii, 1984; MANJUNATH & HABTE, 1988).

2.4.2. Efeitos dos Fatores do Solo na Formação

Micorrízica

O teor de alguns elementos químicos no solo exercem influências na formação, desenvolvimento e manutenção das MVA. O teor de fósforo disponível no solo constitui um dos principais fatores do sucesso da inoculação com fungos MVA em termos de respostas de crescimento e longevidade da espécie introduzida (ZAMBOLIM & SIQUEIRA, 1985).

A infecção micorrízica tende a declinar com aumento da adição de fósforo (MOSSE, 1973b), porém a taxa de colonização da raiz e os efeitos da infecção variam com os endófitos (ABBOT & ROBSON, 1978; SCHUBERT & HAYMAN, 1986).

O mecanismo pelo qual a disponibilidade de fósforo no meio controla o grau de colonização dos fungos MVA é assunto bastante contraditório, uma vez que, o mesmo não se tem mostrado como um fator inibidor da germinação de esporos "in vitro" (SIQUEIRA et alii, 1984) e no solo (DANIELS & TRAPPE, 1980). Autores como MOSSE (1973b), SANDERS (1975) e MENGE et alii (1978) sugerem que o declínio da infecção deve-se, principalmente, à concentração de fósforo na célula da planta hospedeira. Várias hipóteses têm sido propostas para explicar o processo pelo qual o fósforo no interior da planta inibe a formação da associação MVA: WOOLHOUSE (1975), propôs um mecanismo envolvendo as enzimas fosfatases ácidas e lectinas; RATNAYAKE et alii (1978), pro-

puseram que altos níveis de fósforo aumentam a biossíntese de fosfolipídeos provocando a menor permeabilidade das membranas e exsudação de carboidratos e aminoácidos na rizosfera e, mais recentemente, SIQUEIRA et alii (1984) citaram que a estreita relação entre o aumento no suprimento de fósforo e o acúmulo de açúcar na raiz, proporcionaram condições desfavoráveis à penetração e crescimento do fungo no córtex, reduzindo a taxa de colonização.

Outro nutriente estudado é o nitrogênio. Altos teores de N reduzem a infecção das raízes (CHAMBERS et alii, 1980), sendo a forma amoniacal a mais prejudicial. O mecanismo pelo qual o N afeta as MVA não está ainda esclarecido, atribuindo-se este efeito a modificações no pH e no metabolismo da planta hospedeira.

Com relação aos outros nutrientes: potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes, sabe-se que as micorrizas vesículo-arbusculares auxiliam no suprimento para as plantas, porém o efeito destes sobre o desenvolvimento do fungo é discutível (RHODES & GERDEMANN, 1980).

O pH do solo é outro fator de significativa importância no estabelecimento da associação simbiótica entre os fungos MVA e as raízes das plantas. As micorrizas vesículo-arbusculares têm sido relatadas em solos com pH variando de 2,7 a 9,2 (DAFT & EL-GIAHMI, 1975; BOWEN, 1980). MOSSE (1972) e DAVIS et alii (1983), citaram que a acidez do solo afeta a distribuição de esporos, colonização radicular

e eficiência de micorrização. SIQUEIRA et alii (1984), trabalhando com calagem, concluíram que a calagem nos solos ácidos, reduzindo o H^+ , Al^{3+} e outros metais tóxicos, inclusive manganês, diminui os efeitos fungistáticos contra o fungo MVA, favorecendo a formação micorrízica. Em ensaios conduzidos em casa-de-vegetação por PAULINO et alii (1985), estudou-se os efeitos do fungo MVA na utilização do fosfato de rocha e fosfato solúvel, na ausência e presença de calagem num solo ácido, sobre o desenvolvimento da associação trevo-azevém; os resultados obtidos mostraram que o emprego de calagem nesse solo favoreceu a infecção micorrízica, especialmente na presença de fosfato insolúvel ou na ausência de fontes externas de fósforo. Em outros experimentos executados em laboratório e casa-de-vegetação com a finalidade de avaliar o comportamento de populações de três espécies de fungos MVA em um solo ácido e distrófico com diferentes níveis de calcário e de fósforo (LAMBAIS & CARDOSO, 1988), observaram que a população de *Acaulospora scrobiculata* foi mais tolerante às condições de solo ácido e distrófico do as que as populações de *Gigaspora margarita* e *Glomus macrocarpum*.

A ocorrência da simbiose micorrízica tem sido constatada desde regiões áridas (REEVES et alii, 1979) até em ambiente aquático (SONDERGAARD & LAEGAARD, 1977). A relação entre o estado de umidade do solo e a infecção micorrízica ainda não está bem caracterizada. REID & BOWEN (1979),

observaram que a colonização das raízes da planta hospedeira é aparentemente mais rápida quando a umidade do solo é menor que a capacidade máxima de retenção de água. Por outro lado, tem sido verificado que em condições de estresse hídrico as plantas com MVA recuperam-se mais facilmente do murchamento do que as plantas não micorrizadas (ZAMBOLIM & SIQUEIRA, 1985; BETHLENFALVAY et alii, 1988).

Solos com elevado teor de umidade ou sujeitos a inundação, portanto com aeração deficiente, são geralmente desprovidos de micorrizas, porque os fungos micorrízicos são obrigatoriamente aeróbicos. SAIF (1981) verificou que, elevando o nível de O_2 do solo de 2 para 21%, o comprimento de raízes colonizadas aumentou duas vezes e a quantidade de vesículas cinco vezes. Todavia, esporos pré-germinados e expostos em reduzida tensão de O_2 foram pouco afetados (LETACON et alii, citados por MOSSE, 1973a).

A temperatura é um fator que afeta o grau de colonização, formação de arbúsculos, esporulação e resposta do hospedeiro (SCHENCK & SCHRODER, 1974). Em trabalhos realizados sobre o efeito da temperatura na absorção de fosfato de rocha e fosfato solúvel em plantas com e sem micorrizas, NYABYENDA (1979), constatou efeito diferencial sobre o transporte de P. Em temperaturas mais altas (30°C), plantas micorrizadas superaram as não micorrizadas em relação ao crescimento, sendo que o oposto ocorria em temperaturas mais baixas (20°C). No que se refere à germinação de esporos,

temperatura de 34°C foram ótimas para espécies de *Gigaspora* isoladas, originárias da Flórida, e 20°C para espécies de *Glomus* isoladas, originárias do Norte dos EUA (SCHENCK et alii, 1975; DANIELS & TRAPPE, 1980).

2.5. Efeitos das MVA no Crescimento das Plantas

Os efeitos benéficos das associações MVA no crescimento das plantas são mais acentuados em solos de baixa fertilidade, especialmente naqueles deficientes em fósforo (MOSSE, 1973b e 1981). Conforme revisão de LOPES et alii (1983), os benefícios das MVA resultam de um ou vários dos seguintes mecanismos:

- aumento na absorção e melhor conservação de nutrientes;
- aumento na nodulação e capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico;
- alteração na relação planta-patógenos;
- alteração na relação água-solo-planta;
- aumento na produção de fitohormônios;
- modificação de ordem anatômica e fisiológica no hospedeiro;
- melhor adaptabilidade da planta a condições adversas.

Embora as associações micorrízicas vesículo-arbusculares tenham ocorrência generalizada nas diversas regiões fisiográficas e ecossistemas do mundo, a eficiência desta simbiose tem sido demonstrada em experimentos onde o solo sofreu algum processo de desinfestação ou esterilização para a eliminação dos fungos nativos do solo. Quando se processa a inoculação no solo em condições naturais, nem sempre a eficiência dos fungos MVA introduzidos é facilmente observada.

A inoculação com fungos MVA em solos desinfestado ou esterilizado é uma prática utilizada apenas na formação de mudas em viveiro, com a finalidade de estudar a obtenção de endófitos competitivos e mais eficientes que as populações nativas do solo. No entanto, sendo os fungos MVA simbiossiontes obrigatórios não podem crescer na ausência da planta hospedeira, dificultando a disponibilidade de inóculos para a utilização em escala comercial.

Solos com baixa população de fungos MVA ou mesmo com alta população, mas dominados por espécies pouco eficientes, também podem apresentar respostas positivas às inoculações com espécies mais eficientes em relação ao crescimento quando introduzidas em solos em condições naturais (HAYMAN, 1985). Desta forma, a infectividade natural do solo ou substrato, e o seu nível de fertilidade, principalmente o teor de fósforo disponível, influenciam na resposta à inoculação, pois o teor de P disponível afeta a

formação e funcionamento da associação micorrízica (SIQUEIRA et alii, 1984).

O maior crescimento da planta colonizada pelos fungos MVA é atribuído a uma maior capacidade de absorção de nutrientes e água do solo. Esta maior capacidade de absorção deve-se ao espalhamento das hifas do fungo que coloniza o córtex da raiz estendendo-se no solo adjacente, que, segundo RHODES & GERDEMANN (1975), podem atingir 8 cm da superfície da raiz, aumentando assim a interface raiz-solo. Estabelece-se, portanto, uma estrutura que funciona como uma extensão do sistema radicular, ultrapassando a região de esgotamento das raízes não infectadas (LOPES, 1980). SANDERS & TINKER (1973) estimaram um comprimento de 80 cm de hifa por centímetro de raiz colonizada; verificaram que as plantas colonizadas tiveram maior fluxo de P do que as não colonizadas, sendo este efeito associado as hifas externas do fungo. BIELESKI (1973) calculou que, numa extensão de 1 mm de raiz colonizada da qual saem quatro hifas de 25 μ m de diâmetro e 20 mm de comprimento, a absorção de fósforo será 60 vezes maior do que na mesma extensão de raiz, sem colonização.

Os maiores efeitos das associações MVA na absorção têm sido verificados para os nutrientes de baixa mobilidade, os quais se movem no solo por difusão, como o P, principalmente, o Cu e o Zn (MOSSE, 1973b; COOPER, 1984). Aumentos na absorção de outros nutrientes como o K (POWELL,

1975a), o Ca (ROSS, 1971) e o S (RHODES & GERDEMANN, 1978), também têm sido observados em trabalhos experimentais.

A absorção do fósforo pelas hifas do fungo é ativa, ocorrendo contra um gradiente de concentração, uma vez que a concentração do elemento no citoplasma chega a ser até 3×10^3 vezes maior que a sua concentração na solução do solo (RHODES & GERDEMANN, 1980).

A absorção de fósforo pode também ser demonstrada pelos parâmetros da equação de Michaelis-Menten. CRESS et alii (1979), mostraram que raízes de tomateiro micorrizadas possuem valores de Km mais baixos do que aquelas não colonizadas, embora os valores de Vmax sejam similares. Por outro lado, FAQUIN et alii (1990) estudando a micorrização e níveis de nutrição sobre os parâmetros cinéticos de absorção de fosfato pela soja, concluíram que as plantas colonizadas pelo fungo MVA apresentaram valores de Km e Vmax, 28 e 33%, respectivamente maiores, e Cmin, 62% menor que as não-colonizadas, no nível de nutrição mais baixo. Estes resultados sugerem que as plantas colonizadas possuem maior afinidade por fósforo em solução do que as não colonizadas, mecanismo de fundamental importância para as culturas tropicais.

O fósforo é absorvido da solução do solo pelas hifas fúngicas, que o transforma em grânulos de polifosfato os quais são translocados por corrente citoplasmática até os arbúsculos, onde fosfatases específicas pro-

duzem novamente fosfato inorgânico que é então transferido para a planta hospedeira. Simultaneamente e em sentido contrário, ocorre a transferência de carboidratos oriundos da fotossíntese, o qual controla a velocidade de entrada de nutrientes absorvidos da solução do solo pelo fungo, bem como o grau de colonização das raízes (SIQUEIRA et alii, 1984) e resposta em crescimento da planta hospedeira (SIQUEIRA, 1983). O aumento na eficiência de utilização do P aplicado aos solos com alta capacidade de retenção do elemento pode estar associado com o armazenamento de P solúvel no micélio do fungo como grânulos de polifosfato, evitando, assim, que parte do P aplicado seja insolubilizado pelos colóides do solo. LOPES & SIQUEIRA (1981) estimaram que o equivalente a 260.000 toneladas de P_2O_5 (com base em 1978) poderia ser economizado na área de cerrados do Brasil se as MVA pudessem ser manejadas de modo a aumentar 15% a absorção de fósforo.

Hipóteses de que os fungos MVA poderiam utilizar formas de P do solo de baixa disponibilidade tem sido investigada com diferentes espécies de plantas (HAYMAN & MOSSE, 1972; POWELL, 1975b; GIANINAZZI-PEARSON et alii, 1981), entretanto, não se obteve ainda uma resposta definitiva sobre os mecanismos envolvidos. Para ALLEN et alii (1981), a maior atividade das enzimas fosfatases nas raízes colonizadas por fungos MVA influencia na utilização de fósforo orgânico. TINKER (1984), sugere que a exsudação de

ácidos quelantes pelas raízes micorrizadas, acidificando a rizosfera, pode aumentar a solubilização de fosfatos do solo ao menos na região restrita às proximidades do sistema radicular.

Uma outra possibilidade para explicar o aumento na nutrição de P das planta micorrizadas seria através da interação sinérgica entre fungos micorrízicos e bactérias solubilizadoras de fosfatos (BAREA et alii, 1975).

Atualmente, comprova-se que as plantas micorrizadas aumentam a utilização de nutrientes de formas pouco solúveis já presentes ou adicionadas ao solo (LOPES & SIQUEIRA, 1981 e MOSSE, 1981), como é o caso de fosfato de Ca, Al e Fe, rochas fosfatadas e potássicas, micas e fosfatos orgânicos (LOPES et alii, 1983).

BAREA et alii (1980) analisaram a resposta da leguminosa forrageira alfafa (*Medicago sativa*) à aplicação de fósforo solúvel (KH_2PO_4 1g/kg solo) e fosfato de rocha (1,33 g/kg solo); em presença ou ausência de *Glomus moseae*; em dois tipos de solo com conhecida capacidade de fixação de fósforo esterilizados ou não. A inoculação com fungos MVA aumentou o crescimento e a nutrição de N e P e a nodulação das plantas em todos os tratamentos e principalmente nos solos não esterilizados. Os tratamentos com fosfato de rocha e fungos MVA tiveram maior peso de matéria seca das plantas e conteúdo de P que o tratamento não inoculado indicando que a MVA proporcionou melhor utilização da rocha fosfatada.

CARDOSO (1985) avaliou o efeito da inoculação com *Glomus fasciculatum* e de uma mistura dos fungos *Glomus fasciculatum* e *Gigaspora margarita* isolados ou em combinação com o fosfato de rocha Alvorada sobre o desenvolvimento e absorção de nutrientes na soja. A autora observou que tanto o desenvolvimento das plantas, como a produção e a nodulação sempre tiveram máximos incrementos nos tratamentos que combinavam fosfato natural e fungos MVA.

BOLAN et alii (1987), conduziram um experimento na tentativa de esclarecer dúvidas com relação ao fósforo absorvido pelas plantas micorrizadas. Mediram a colonização micorrízica por *Glomus fasciculatum* em plantas de trevo subterrâneo e centeio, usando três fontes de fósforo com solubilidade diferentes. Para ambas as plantas, os maiores benefícios da inoculação micorrízica foram obtidos com fontes menos solúvel de fósforo. As fontes utilizadas foram (em ordem decrescente de solubilidade): fosfato de potássio dihidrogenado, fosfato de ferro coloidal e fosfato de ferro cristalino (estregita).

IKRAM et alii (1987), avaliaram os efeitos da inoculação de dois fungos MVA e a fertilização com fosfato de rocha em *Calopogonium caeruleum*, em cinco solos ácidos deficientes em fósforo. A adição de fosfato de rocha por si só teve pouco ou nenhum efeito sobre o crescimento vegetal. Porém a inoculação com *Glomus fasciculatus* e *Glomus macrocarpum* promoveu aumentos significativos na matéria seca da

parte aérea, na maioria dos solos testados, esterilizados ou não, e geralmente, esses aumentos foram maiores quanto maior a dose de fosfato adicionado.

Com relação ao fósforo absorvido pelas plantas micorrizadas, os pesquisadores relatam que a absorção dá-se provavelmente somente a partir do fósforo solúvel existente no solo e que tais plantas são incapazes de utilizar outras fontes de P não disponíveis às raízes não colonizadas (COOPER, 1984).

Entretanto, as plantas utilizam melhor o P dos fosfatos de rocha e outras fontes de baixa solubilidade quando associadas aos fungos MVA, atribuindo-se este fato aos seguintes mecanismos: a) ao maior contato entre a rede de hifas externas do fungo com as partículas dos fosfatos; b) maior capacidade absorptiva das raízes micorrizadas, abaixando as concentrações de P e de Ca da solução do solo, favorecendo assim, a dissolução do material e, c) modificações químicas, físico-químicas e biológicas na rizosfera (BAREA & AZCON-AGUILAR, 1983).

3. MATERIAIS E MÉTODO

O experimento foi conduzido na casa-de-vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba, no período de março de 1990 a maio de 1991.

3.1. Planta

Neste experimento foi usado uma progênie de cacau de polinização livre do clone CAB-0499. Este clone é proveniente de um material silvestre originário do Estado do Amazonas, coletado em 1983 na bacia hidrográfica do rio Japurá.

3.2. Solo

O solo utilizado foi uma Areia Quartzosa - Série Ribeirão Claro, coletado no município de Anhembi, São Paulo, a uma profundidade de 0-20 cm.

A análise deste solo foi realizada pelo Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP, segundo a meto-

dologia descrita por RAIJ et alii (1987), sendo caracterizado quimicamente por uma elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes; resultados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo Areia Quartzosa - Série Ribeirão Claro.

pH	M.O.	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S	T	V %
(CaCl ₂)	(%)	(res.)	meq/100 g						
4,2	1,9	3	0,06	0,32	0,16	3,8	0,54	4,34	12

3.3. Fertilizantes

Foram usados dois fosfatos: solúvel (superfosfato triplo com 49,31% de P₂O₅ total) e insolúvel (fosfato de alumínio Jandiá com 21,13% de P₂O₅ total). O fosfato de alumínio Jandiá foi doado pela EMBRAPA/CPATU (Belém) e empregado no experimento na forma natural, isto é, apenas lavrado e moído até a passagem em peneira com abertura de 0,149 mm e também na forma calcinada, ou seja, com tratamento térmico feito em forno elétrico às temperaturas de 350°C e 700°C por um período de 1 hora e resfriamento em ambiente natural.

Além dos fertilizantes fosfatados, foram aplicados os nitrogenados na forma de uréia e nitrato de amônio e potássicos na forma de cloreto de potássio.

3.4. Fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (MVA)

Os fungos MVA empregados constaram da espécie *Gigaspora margarita* Becker e Hall e esporos de endófitos nativos não identificados coletados em solos sob cacauel nas proximidades da cidade de Belém, no estado do Pará.

3.5. Tratamentos

Os tratamentos constituíram-se num esquema fatorial 5x3x2 (fosfatos x fungos x calagem), conduzidos em casa-de-vegetação, com delineamento inteiramente casualizado. Constaram da ausência e presença do fosfato de rocha sem calcinação e calcinado a 350°C e 700°C e do superfosfato triplo, sendo avaliada a eficiência do fosfato de alumínio Jandiá (rocha) em relação ao superfosfato triplo na presença e ausência de calagem e de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares nativos e introduzido (Tabela 2).

Fizeram-se três repetições de cada tratamento, considerando-se como testemunha a ausência de fonte de fósforo, calagem e fungo endomicorrízicos. No tratamento testemunha não foi colocado o filtrado do inóculo e o inóculo esterilizado.

Tabela 2. Tratamentos estudados no experimento.

Tratamentos		Calagem do solo	MVA	Ferti- lizantes	Dose (mg/vaso)
Nº	Nome				
T ₁	Controle	Sem	Não inoc.	-	-
T ₂	MVA-MN-FN	Sem	Não inoc.	FN s/calc.	1300
T ₃	MVA-MN-FN	Sem	Não inoc.	FN calc.350°C	1300
T ₄	MVA-MN-FN	Sem	Não inoc.	FN calc.700°C	1300
T ₅	MVA-MN-SPT	Sem	Não inoc.	SPT	560
T ₆	MN-FN-SPT	Sem	Inoculado	-	-
T ₇	MN-FN	Sem	Inoculado	FN s/calc.	1300
T ₈	MN-FN	Sem	Inoculado	FN calc.350°C	1300
T ₉	MN-FN	Sem	Inoculado	FN calc.700°C	1300
T ₁₀	MN-SPT	Sem	Inoculado	SPT	560
T ₁₁	MVA-FN-SPT	Sem	Inoculado	-	-
T ₁₂	MVA-FN	Sem	Inoculado	FN s/calc.	1300
T ₁₃	MVA-FN	Sem	Inoculado	FN calc.350°C	1300
T ₁₄	MVA-FN	Sem	Inoculado	FN calc.700°C	1300
T ₁₅	MVA-SPT	Sem	Inoculado	SPT	560
T ₁₆	MVA-MN-FN-SPT	Com	Não inoc.	-	-
T ₁₇	MVA-MN-FN	Com	Não inoc.	FN s/calc.	1300
T ₁₈	MVA-MN-FN	Com	Não inoc.	FN calc.350°C	1300
T ₁₉	MVA-MN-FN	Com	Não inoc.	FN calc.700°C	1300
T ₂₀	MVA-MN-SPT	Com	Não inoc.	SPT	560
T ₂₁	MN-FN-SPT	Com	Inoculado	-	-
T ₂₂	MN-FN	Com	Inoculado	FN s/calc.	1300
T ₂₃	MN-FN	Com	Inoculado	FN calc.350°C	1300
T ₂₄	MN-FN	Com	Inoculado	FN calc.700°C	1300
T ₂₅	MN-SPT	Com	Inoculado	SPT	560
T ₂₆	MVA-FN-SPT	Com	Inoculado	-	-
T ₂₇	MVA-FN	Com	Inoculado	FN s/calc.	1300
T ₂₈	MVA-FN	Com	Inoculado	FN calc.350°C	1300
T ₂₉	MVA-FN	Com	Inoculado	FN calc.700°C	1300
T ₃₀	MVA-SPT	Com	Inoculado	SPT	560

MVA = Micorriza vesículo-arbuscular introduzida (*Gigaspora margarita*).

MN = Micorriza vesículo-arbuscular nativa

FN = Fosfato Natural (Fosfato de alumínio Jandiá).

s/calc. = sem calcinação

calc. = Calcinado

SPT = Superfosfato Triplo

Não inoc. = Não inoculado

3.5.1. Preparo do solo

O solo utilizado (item 3.2) foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira com 2 mm de abertura, em seguida foi esterilizado em autoclave com temperatura de 121°C durante duas horas (1 atm), com a finalidade de se eliminar os endófitos nativos. Este material, assim processado, foi distribuído em vasos de cerâmica com capacidade para 6 kg de solo. Os vasos foram previamente lavados e impermeabilizados com tinta preta neutrox, antes da transferência do solo.

3.5.2. Calagem e adubação

Foram testados dois níveis de calagem: sem e com calagem. Nos tratamentos que receberam calagem, fez-se a correção do solo com um calcário dolomítico cujo PRNT era de 89,7%; aplicou-se 3,35 g do corretivo por vaso, o equivalente a 1,116 toneladas/ha o suficiente para elevar a saturação de bases do solo a 55%. A terra e o material corretivo foram misturados num saco plástico e agitados vigorosamente para sua completa homogeneização. Os vasos, depois de preenchidos com as amostras homogeneizadas (6 kg), foram irrigados com água destilada sempre que necessário, para que ocorresse a reação entre o solo e o corretivo.

Após 21 dias, adubou-se o solo com cloreto de potássio (180 mg/vaso) e fósforo na forma de superfosfato triplo na dose de 560 mg/vaso (equivalente a 20 ppm P total) e na forma de fosfato natural (fosfato de alumínio Jandiá) não calcinado e calcinado a 350 e 700°C na dose 1300 mg/vaso (equivalente a 20 ppm P total) nos respectivos tratamentos. A adubação potássica e fosfática também foi realizada pelo método da homogeneização pela agitação do solo com o fertilizante em saco plástico.

Quanto à adubação nitrogenada, a mesma foi aplicada em cobertura em cinco doses de 50 ppm N na forma de nitrato de amônio e uréia após o transplante das mudas.

3.5.3. Obtenção dos inóculos

Os fungos micorrízicos vesículo-arbusculares empregados neste experimento constaram da espécie *Gigaspora margarita* multiplicada na rizosfera de milho e de um endófito nativo coletado na camada arável de um solo sob cacauaí nos arredores de Belém. Nos tratamentos que receberam a inoculação de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares nativos utilizou-se 100 ml de solo inóculo com aproximadamente 250 esporos, enquanto que nos tratamentos com espécie *G. margarita* usou-se 100 ml de solo inóculo com 600 esporos.

3.5.4. Obtenção das plântulas

Das sementes de cacau obtidas do clone CAB-0499 foi retirada a mucilagem com pó de serra, em seguida foram desinfestadas com hipoclorito de sódio a 2,5%, durante um período de 15 minutos e posterior lavagem em água corrente. Após este procedimento as sementes foram semeadas em caixas de cimento contendo areia lavada e esterilizada por autoclave (121°C durante 2 horas), a fim de evitar qualquer contaminação por outros fungos MVA. Decorridos 15 dias da germinação das sementes, as plântulas de cacaueiro foram transplantadas para os vasos, procurando-se manter a maior homogeneidade possível quanto ao desenvolvimento das mesmas.

3.5.5. Inoculação, instalação e condução do experimento

Dos vasos com tratamentos com inoculação de fungos MVA, retirou-se certa quantidade de solo, que foi substituída por 100 ml de solo inóculo contendo fungo endomycorrízico nativo ou introduzido, os quais foram aplicados em camadas uniformes por todo o diâmetro do vaso, a uma profundidade aproximada de 7 cm. Em seguida procedeu-se o transplante de uma plântula de cacaueiro por vaso, quando estas apresentavam 10 cm de altura, um par de folhas e ainda conservavam os dois cotilédones.

Durante o período de condução do experimento, além das irrigações diárias com água destilada de modo a manter a umidade do solo próximo à capacidade de campo, aplicou-se 250 ppm de nitrogênio nas formas de NH_4NO_3 (908 mg/vaso) e uréia (660 mg/vaso), parcelada em cinco aplicações de 50 ppm N, com intervalos de 20 dias entre as aplicações.

Os tratos fitossanitários consistiram em duas pulverizações com "DECIS"-25 CE (1 ml/litro de água), aos 45 e 90 dias após o transplante das plântulas de cacaueiro para o controle de pulgões e lagartas.

Ainda durante a condução do experimento, procurou-se manter a temperatura no interior da casa-de-vegetação numa faixa adequada ao bom desenvolvimento das plantas, utilizando-se arrefecimento por meio de ventiladores-unificadores. Entretanto, mesmo assim, houve dias excepcionais em que a temperatura ultrapassou 45°C nas horas mais quentes do dia.

3.5.6. Colheita do experimento

O experimento foi colhido sete meses após o transplante das plântulas de cacaueiro das caixas de areia para os vasos. Após o corte de cada planta na altura do colo; a parte aérea (folha e caule) foi coletada separadamente e posta em sacos de papel etiquetados. Nos trata-

mentos onde efetuou-se a inoculação de fungos MVA, as raízes foram removidas, lavadas em água corrente e conservadas em FAA (formol-álcool-ácido acético).

3.5.7. Variáveis avaliadas

3.5.7.1. Peso da matéria seca da parte aérea da planta

A parte aérea da planta (folha e caule) acondicionadas em saco de papel etiquetado foi colocada para secar em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 60°C, até atingirem peso constante, quando então se efetuou a pesagem das mesmas.

3.5.7.2. Análise química da parte aérea da planta

A matéria seca da parte aérea das plantas, foram moídas em moedor tipo Willey e enviadas ao laboratório de análises do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ. As análises químicas constaram da determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn, seguindo a metodologia descrita por MALAVOLTA et alii (1989).

Para determinação do N, o material seco sofreu uma digestão sulfúrica em micro-digestor para obtenção do extrato, seguida da destilação em microdestilador Kjeldahl.

Para todos os outros elementos, foi feita uma digestão-nitroperclórica por via úmida. O P foi determinado por colorimetria através do método do vanado-molibdato; o K foi obtido por fotometria de chama por emissão e o S determinado por turbidimetria em colorímetro, na forma de sulfato de bário. Os demais elementos Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinados em análise multielementar simultânea, por espectrofotometria de absorção atômica.

3.5.7.3. Avaliação do estabelecimento da micorriza

Para a avaliação da colonização micorrízica, utilizou-se o método de PHILLIPS & HAYMAN (1970) com pequenas modificações nos tempos de tratamento das raízes, tendo em vista o fato das raízes de cacauzeiros serem bastante espessas. Tomou-se certa porção da raiz que estava sendo conservada em FAA, lavou-se com água corrente e cobriu-se com KOH a 10%, a frio, durante 14 horas, sendo posteriormente levada ao banho-maria por um período de 60 minutos a 90°C. Em seguida, as raízes foram lavadas com água corrente e cobertas com hipoclorito de sódio na proporção de 2:1 (2 l de hipoclorito de sódio para 1 l de água destilada) por um período de 1 minuto; logo após este procedimento, as raízes foram novamente lavadas com água corrente e acidificadas com HCl a 1% por 2 a 3 minutos. Após diafanização total, as raízes foram coloridas com lactoglicerol mais azul

de tripano a 1% por 8 minutos, a 90°C. Finalmente, removeu-se o lactoglicerol mais azul de tripano imergindo-se as raízes em lactoglicerol incolor, para perder o excesso de corante. As raízes assim preparadas, foram cortadas em segmentos de aproximadamente 1,5 cm de comprimento, os quais foram transferidos, ao acaso, e dispostos paralelamente em lâminas de microscópio, onde 10 a 12 segmentos foram montados em lactoglicerol incolor, visando favorecer a visualização das estruturas fúngicas. Foram observadas em média, 2 lâminas por planta, por meio de exame microscópico.

3.5.8. Análises estatísticas

Com os dados obtidos, foram efetuadas as análises da variância, segundo o delineamento inteiramente casualizado. A análise de variância foi precedida por transformações nas variáveis da seguinte forma:

Macronutrientes	%		mg		
	Folha	Caule	Folha	Caule	Total
nitrogênio	$1/x$	$1/x$	$\log x$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$
fósforo		$\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$
potássio			$\log x$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$
cálcio	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$\log x$
magnésio	$\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$\log x$	$\sqrt{x}$	$\log x$
enxofre		$\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$

Micronutrientes	ppm		μg		
	Folha	Caule	Folha	Caule	Total
cobre	$1/x$		$\log/x$	$\sqrt{x}$	$\log x$
ferro	$1/\sqrt{x}$	$1/x$	$\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$\log x$
manganês	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x+1}$
zinco	$1/x$	$1/x$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$	$1/\sqrt{x}$
			g		
Matéria seca			$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$	$\sqrt{x}$

Essas transformações foram feitas com a finalidade de estabilizar a variância, conforme descreveu SNEDECOR & COCHRAN (1972) e GOMES (1978).

Para a comparação das médias entre os tratamentos, o teste usado foi o de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Toda a análise estatística foi realizada no microcomputador PC-XT, com programa SANEST.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Peso da matéria seca da parte aérea

Observando-se a Tabela 3, podemos notar que na folha, no caule e no total (folha + caule), a maior produção de matéria seca foi nos tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* que diferiu significativamente dos tratamentos sem micorriza e com inoculação de fungos nativos. Somente na folha e no total, na presença da calagem, houve diferença positiva e significativa na produção de matéria seca aos 210 dias após o transplante, entre os tratamentos com inoculação de fungos nativos e os tratamentos sem micorriza.

Estes resultados estão de acordo com os dados experimentais de EZETA & SANTOS (1981), que demonstraram a dependência de plantas de cacaueiros a fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares na absorção de nutrientes. Estes autores mostraram que os tratamentos com inoculação de fun-

gos *Gigaspora margarita* proporcionaram às plantas de cacauzeiros uma absorção total de nutrientes duas vezes maior do que outras espécies de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, evidenciando assim, a maior eficiência desses fungos na absorção, translocação e transferência de nutrientes do solo para as plantas.

É interessante notar que a calagem do solo provavelmente melhorou a eficiência dos fungos nativos e *Gigaspora margarita* na produção de matéria seca, concordando com os resultados obtidos por SIQUEIRA et alii (1984) e LAMBAIS & CARDOSO (1988), a calagem em solos ácidos reduz o H^+ , Al^{3+} e Mn^{+2} diminuindo os efeitos fungistáticos contra o fungo MVA, favorecendo a formação micorrízica.

Analizando o efeito dos fosfatos adicionados no solo na produção de matéria seca (Tabela 3), verificamos que na folha, no caule e no total, tanto na ausência como na presença da calagem, a maior produção de matéria seca foi nos tratamentos com superfosfato triplo. Fazendo a comparação entre os tratamentos com superfosfato triplo e os tratamentos com fosfato de alumínio Jandiá calcinado a $700^{\circ}C$, na presença de calagem, vemos que não houve diferença entre as duas fontes de fósforo na produção de matéria seca na folha, no caule e no total das plantas de cacauzeiro.

A importância da adubação fosfatada para cacauzeiro, está em trabalho realizado por CABALA-ROSAND et alii (1982), mostrando que a cultura é bastante exigente

neste nutriente. O aumento da matéria seca das plantas de cacauzeiros com a adubação fosfatada na ausência da calagem, é explicado com base nos resultados obtidos por CABALA-ROSAND & SANTANA (1983). Estes autores afirmaram que o cacauzeiro tem bom desenvolvimento em solos ácidos, cuja saturação de alumínio não ultrapassem 30% e nestas condições o emprego da calagem em solos com baixos teores de Ca e Mg trocáveis, como no solo usado neste experimento, é mais benéfica pelo fornecimento de Ca e do Mg como nutrientes do que pelo efeito na acidez do solo (MORAIS et alii, 1979).

Na literatura, os resultados experimentais de inúmeros trabalhos são bastante contraditórios com relação ao emprego da calagem na dissolução dos fosfatos de rocha, mas de uma maneira geral, a acidez do solo tem favorecido a solubilização dos fosfatos naturais (FEITOSA et alii, 1978; JUO & KANG, 1979; GOEDERT & LOBATO, 1980). Entretanto, os dados obtidos neste experimento confirmam os resultados de RYAN & SMILLIE (1975), que demonstraram que o "Phospal" proporcionou acréscimo na produção de matéria seca do azevém perene (*Lolium multiflorum* Lam) com a utilização da calagem.

Observando-se o experimento, o fosfato de alumínio Jandiá adicionado no solo, aumentou a sua solubilidade quando aumentou a temperatura de calcinação para 700°C, confirmando assim, os dados encontrados por GUARDANI (1987). ALCARDE & PONCHIO (1980) também mostraram que

os fosfatos de alumínio do Maranhão apresentam solubilidade elevada em solução neutra de citrato de amônio.

Analisando a interação dos fosfatos adicionados com os fungos micorrízicos inoculados no solo (Tabela 4), verifica-se de modo geral que na ausência da calagem, o superfosfato triplo combinado com fungos *Gigaspora margarita* apresentou a maior média no rendimento de matéria seca da planta. Na presença da calagem, o superfosfato triplo e o fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C sem e com inoculação de fungos micorrízicos apresentaram as maiores médias na produção de matéria seca, não apresentando diferença significativa entre si.

Estes resultados indicam que utilizando a calagem em solos ácidos, tanto na ausência como especialmente na presença de fungos *Gigaspora margarita*, que é possível a substituição do superfosfato triplo pelo fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C como fonte de fósforo para o bom desenvolvimento vegetativo das plantas de cacau-eiro, sugerindo-se para isso que novas pesquisas sejam realizadas visando a complementação destes dados.

Tabela 3. Peso médio da matéria seca (g) das diferentes partes aéreas e no total das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Folha		Caulo		Total	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:						
Sem micorriza	2,51 b	2,56 c	1,91 b	2,35 b	4,46 b	4,94 c
C/micorriza nativa	2,32 b	5,09 b	1,89 b	2,78 b	4,27 b	7,93 b
C/G. <i>marigari</i>	4,27 a	7,71 a	2,62 a	4,07 a	6,93 a	11,80 a
Fosfato:						
Sem fosfato	1,73 c	3,15 b	1,82 b	2,53 b	3,58 cd	5,72 b
C/fosfato s/calcinção	1,29 c	3,00 b	1,31 c	2,13 b	2,65 d	5,16 b
C/fosfato calcinado 350°C	2,69 b	3,56 b	2,04 b	2,37 b	4,77 bc	5,91 b
C/fosfato calcinado 700°C	3,65 b	6,99 a	2,24 b	4,21 a	5,91 b	11,21 a
C/superfosfato triplo	6,83 a	9,09 a	3,49 a	4,25 a	10,34 a	13,40 a
C.V. (%)	15,10	26,12	10,89	20,85	11,68	23,62

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4. Peso médio de matéria seca (g) das diferentes partes aéreas e no total das plantas de cauleiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caule		Total	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	1,32c	1,53b	1,22c	2,04a	2,56c	3,59ab
	C/fosfato s/calc.	1,58c	1,57b	1,54bc	1,62a	3,15c	3,19b
	C/fosfato calc. 3500c	1,48c	1,51b	1,64bc	1,57a	3,14c	3,09b
	C/fosfato calc. 7000c	3,48b	3,52ab	2,23ab	2,94a	5,73b	6,27ab
	C/superfosfato triplo	5,91a	6,04a	3,19a	4,00a	9,10a	10,07a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	1,28cd	2,89b	1,85ab	2,06a	3,16cd	4,96b
	C/fosfato s/calc.	0,74d	2,89b	1,20b	1,84a	1,96d	4,76b
	C/fosfato calc. 3500c	2,39bc	3,89b	1,74ab	2,62a	4,15bc	6,53b
	C/fosfato calc. 7000c	3,78ab	6,41ab	2,45a	3,52a	6,23ab	9,96ab
	C/superfosfato triplo	4,51a	11,40a	2,36a	4,25a	6,87a	15,69a
Com G. margarita	Sem fosfato	2,75bc	5,67b	2,52b	3,63ab	5,30b	9,34ab
	C/fosfato s/calc.	1,69c	5,04b	1,21c	3,05b	2,91c	8,10b
	C/fosfato calc. 3500c	4,67b	6,07ab	2,84b	3,06b	7,53b	9,14b
	C/fosfato calc. 7000c	3,71b	12,80a	2,05b	6,56a	5,78b	19,37a
	C/superfosfato triplo	10,81a	10,30ab	5,22a	4,49ab	16,06a	14,81ab

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4.2. Absorção dos macronutrientes

4.2.1. Nitrogênio

Analisando o efeito das micorrizas (Tabela 5), é observado que na folha e no caule sem e com uso da calagem, não houve respostas significativas do cacaueiro no teor de N quando se inoculou fungos micorrízicos. Porém, quando foi considerada a planta como um todo, isto é (folha + caule) aplicando a calagem, os tratamentos inoculados com fungos nativos e com fungos *Gigaspora margarita*, quando em confronto com os tratamentos sem micorriza, apresentaram uma redução no teor de N. Este fato pode ser explicado pela mobilidade do N no solo, uma vez que o mesmo é deslocado mais rapidamente em direção a região de absorção das raízes do que o crescimento das hifas do fungo para sua absorção.

Com relação aos fosfatos adicionados no solo (Tabela 5), mostra que na folha sem a utilização da calagem, a maior média com teor de N foi nos tratamentos com fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação, que não diferiu dos tratamentos com superfosfato triplo e ambas diferiram das demais. Na folha com calagem e no caule sem e com calagem, a adição de fosfatos tanto na forma de superfosfato triplo quanto na forma de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação ou calcinado não promoveram efeitos significativos no teor de N, em confronto com o tratamento sem adição

de fosfatos. Pode-se também observar através destes dados, que nas diversas partes da planta, embora sem diferenciação estatística em relação ao tratamento sem fosfato, os tratamentos com fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação na ausência da calagem, e os tratamentos com fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C na presença da calagem, apresentaram maiores teores de N nas plantas de cacaueiro.

Estudando a interação entre os fosfatos adicionados e as micorrizas (Tabela 6), pode sugerir um efeito sinérgico entre os fungos *Gigaspora margarita* e o fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C na presença da calagem, uma vez que, com esta combinação houve aumento na concentração de nitrogênio na folha e no caule da planta. Estes resultados confirmam os dados obtidos por DAFT & EL-GIAHMI (1975) e MOSSE et alii (1976).

No que se refere à influência das micorrizas na absorção total de N (Figura 1), vemos que nas diferentes partes da planta e no total (folha + caule) na ausência da calagem, os fungos *Gigaspora margarita* foram os mais eficientes. Na presença da calagem, os tratamentos com fungos *Gigaspora margarita* e fungos nativos, quando comparados com os tratamentos sem micorriza, tiveram comportamento equivalente no acréscimo da quantidade de N na planta.

Tabela 5. Teor de nitrogênio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	2,25 ab	2,47	2,71	2,51
C/micorriza nativa	2,23 a	2,50	2,34	2,15
C/G. <i>margarita</i>	2,49 b	2,39	2,53	2,13
Fosfato:				
Sem fosfato	2,23 a	2,46 ab	2,62	2,31 ab
C/fosfato s/calcinção	2,69 b	2,40 ab	2,93	2,49 b
C/fosfato calcinado 350°C	2,12 a	2,69 b	2,39	2,83 b
C/fosfato calcinado 700°C	2,20 a	2,30 a	2,46	1,94 a
C/superfosfato triplo	2,44 ab	2,44 ab	2,29	1,94 a
C.V. (%)	13,86	10,89	20,59	16,69

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 6. Teor de nitrogênio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha			Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem	
Sem micorriza	Sem fosfato	2,28 a	2,87 b	3,19	2,72	
	C/fosfato s/calцинаção	2,19 a	2,31 ab	2,62	2,85	
	C/fosfato calcinado 350QC	2,14 a	2,68 ab	2,81	2,93	
	C/fosfato calcinado 700QC	2,24 a	2,24 a	2,50	2,13	
	C/superfosfato triplo	2,40 a	2,36 ab	2,53	2,14	
Com micorriza nativa	Sem fosfato	1,99 a	2,38 a	2,46	2,15	
	C/fosfato s/calцинаção	2,71 b	2,50 a	3,00	2,45	
	C/fosfato calcinado 350QC	2,00 a	2,35 a	2,11	2,49	
	C/fosfato calcinado 700QC	2,16 ab	2,65 a	2,16	1,96	
	C/superfosfato triplo	2,45 ab	2,64 a	2,17	1,86	
Com G. margarita	Sem fosfato	2,48 ab	2,21 a	2,35	2,15 ab	
	C/fosfato s/calцинаção	3,43 b	2,40 a	3,25	2,26 ab	
	C/fosfato calcinado 350QC	2,22 a	3,16 b	2,35	3,16 b	
	C/fosfato calcinado 700QC	2,21 a	2,08 a	2,77	1,77 a	
	C/superfosfato triplo	2,47 ab	2,35 a	2,20	1,83 a	

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 1 – Quantidade de nitrogênio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 2 —Quantidade de nitrogênio contido na matéria seca em plantas de cacauero (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Quanto aos fosfatos adicionados no solo (Figura 2), verificou-se que na folha, no caule e no total, sem calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou um maior incremento na quantidade de N, em relação aos demais fosfatos adicionados e também na ausência de fosfato adicional. Entretanto, na presença da calagem, tanto o superfosfato triplo quanto o fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C, comportaram-se semelhantemente no aumento do conteúdo total de N nas plantas de cacaueiro.

4.2.2. Fósforo

Observando o efeito das micorrizas no teor de P (Tabela 7), vemos que na folha e no caule na ausência da calagem, o cacaueiro não apresentou respostas a inoculação de fungos micorrízicos. Porém na presença da calagem, a folha e o caule apresentaram maior teor de fósforo quando inoculados com fungos *Gigaspora margarita* e fungos nativos cujas as médias não diferiram entre si mas diferiram dos tratamentos sem micorriza. Quando se considerou a planta como um todo, isto é (folha + caule) na presença da calagem, a maior média com teor de P encontrada foi nos tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* que diferiram dos tratamentos com inoculação de fungos nativos que por sua vez diferiu dos tratamentos sem micorriza.

Resultados semelhantes aos encontrados neste experimento, foram obtidos por EZETA & SANTOS (1981) que mostraram que entre as várias espécies de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares testados, o mais eficiente no aumento do teor de fósforo na parte aérea de plantas de cacaueteiro foram encontrados nos tratamentos inoculados com fungos *Gigaspora margarita*.

Outros experimentos conduzidos com culturas como café (ZAMBOLIM et alii, 1985); citrus (GRAM & SYVERTSEN, 1985) e soja (PEREIRA, 1986) mostraram a importância dos fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares para absorção de fósforo.

No que diz respeito à necessidade de calagem no solo para um melhor desempenho da associação simbiótica entre os fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e as raízes das plantas, MOSSE (1972) e DAVIS et alii (1983), citaram que a acidez do solo afeta a distribuição de esporos, colonização radicular e a eficiência de micorrização. PAULINO et alii (1985), relataram que o emprego da calagem em solo ácido, favoreceu a infecção micorrízica, especialmente na presença de fosfato insolúvel ou na ausência de fonte externa de fósforo. Em outros experimentos executados em laboratório e casa-de-vegetação por LAMBAIS & CARDOSO (1988), observaram que a população de *Acaulospora scrobiculata* foi mais tolerante às condições de solo ácido e distrófico do que as populações de *Gigaspora margarita* e

Glomus macrocarpum. Todos estes trabalhos citados, corroboram os dados obtidos neste experimento.

Quanto ao efeito dos fosfatos adicionados no solo no que se relaciona à concentração de P (Tabela 7), notamos que na folha sem calagem e no caule, sem e com o uso da calagem não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos. Na folha utilizando a calagem, o maior teor de P ocorreu nos tratamentos com adição de superfosfato triplo.

Na Tabela 8 quando se considera a planta no total (folha + caule), pode ser verificado que na ausência da calagem, a combinação dos fungos nativos com o fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação e na presença da calagem, a combinação dos fungos *Gigaspora margarita* com superfosfato triplo, apresentaram os maiores acréscimos na concentração de fósforo.

Estes dados estão de acordo com os resultados encontrados por BAREA et alii (1980), que relatam o melhor aproveitamento de fosfatos de rocha por plantas micorrizadas. Por outro lado, fica evidenciado neste experimento, que os fungos micorrízicos vesículo-arbusculares utilizam a mesma fonte de fósforo disponível às plantas não micorrizadas, fato comprovado em trabalhos realizados por POWELL (1975a) e GIANINAZZI-PEARSON et alii (1981). Ainda, através destes resultados é razoável afirmar que, o fosfato de alumínio Jandiá, apenas lavrado e moído tem sua solubili-

dade aumentada nas condições de acidez do solo. Portanto é de se esperar que uma plantação de cacaueiros, cultivada em solos ácidos que tenha recebido uma fosfatagem, com fosfatos de alumínio Jandiá puro sem nenhum tratamento térmico, tenha seu desenvolvimento otimizado quando micorrizado por fungos vesículo-arbusculares eficientes.

Com relação à influência das micorrizas na quantidade de P (Figura 3), vemos que na folha, no caule e no total (folha + caule) tanto na ausência como especialmente na presença da calagem, os tratamentos com fungos *Gigaspora margarita* foram mais eficientes no acréscimo do conteúdo total de P na planta, quando comparados com os tratamentos com fungos nativos e sem micorriza. No que diz respeito aos fosfatos adicionados no solo (Tabela 10 e Figura 4), observamos que na folha, no caule e no total (folha + caule) tanto na ausência como na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou um aumento significativo em relação aos demais fosfatos adicionados e também na ausência de fosfato adicional, na quantidade de P.

Tabela 7. Teor de fósforo (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	0,08	0,07 b	0,03	0,03 a
C/micorriza nativa	0,08	0,09 a	0,04	0,05 b
C/G. <i>margarita</i>	0,07	0,09 a	0,04	0,06 b
Fosfato:				
Sem fosfato	0,08	0,08 bc	0,04	0,04 a
C/fosfato s/calcinção	0,08	0,08 b	0,05	0,05 b
C/fosfato calcinado 350°C	0,07	0,07 c	0,04	0,06 b
C/fosfato calcinado 700°C	0,07	0,09 b	0,03	0,04 a
C/superfosfato triplo	0,08	0,11 a	0,04	0,04 ab
C.V. (%)	24,91	12,35	18,66	12,14

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 8. Teor de fósforo (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caule	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	0,08	0,08 b	0,06 a	0,02 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,08	0,07 b	0,03 a	0,04 b
	C/fosfato calcinado 350qC	0,07	0,08 b	0,03 a	0,05 b
	C/fosfato calcinado 700qC	0,07	0,08 b	0,03 a	0,02 a
	C/superfosfato triplo	0,02	0,10 a	0,04 a	0,02 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	0,08	0,08 b	0,04 ab	0,04 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,10	0,09 ab	0,09 b	0,07 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,07	0,08 b	0,05 ab	0,04 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,07	0,09 ab	0,03 a	0,06 a
	C/superfosfato triplo	0,08	0,11 a	0,03 ab	0,07 a
Com G. margarita	Sem fosfato	0,08	0,09 b	0,03 a	0,04 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,06	0,10 b	0,08 a	0,06 ab
	C/fosfato calcinado 350qC	0,08	0,06 c	0,03 a	0,11 b
	C/fosfato calcinado 700qC	0,08	0,09 b	0,04 a	0,05 ab
	C/superfosfato triplo	0,08	0,12 a	0,04 a	0,06 ab

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 3—Quantidade de fósforo contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 4—Quantidade de fósforo contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.2.3. Potássio

Estudando o efeito das micorrizas no teor de K (Tabela 9), vemos que somente na folha nos tratamentos inoculados com fungos *Gigaspora margarita* na presença da calagem, houve um aumento na concentração de K. Na folha sem calagem e no caule, sem e com emprego da calagem, o teor de K diminuiu nos tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com fungos nativos, em relação aos tratamentos sem micorriza.

Analisando o efeito dos fosfatos adicionados no solo com relação ao teor de K (Tabela 9), notamos que na folha e no caule, tanto na ausência como na presença da calagem, os tratamentos com adição de fosfatos, apresentaram uma diminuição no teor de K na planta. Comparando os tratamentos com adição de fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação com os tratamentos com adição de superfosfato triplo, observa-se que os tratamentos com superfosfato triplo induziram a um decréscimo maior no teor de K.

A Tabela 10, mostra quando se considera a planta como um todo, ou seja (folha + caule), embora sem diferenciação estatística, na presença da calagem, os tratamentos sem micorriza com adição de fosfatos de alumínio Jandiá sem calcinação apresentaram os maiores incrementos no teor de potássio nas plantas de cacaueiros.

Com relação ao efeito das micorrizas nas absorção total de K (Figura 5), vemos que na folha, no caule e no total, sem a utilização da calagem, que os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* quando comparados aos tratamentos com inoculação de fungos nativos e sem micorriza, apresentaram maior quantidade de K na planta. Porém na presença da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com inoculação de fungos nativos foram equivalentes no incremento da quantidade de K.

Com referência aos fosfatos adicionados no solo (Figura 6), vemos que na folha, no caule e no total, sem o uso da calagem, os tratamentos com adição de superfosfato triplo apresentaram a maior média no conteúdo total de K diferindo das demais. Na presença da calagem, na folha, no caule e no total, os tratamentos com superfosfato triplo e com fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C tiveram comportamento semelhante no incremento da quantidade de K na planta.

Tabela 9. Teor de potássio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	2,41 a	2,15 a	0,98 a	0,99 a
C/micorriza nativa	2,35 a	1,72 b	1,07 a	0,95 a
C/G. <i>margarita</i>	1,82 b	2,23 c	0,74 b	0,75 b
Fosfato:				
Sem fosfato	2,45 a	1,82 a	1,08 a	0,95 ab
C/fosfato s/calцинаção	2,14 bc	1,79 a	0,94ab	1,00 a
C/fosfato calcinado 3500C	2,32 ab	1,68 a	0,95 ab	0,88 ab
C/fosfato calcinado 7000C	2,07 bc	1,63 a	0,87 ab	0,97 ab
C/superfosfato triplo	2,00 c	1,59 a	0,80 b	0,79 b
C.V. (%)	10,72	12,52	19,49	16,03

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 10. Teor de potássio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caule	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	2,98 a	1,94 a	1,21 a	0,94 ab
	C/fosfato s/calcinção	2,43 b	2,38 a	1,09 ab	1,03 ab
	C/fosfato calcinado 350qC	2,33 b	2,22 ab	0,95 ab	1,18 ab
	C/fosfato calcinado 700qC	2,12 b	2,16 ab	0,87 ab	1,04 ab
	C/superfosfato triplo	2,18 b	2,11 ab	0,75 b	0,77 b
Com micorriza nativa	Sem fosfato	2,61 a	2,05 a	1,26 a	0,94 a
	C/fosfato s/calcinção	2,69 a	1,58 b	1,15 ab	1,04 a
	C/fosfato calcinado 350qC	2,44 ab	1,84 ab	1,17 ab	0,98 a
	C/fosfato calcinado 700qC	2,07 bc	1,66 ab	0,88 b	0,92 a
	C/superfosfato triplo	1,94 c	1,47 b	0,91 ab	0,89 a
Com G. margarita	Sem fosfato	1,75 ab	1,46 a	0,76 a	0,97 a
	C/fosfato s/calcinção	1,31 b	1,41 ab	0,58 a	0,92 ab
	C/fosfato calcinado 350qC	2,18 a	0,98 b	0,74 a	0,50 c
	C/fosfato calcinado 700qC	2,01 a	1,13 ab	0,86 a	0,65 bc
	C/superfosfato triplo	1,88 a	1,19 ab	0,75 a	0,71 abc

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 5 – Quantidade de potássio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 6 – Quantidade de potássio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fofato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.2.4. Cálcio

No que se refere ao efeito das micorrizas no teor de cálcio (Tabela 11), verificamos que somente na folha nos tratamentos inoculados com fungos *Gigaspora margarita* na ausência da calagem, houve um incremento na concentração de cálcio. Na folha com calagem e no caule sem e com calagem, as micorrizas não afetaram estatisticamente o teor de cálcio.

Analisando a influência dos fosfatos adicionados no solo no teor de cálcio (Tabela 11), na folha, sem utilização da calagem, a adição de superfosfato triplo promoveu maior teor de cálcio. Na folha e no caule, com calagem, a maior média encontrada com teor de cálcio foi nos tratamentos com adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C.

Quando foi considerada a planta toda (Tabela 12), observa-se que na ausência da calagem, a combinação dos fungos *Gigaspora margarita* com fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação propiciou maior acréscimo no teor de cálcio. Na presença da calagem, a adubação feita com o fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* promoveu o maior aumento na concentração de cálcio na planta.

Estudando o efeito das micorrizas na quantidade de cálcio (Figura 7), observamos que na folha e no

total (folha + caule), na ausência da calagem, e no caule sem e com calagem, houve um aumento significativo na quantidade de cálcio nos tratamentos inoculados com fungos *Gigaspora margarita* em relação aos tratamentos sem micorriza e inoculados com fungos nativos. Na folha e no total, com calagem, os tratamentos inoculados com fungos *Gigaspora margarita* e com fungos nativos tiveram comportamento semelhante no incremento da quantidade de cálcio na planta.

Quanto ao efeito dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de cálcio (Figura 8), vemos que na folha, no caule e no total, sem o uso da calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou um aumento na quantidade de cálcio em relação aos demais fosfatos adicionados. Entretanto, na presença da calagem, os tratamentos com superfosfato triplo e com fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C tiveram comportamento equivalente no acréscimo da quantidade de cálcio na planta.

Tabela 11. Teor de cálcio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	0,22 b	0,59 a	0,16	0,52
C/micorriza nativa	0,21 a	0,64 a	0,15	0,46
C/G. <i>marigarda</i>	0,29 c	0,68 a	0,17	0,47
Fosfato:				
Sem fosfato	0,20 a	0,48 a	0,16 ab	0,48 a
C/fosfato s/calcinção	0,25 b	0,50 a	0,19 b	0,42 a
C/fosfato calcinado 350°C	0,19 a	0,89 d	0,14 a	0,62 b
C/fosfato calcinado 700°C	0,25 b	0,70 bc	0,16 ab	0,45 a
C/superfosfato triplo	0,31 c	0,78 cd	0,16 ab	0,47 a
C.V. (%)	2,51	5,07	6,88	6,03

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12. Teor de cálcio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	0,26 b	0,36 a	0,21 b	0,54 b
	C/fosfato s/calцинаção	0,22 b	0,79 b	0,15 ab	0,50 ab
	C/fosfato calcinado 350qC	0,17 a	0,92 b	0,14 a	0,63 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,24 b	0,84 b	0,15 ab	0,46 a
	C/superfosfato triplo	0,25 b	0,84 b	0,16 ab	0,48 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	0,18 ab	0,61 ab	0,14 a	0,44 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,16 a	0,53 a	0,18 a	0,41 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,19 b	0,60 ab	0,15 a	0,46 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,23 c	0,71 ab	0,16 a	0,49 a
	C/superfosfato triplo	0,28 d	0,77 b	0,15 a	0,49 a
Com G. margarita	Sem fosfato	0,18 a	0,53 a	0,14 a	0,46 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,49 d	0,53 a	0,32 b	0,37 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,22 b	1,38 b	0,14 a	0,87 b
	C/fosfato calcinado 700qC	0,28 c	0,58 a	0,18 a	0,40 a
	C/superfosfato triplo	0,43 d	0,73 a	0,17 a	0,45 a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 7—Quantidade de cálcio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições

Figura 8—Quantidade de cálcio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.2.5. Magnésio

Estudando o efeito das micorrizas na concentração de magnésio (Tabela 13), vemos que na folha sem e com calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* não afetou a concentração de magnésio, porém a inoculação de fungos nativos reduziu a concentração de magnésio, quando comparados aos tratamentos sem micorriza. No caule sem e com calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com inoculação de fungos nativos apresentaram uma redução no teor de magnésio, em relação aos tratamentos sem micorriza.

Com relação à influência dos fosfatos adicionados no solo no teor de magnésio (Tabela 13), observa-se que na folha, na ausência da calagem, a adição de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação promoveu acréscimo significativo no teor de magnésio; porém, na presença da calagem, a adição de fosfatos de alumínio Jandiá calcinado a 350°C proporcionou aumento significativo na concentração de magnésio, quando comparados com os demais tratamentos. No caule, sem e com calagem, a adição de fosfatos tanto na forma de superfosfato triplo quanto na forma de fosfatos de alumínio Jandiá sem e com calcinação, não mostraram efeitos positivos na concentração de magnésio na planta.

Na Tabela 14, quando se considera a planta como um todo (folha + caule), na ausência da calagem, as combinação dos fungos *Gigaspora margarita* com fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação, promoveu maior incremento na concentração de magnésio. Na presença da calagem, a adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C na presença de fungos *Gigaspora margarita* possibilitou um maior aumento no teor de magnésio nas plantas.

Analizando o efeito das micorrizas na quantidade total de magnésio (Figura 9), vemos que na folha sem e com calagem, no caule e no total, sem calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* apresentaram um aumento na quantidade de magnésio em relação aos demais tratamentos. No total com emprego da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com inoculação de fungos nativos foram equivalentes no acréscimo da quantidade de cálcio, quando comparados com os tratamentos sem micorriza.

Estudando a influência dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de cálcio (Figura 10), vemos que na folha, no caule e no total, sem calagem, os tratamentos com adição de superfosfato triplo apresentaram um incremento na quantidade de magnésio em relação aos demais tratamentos. Na folha e no total, na presença da calagem, os tratamentos com superfosfato triplo e com fosfatos de alumínio Jandiá calcinado a 700°C, foram semelhantes entre

si e diferiram dos demais no aumento da quantidade de magnésio. No caule com calagem, o tratamento com maior quantidade de magnésio foi com adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C que diferiu apenas dos tratamentos com adição de superfosfato triplo.

Tabela 13. Teor de magnésio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	0,24 b	0,44 b	0,10 b	0,24 b
C/micorriza nativa	0,22 a	0,39 a	0,09 ab	0,19 a
C/G. <i>margarita</i>	0,24 b	0,42 b	0,08 a	0,17 a
Fosfato:				
Sem fosfato	0,22 a	0,34 a	0,10	0,21 ab
C/fosfato s/calcinção	0,33 b	0,43 c	0,10	0,15 a
C/fosfato calcinado 350°C	0,22 a	0,58 d	0,08	0,24 b
C/fosfato calcinado 700°C	0,20 a	0,39 b	0,08	0,18 ab
C/superfosfato triplo	0,22 a	0,38 b	0,08	0,22 b
C.V. (%)	4,64	2,19	9,96	14,45

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 14. Teor de magnésio (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	0,27 bc	0,28 a	0,12 a	0,23 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,30 c	0,53 cd	0,11 a	0,18 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,24 bc	0,59 d	0,09 a	0,27 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,22 ab	0,48 a	0,09 a	0,31 a
	C/superfosfato triplo	0,20 a	0,41 b	0,09 a	0,28 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	0,24 bc	0,41 a	0,10 a	0,20 a
	C/fosfato s/calцинаção	0,26 c	0,39 a	0,07 a	0,16 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,23 abc	0,38 a	0,08 a	0,21 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,19 ab	0,38 a	0,09 a	0,19 a
	C/superfosfato triplo	0,18 a	0,37 a	0,09 a	0,18 a
Com G. margarita	Sem fosfato	0,17 a	0,35 a	0,08 a	0,20 ab
	C/fosfato s/calцинаção	0,49 c	0,38 a	0,12 a	0,12 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,20 a	0,94 b	0,07 a	0,24 b
	C/fosfato calcinado 700qC	0,20 a	0,34 a	0,07 a	0,12 a
	C/superfosfato triplo	0,28 b	0,38 a	0,07 a	0,23 b

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 9 – Quantidade de magnésio contido na matéria seca em plantas de cacauero (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 10 — Quantidade de magnésio contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fofato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições

4.2.6. Enxofre

Analisando o efeito das micorrizas na concentração de S (Tabela 15), observamos que na folha sem e com calagem e no caule com calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e de fungos nativos influenciaram negativamente o teor de S na planta, quando comparados a ausência de micorriza. No caule na ausência da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* ocasionou um aumento na concentração de S, em relação a ausência de fungos micorrízicos.

Com relação à influência dos fosfatos adicionados no solo no teor de S (Tabela 15), no caule, sem calagem, a adição de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação causou efeito significativo no incremento de S; porém, na presença da calagem, a adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C proporcionou aumento no teor de S, quando comparado aos tratamentos sem fosfato adicional. Na folha com calagem, a adição de fosfatos de alumínio Jandiá sem calcinação propiciou acréscimo na concentração de S na planta de cacaueiro.

Considerando a planta no total (folha+caule), pode-se observar (Tabela 16), que na ausência da calagem, embora sem diferenciação estatística a combinação de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação com fungos *G. margarita* propiciaram maior aumento na concentração de S. Na presença da calagem, também sem diferenciação, a adição de

fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 350°C na ausência de fungos micorrízicos, ocasionou aumento no teor de S na planta.

Estudando o efeito das micorrizas na quantidade de S (Figura 11), notamos que na folha, no caule e no total (folha + caule), tanto na ausência como especialmente na presença da calagem, a maior quantidade de S nos tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* que diferiu dos tratamentos sem micorriza e dos tratamentos com inoculação de fungos nativos. Com relação a influência dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de S (Figura 12), verifica-se que na folha, no caule e no total, na ausência da calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou um maior acréscimo na quantidade de S. Porém na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo e de fosfatos de alumínio Jandiá calcinado a 700°C tiveram comportamento equivalente nos acréscimos da quantidade de S na planta de cacaueiro.

Tabela 15. Teor de enxofre (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	0,15 a	0,15 a	0,09 a	0,13 b
C/micorriza nativa	0,13 b	0,14 a	0,10 ab	0,12 ab
C/ <i>G. matigayita</i>	0,14 ab	0,12 b	0,12 b	0,10 a
Fosfato:				
Sem fosfato	0,15	0,13 bc	0,10 b	0,10 a
C/fosfato s/calcinção	0,14	0,15 a	0,15 c	0,14 ab
C/fosfato calcinado 350°C	0,13	0,13 c	0,10 ab	0,16 b
C/fosfato calcinado 700°C	0,13	0,14 ab	0,08 ab	0,10 a
C/superfosfato triplo	0,14	0,14 ab	0,08 a	0,10 a
C.V. (%)	17,82	6,40	9,58	11,54

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 16. Teor de enxofre (%) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	0,15	0,14 bc	0,12 b	0,14 a
	C/fosfato s/calcação	0,16	0,13 c	0,11 b	0,13 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,15	0,16 a	0,08 ab	0,16 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,13	0,15 abc	0,08 ab	0,13 a
	C/superfosfato triplo	0,17	0,16 ab	0,06 a	0,11 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	0,13	0,15 a	0,10 abc	0,12 a
	C/fosfato s/calcação	0,16	0,16 a	0,14 c	0,16 a
	C/fosfato calcinado 350qC	0,12	0,13 b	0,12 bc	0,14 a
	C/fosfato calcinado 700qC	0,11	0,15 a	0,07 a	0,11 a
	C/superfosfato triplo	0,12	0,14 ab	0,08 ab	0,10 a
Com G. margarita	Sem fosfato	0,16	0,11 b	0,10 a	0,07 a
	C/fosfato s/calcação	0,11	0,15 a	0,22 b	0,13 bc
	C/fosfato calcinado 350qC	0,13	0,09 c	0,09 a	0,19 c
	C/fosfato calcinado 700qC	0,15	0,12 b	0,12 ab	0,08 ab
	C/superfosfato triplo	0,14	0,13 b	0,10 a	0,09 ab

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 11 – Quantidade de enxofre contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura12 –Quantidade de enxofre contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.3. Absorção dos micronutrientes

4.3.1. Cobre

Pela análise da influência das micorrizas na concentração de cobre (Tabela 17), vemos que na folha e no caule, na ausência da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e fungos nativos promoveram efeito positivo e significativo na concentração de cobre, em relação a ausência de fungos micorrízicos, provavelmente este efeito possa ser explicado, pela maior disponibilidade e baixa mobilidade deste elemento no solo, possivelmente as hifas fúngicas foram mais eficientes na absorção do elemento. Por outro lado, verifica-se de maneira geral que na folha, na presença da calagem, os fungos micorrízicos vesículo-arbusculares inoculados não promoveram incremento significativo no teor de cobre na planta, possivelmente devido à presença do cálcio adicionado por ocasião da realização da calagem, inibindo assim, a disponibilidade de cobre.

Com referência ao efeito dos fosfatos adicionados no solo no teor de cobre (Tabela 17), na folha e no caule, sem e com presença da calagem, a adição de superfosfato triplo e fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C proporcionaram decréscimo no teor de cobre, em relação aos demais fosfatos adicionados.

Na Tabela 18, observamos que na ausência da calagem, a combinação de fungos *Gigaspora margarita* com fos-

fato de alumínio Jandiá sem calcinação propiciou um maior aumento no teor de cobre. Na presença da calagem fungos nativos combinados com fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação no mesmo tratamento, ocasionou maior incremento de cobre nas plantas.

Com relação a influência das micorrizas na quantidade de cobre (Figura 13), na folha, no caule e no total, na ausência da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* apresentaram uma maior quantidade de cobre nas plantas, diferindo dos tratamentos sem micorriza e com inoculação de fungos nativos. Na folha, no caule e no total, na presença da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com fungos nativos foram equivalentes entre si no incremento da quantidade de cobre e ambos diferiram dos tratamentos sem micorriza.

Quanto ao efeito dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de cobre (Figura 14), nota-se que na folha, no caule e no total, sem a utilização da calagem, a adição do superfosfato triplo ocasionou um maior acréscimo na quantidade de cobre, seguido dos fosfatos de alumínio Jandiá calcinado a 700°C e 350°C, quando comparados aos tratamentos sem fosfato adicional; na presença da calagem, os tratamentos com adição de superfosfato triplo e com fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C tiveram comportamento semelhante no aumento da quantidade de cobre nas plantas.

Tabela 17. Teor de cobre (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	14,80 a	17,52	4,15 c	8,80 b
C/micorriza nativa	18,14 ab	19,27	6,65 b	12,55 a
C/G. <i>margarita</i>	19,38 b	15,47	9,95 a	9,55 b
Fosfato:				
Sem fosfato	18,04 ab	19,47 b	6,33	12,83 a
C/fosfato s/calcinção	22,70 b	21,14 b	7,50	13,41 a
C/fosfato calcinado 350°C	17,67 ab	19,52 b	7,08	8,58 b
C/fosfato calcinado 700°C	14,66 a	16,62 ab	7,33	7,58 b
C/superfosfato triplo	15,11 a	12,58 a	6,33	9,08 b
C.V. (%)	28,30	36,94	33,75	28,34

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 18. Teor de cobre (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	15,84	18,98	3,25	8,00 a
	C/fosfato s/calcinção	18,67	16,87	7,25	10,00 a
	C/fosfato calcinado 350QC	18,16	23,62	4,25	8,00 a
	C/fosfato calcinado 700QC	12,57	15,96	3,00	7,50 a
	C/superfosfato triplo	11,55	14,63	3,00	10,50 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	18,81	19,14	5,25	16,50 ab
	C/fosfato s/calcinção	23,34	30,77	6,50	18,50 a
	C/fosfato calcinado 350QC	18,83	15,95	7,00	11,00 bc
	C/fosfato calcinado 700QC	15,36	18,96	7,50	8,00 c
	C/superfosfato triplo	16,29	16,87	7,00	9,00 c
Com <i>G. margarita</i>	Sem fosfato	19,97	20,34	10,50	14,50 a
	C/fosfato s/calcinção	27,96	19,95	8,75	11,75 ab
	C/fosfato calcinado 350QC	16,23	20,87	10,00	6,75 b
	C/fosfato calcinado 700QC	16,68	15,36	11,50	7,25 b
	C/superfosfato triplo	19,78	9,02	9,00	7,75 b

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 13 – Quantidade de cobre contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 14 – Quantidade de cobre contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.3.2. Ferro

Na Tabela 19, observamos que na folha, na ausência da calagem, e também no caule na ausência e presença da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e com inoculação de fungos nativos quando comparados com os tratamentos sem micorriza, não apresentaram efeito positivo na concentração de ferro. Na folha, com a utilização da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita*, promoveu efeito negativo no teor de ferro, em relação a ausência de micorriza.

Com relação aos fosfatos adicionados no solo (Tabela 19), verifica-se que na folha, na ausência da calagem e no caule na ausência e presença da calagem, embora sem diferenciação estatística entre os tratamentos, a adição de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação, induziu a um maior incremento na concentração de ferro na planta.

Estudando a interação dos fosfatos adicionados com os fungos micorrízicos inoculados no solo (Tabela 20), notamos que, embora sem diferenciação estatística, na ausência da calagem, a combinação de fungos *Gigaspora margarita* e fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação, propiciou um maior aumento no teor de ferro na planta. Na presença da calagem, também sem diferenciação entre os demais tratamentos, a adição de fosfato de alumínio Jandiá

calcinado a 350°C na ausência de micorrizas, ocasionou maior incremento na concentração de ferro.

Quanto à quantidade de ferro devido ao efeito das micorrizas (Figura 15), vemos que na folha, no caule e no total, na ausência da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* promoveu acréscimo na quantidade de ferro, em relação a ausência de micorrizas e inoculação de fungos nativos. Porém, na presença da calagem, os fungos nativos e fungos *Gigaspora margarita* tiveram efeitos semelhantes no aumento da quantidade de ferro na planta.

Com referência à influência dos fosfatos adicionados no solo no que se relaciona à quantidade de ferro (Figura 16), na folha, na ausência da calagem, e no total tanto na ausência como na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou aumento significativo na quantidade de ferro, em relação aos fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação. Na folha, com a presença da calagem, e no caule, tanto na ausência como na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo e fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C, tiveram comportamento equivalente no acréscimo da quantidade de ferro na planta de cacaueiro.

Tabela 19. Teor de ferro (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	179,38	223,67 b	92,16	101,46
C/micorriza nativa	134,76	187,83 ab	84,12	85,70
C/G. <i>margarita</i>	189,87	170,61 a	84,30	88,84
Fosfato:				
Sem fosfato	182,51	157,89	85,60 ab	101,28 a
C/fosfato s/calcinção	211,13	196,97	103,44 b	103,53 a
C/fosfato calcinado 350QC	153,39	209,32	92,18 ab	99,86 a
C/fosfato calcinado 700QC	173,90	199,88	81,72 ab	77,84 a
C/superfosfato triplo	124,71	204,32	76,56 a	81,70 a
C.V. (%)	21,05	24,97	25,23	24,94

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20. Teor de ferro (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caulo	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	205,00	175,40	97,70	110,71
	C/fosfato s/calцинаção	178,26	261,32	95,44	103,46
	C/fosfato calcinado 350qC	156,69	239,80	99,39	126,31
	C/fosfato calcinado 700qC	159,97	235,40	83,33	86,39
	C/superfosfato triplo	206,25	221,43	87,12	90,24
Com micorriza nativa	Sem fosfato	145,35	170,04	79,83	109,53
	C/fosfato s/calцинаção	162,16	199,30	107,96	102,59
	C/fosfato calcinado 350qC	171,66	162,77	101,17	80,73
	C/fosfato calcinado 700qC	191,01	218,85	71,89	72,15
	C/superfosfato triplo	68,81	196,56	72,17	75,82
Com G. margarita	Sem fosfato	208,38	133,47	81,41	87,27
	C/fosfato s/calцинаção	355,51	152,18	107,97	104,88
	C/fosfato calcinado 350qC	135,16	241,15	79,37	102,74
	C/fosfato calcinado 700qC	172,77	158,53	92,60	76,32
	C/superfosfato triplo	162,45	196,44	69,57	80,30

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 15 – Quantidade de ferro contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 16—Quantidade de ferro contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.3.3. Manganês

Analisando o efeito das micorrizas no teor de manganês (Tabela 21), vemos que na folha e no caule, tanto na ausência como na presença da calagem, os tratamentos com inoculação de fungos nativos e com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* mostraram uma redução na concentração de manganês, quando comparados aos tratamentos sem micorriza.

Estes dados mostraram também, que mesmo utilizando a calagem o teor de manganês no tecido aéreo foi bastante elevado, provocando a toxicidade e consequente desequilíbrio nutricional da planta, com reflexos no crescimento e produção. Talvez devido a este fato, a planta tenha influenciado os efeitos negativos dos fungos micorrízicos.

Quanto à influência dos fosfatos adicionados no solo na concentração de manganês (Tabela 21), na folha e no caule, na ausência e presença da calagem, tanto a adição de superfosfato triplo quanto a adição de fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação, quando comparados a ausência de fosfato adicional, não afetaram o teor de manganês.

Analisando a Tabela 22, pode-se verificar que na ausência da calagem, quando se considera a planta como um todo (folha + caule), a adição de superfosfato

triplo na ausência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares proporcionou menor teor de manganês na planta, por conseguinte menor toxicidade. Na presença da calagem, a adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* ocasionou uma concentração de manganês significativamente menor.

Estudando a influência das micorrizas na quantidade de manganês (Figura 17), na folha, no caule e no total, na ausência da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* propiciou um maior acréscimo na quantidade de manganês, em relação a inoculação de fungos nativos e na ausência de micorriza. Na presença da calagem, na folha e no total, os fungos *Gigaspora margarita* e os fungos nativos tiveram efeito equivalente no aumento da quantidade de manganês.

Com referência ao efeito dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de manganês (Figura 18), na folha e no total, na ausência da calagem, a adição de superfosfato triplo ocasionou acréscimo significativo na quantidade de manganês, em relação ao fosfato de alumínio Jandiá sem ou com calcinação. Na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo e fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C tiveram comportamento semelhante no incremento da quantidade de manganês na planta de cacaueiro.

Tabela 21. Teor de manganês (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	1231,63 ab	1414,68 c	503,82 a	271,89 a
C/micorriza nativa	1047,92 a	1037,71 b	433,35 a	232,39 ab
C/ <i>G. margarita</i>	1334,45 b	796,22 a	348,10 b	182,42 b
Fosfato:				
Sem fosfato	1248,02	942,38 ab	519,62 a	256,98
C/fosfato s/calцинаção	1284,45	1053,89 ab	411,83 ab	280,30
C/fosfato calcinado 350°C	1146,79	1340,54 b	502,27 a	236,55
C/fosfato calcinado 700°C	1146,79	868,08 a	418,95 a	184,19
C/superfosfato triplo	1088,80	1076,37 ab	296,95 b	190,39
C.V. (%)	11,00	15,99	12,90	20,42

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 22. Teor de manganês (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caule	
		Sem calagem	Com calagem	Sem Calagem	Com Calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	1353,90 a	1249,80 a	689,46 a	263,51 a
	C/fosfato s/calцинаção	1203,45 a	1391,61 a	415,83 a	284,83 a
	C/fosfato calcinado 350QC	1353,43	1754,48 a	689,28 a	550,19 a
	C/fosfato calcinado 700QC	1240,78 a	1699,57 a	462,83 ab	244,03 a
	C/superfosfato triplo	1047,49 a	1132,78 a	317,50 b	225,03 a
Com micorriza nativa	Sem fosfato	1059,26 a	864,62 a	453,82 abc	247,26 a
	C/fosfato s/calцинаção	867,95 a	1098,51 a	610,29 a	304,29 a
	C/fosfato calcinado 350QC	1072,83 a	1033,72 a	514,98 ab	277,78 a
	C/fosfato calcinado 700QC	1159,47 a	1091,21 a	349,80 bc	169,18 a
	C/superfosfato triplo	1119,37aa	1136,78 a	278,31 c	179,01 a
Com G. <i>margarita</i>	Sem fosfato	1370,00 ab	796,61 b	433,67 a	260,33 a
	C/fosfato s/calцинаção	2281,03 b	796,11 b	249,95 a	252,99 a
	C/fosfato calcinado 350QC	1048,96 a	1375,77 b	334,41 a	115,79 a
	C/fosfato calcinado 700QC	1283,13 a	447,11 a	448,95 a	146,09 a
	C/superfosfato triplo	1101,49 a	972,30 b	295,69 a	169,35 a

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 17—Quantidade de manganês contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 18—Quantidade de manganês contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.3.4. Zinco

É mostrado através da Tabela 23, que o caule, na ausência da calagem, foi a única parte da planta que apresentou aumento no teor de zinco quando inoculado com fungos *Gigaspora margarita*, quando comparado a inoculação de fungos nativos e sem micorriza. Na folha, na presença da calagem, a média dos tratamentos com inoculação de fungos *Gigaspora margarita* na concentração de zinco, foi menor, em relação a média dos demais tratamentos.

Quanto ao efeito dos fosfatos adicionados no solo na concentração de zinco (Tabela 23), a adição de fosfatos tanto na forma de superfosfato triplo quanto na forma de fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação, na ausência e presença da calagem, não afetaram o teor de zinco na planta, quando comparados a ausência de fosfato adicional.

Analisando a interação dos fosfatos adicionados com os fungos micorrízicos inoculados no solo (Tabela 24), observamos que, embora sem diferenciação estatística, na ausência da calagem, a combinação de fungos *Gigaspora margarita* e fosfato de alumínio Jandiá sem e com calcinação, promoveu um maior aumento no teor de zinco na planta. Na presença da calagem, também sem diferenciação entre os demais tratamentos, a adição de fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação na ausência de micorrizas,

propiciou um maior acréscimo na concentração de zinco.

Estudando a influência das micorrizas na quantidade de zinco (Figura 19), vemos que na folha, no caule e no total, tanto na ausência como na presença da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* ocasionou acréscimo na quantidade de zinco, em relação a ausência de micorriza e inoculação de fungos nativos.

Com relação ao efeito dos fosfatos adicionados no solo na quantidade de zinco (Figura 20), verifica-se que na folha, no caule e no total, na ausência da calagem, a adição de superfosfato triplo proporcionou um maior aumento na quantidade de zinco, em relação aos demais fosfatos adicionados. Na presença da calagem, a adição de superfosfato triplo e a adição de fosfato de alumínio Jandiá calcinado a 700°C, possibilitaram incrementos equivalentes na quantidade de zinco na planta de cacaueiro.

Tabela 23. Teor de zinco (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacauzeiros aos 210 dias após o transplante, em função dos fatores micorriza e fosfato na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Fatores	Folha		Caulo	
	Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Micorriza:				
Sem micorriza	48,55	66,18 b	47,32 a	57,42
C/micorriza nativa	47,50	62,56 b	49,00 a	62,90
C/ <i>G. margarita</i>	51,57	43,04 a	74,50 b	53,95
Fosfato:				
Sem fosfato	50,97	51,09	54,37 ab	49,47 a
C/fosfato s/calcinção	56,28	60,44	56,52 ab	68,40 b
C/fosfato calcinado 350qC	46,61	55,76	48,27 a	66,17 ab
C/fosfato calcinado 700qC	47,35	51,62	52,59 ab	57,94 ab
C/superfosfato triplo	45,92	58,38	53,30 b	52,06 ab
C.V. (%)	18,75	29,40	18,65	26,74

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 24. Teor de zinco (ppm) contido na matéria seca das diferentes partes aéreas das plantas de cacaueiros aos 210 dias após o transplante, interação do fator fosfato com o fator micorriza na ausência e presença da calagem (Média de 3 repetições).

Micorriza	Fosfato	Folha		Caule	
		Sem calagem	Com calagem	Sem calagem	Com calagem
Sem micorriza	Sem fosfato	50,97 a	56,49	64,17 b	47,91
	C/fosfato s/calцинаção	56,28 a	79,94	46,70 ab	70,43
	C/fosfato calcinado 350qC	46,61 a	75,26	42,13 a	70,82
	C/fosfato calcinado 700qC	47,35 a	66,11	40,18 a	57,92
	C/superfosfato triplo	45,92 a	59,10	49,87ab	48,48
Com micorriza nativa	Sem fosfato	69,23 b	48,18	43,62 a	48,18
	C/fosfato s/calцинаção	51,75 ab	68,94	48,02 a	78,14
	C/fosfato calcinado 350qC	46,42 ab	56,24	44,99 a	67,98
	C/fosfato calcinado 700qC	40,88 a	75,77	51,66 a	71,52
	C/superfosfato triplo	43,09 a	73,08	59,84 a	57,98
Com G. margarita	Sem fosfato	46,77a	49,37	60,01 a	52,68
	C/fosfato s/calцинаção	61,40 a	44,20	92,28 a	59,30
	C/fosfato calcinado 350qC	50,54 a	43,00	61,79 a	60,58
	C/fosfato calcinado 700qC	59,58 a	33,57	78,13 a	48,71
	C/superfosfato triplo	44,01 a	48,12	94,09 a	50,62

Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 19—Quantidade de zinco contido na matéria seca em plantas de cacaueiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator micorriza aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

Figura 20 - Quantidade de zinco contido na matéria seca em plantas de cacaueteiro (*Theobroma cacao* L.), em função do fator fosfato aos 210 dias após o transplante. Média de 3 repetições.

4.4. Colonização micorrízica

No presente estudo, foi constatado total inexistência da infecção radicular do cacaueiro por fungos endomicorrízicos nativos e *Gigaspora margarita* tanto na ausência como na presença da calagem.

Três hipóteses tem sido formuladas para a explicação de tal fenômeno. A primeira, diz respeito ao número de doses de fertilizantes nitrogenados principalmente na forma amoniacal aplicadas neste experimento tenha influenciado a colonização das raízes (CHAMBERS et alii, 1980). A segunda se refere a elevada concentração de manganês solúvel no solo induzido pela esterilização e comprovado por altos teores deste elemento no tecido aéreo da planta possa ter resultado em declínio na infecção radicular.

As duas primeiras hipóteses parecem pouco prováveis, uma vez que não conseguem explicar nas condições experimentais estabelecidas, os altos teores de fósforo e aumento no peso da matéria seca da parte aérea das plantas micorrizadas em relação às plantas sem micorriza.

A terceira hipótese proposta por EZETA & SANTOS (1981) parece explicar melhor a baixa taxa de infecção radicular do cacaueiro. Esses autores observaram que tanto em solo natural como em solo esterilizado, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e fungos nativos apre-

sentou um acentuado declínio na colonização radicular entre a 19^a e 26^a semana de idade da planta; este fato foi justificado pelos autores como sendo decorrência de um possível defasamento entre a infecção pelo fungo vesículo-arbuscular e a taxa de crescimento radicular do cacaueiro.

5. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais deste trabalho e considerando os resultados obtidos é possível concluir que:

1 - Tanto na ausência como na presença da calagem, a adubação fosfatada do cacaueiro (*Theobroma cacao*, L.) com superfosfato triplo e com fosfatos de alumínio Jan-diá calcinado a 700°C, promoveu acréscimo na produção de matéria seca.

2 - Os efeitos da aplicação dos fosfatos foram favorecidos pela inoculação de fungos endomicorrízicos vesículo-arbusculares, especialmente de *Gigaspora margarita*.

3 - Os fungos *Gigaspora margarita* foram mais eficientes do que as endomicorrizas nativas, quando em simbiose com o cacaueiro.

4 - Na presença da calagem, a inoculação de fungos *Gigaspora margarita* e endomicorriza nativa aumentaram o teor de P e reduziram a concentração de N, Ca, Mg, S, Fe e Mn.

5 - Na ausência da calagem, o fosfato de alumínio Jandiá sem calcinação aplicado ao cacaueiro, aumentou os teores de P e Cu, enquanto que o superfosfato triplo aumentou a concentração de Ca.

6 - Dentre os fosfatos adicionados no solo, na ausência da calagem, o superfosfato triplo foi o mais eficiente no acréscimo da quantidade total de macro e micronutrientes na parte aérea do cacaueiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, L.K. & ROBSON, A.D. Growth of subterranean clover in relation to the formation of endomycorrhizas by introduced and indigenous fungi in a field soil. *New Phytologist*, Oxford, 81: 575-85, 1978.
- ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 4: 196-200, 1980.
- ALLEN, M.F.; SMITH, W.K.; MOORE, S.M.; CHRISTENSEN, M. Comparative water relations and photosynthesis of mycorrhizal *Bouteloua gracilis*. *New Phytologist*, Oxford, 88: 683-93, 1981.
- ATANASIU, N. Comparative study on the effects of water and citrate soluble phosphatic fertilizer of field and P-uptake on tropical and subtropical soils. *Indian Society Science*, New Delhi, 19: 119-27, 1971.
- AZCON, R. & OCAMPO, J.A. Factores affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist*, Oxford, 87: 677-85, 1981.

- AZCON-AGUILAR, C.; BAREA, J.M.; ROLDAN-FAJARDO, B.E. Avances recientes en el estudio de las micorrizas VA-II. Factores que afectan su formacion y funcion y aplicaciones prácticas en agricultura. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, Madrid, 42(5): 943-57, set. 1984.
- BALLARD, R. Fertilization of plantations. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S. **Nutrition of plantation forests**. London, Academic Press, 1984. p.327-60.
- BARBOSA FILHO, M.P. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, 28: 1-10, 1984.
- BAREA, J.M. & AZCON-AGUILAR, C. Mycorrhizas and their significances in nodulation nitrogen fixing plants. **Advances in Agronomy**, New York, 36: 1-54, 1983.
- BAREA, J.M.; AZCON, R.; HAYMAN, D.S. Possible synergistic interactions between *Endogone* and phosphate-solubilizing bacteria in low-phosphate soils. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. **Endomycorrhizas**. London, Academic Press, 1975. p.409-17.
- BAREA, J.M.; AZCON-AGUILAR, C.; ROLDAN-FAJARDO, B. Avances recientes en el estudio de la micorrizas VA-I. Formacion, funcionamiento y efectos en nutricion vegetal. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, Madrid, 43(6): 659-77, 1984.
- BAREA, J.M.; ESCUDERO, J.L.; AZCON-AGUILAR, C. Effects of introduced and indigenous VA mycorrhizal fungi on nodulation, growth and nutrition of *Medicago sativa* in phosphate-fixing soils as affected by P fertilizer. **Plant and Soil**, The Hague, 54(2): 283-96, 1980.

- BETHLENFALVAY, G.J.; BROWN, M.S.; AMES, R.N. Effects of drought on host and endophyte development in mycorrhizal soybeans in relation to water use and phosphate uptake. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, 72: 565-71, 1988.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, 24: 225-52, 1973.
- BLANCO, H.C.; VENTURINI, W.R.; GARGANTINI, H. Comportamento de fertilizantes fosfatados em diferentes condições de acidez de solo, para o trigo, em estudo de efeito residual para a soja. *Bragantia*, Campinas, 24(22): 261-90, 1965.
- BOLAN, N.S.; ROBSON, A.D.; BARROW, N.J. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the availability of iron phosphates of plants. *Plant and Soil*, The Hague, 99(2/3): 401-10, 1987.
- BONONI, V.L.R.; BARBOSA, L.M.; VIRIATO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em amendoim e em plantas invasoras da cultura. *Hoehnea*, São Paulo, 15: 1-9, dez. 1988.
- BOWEN, G.D. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. In: NIKOLA, P., ed. *Tropical mycorrhiza research*. Oxford, Oxford University Press, 1980. p.165-90.
- BRAGANÇA, J.B.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. de; THIÉBAUT, J.T.L. Solubilização do fosfato de Araxá no solo, considerando o teor de alumínio trocável e o tempo de incubação. *Revista Ceres*, Viçosa, 28: 383-90, 1981.

- BRAUN, W.A.G. Os fosfatos de alumínio do Brasil, sua tecnologia e uso agrícola. *Fertilizantes*, São Paulo, 5(1): 3-8, 1983.
- CABALA-ROSAND, P. & MARIANO, A.H. Absorção diferencial de fósforo em cultivares de cacau. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 20(2): 159-67, 1985.
- CABALA-ROSAND, P. & SANTANA, M.B.H. Disponibilidade de fósforo e sua diagnose pela análise do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7(2): 109-18, 1983.
- CABALA-ROSAND, P. & SANTANA, M.B.M. Eficiência de fosfatos para a cultura do cacau. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CACAO, 10., Santo Domingo, 1988. Lagos, Aliança dos Países Produtores de Cacau, 1988. p.239-46.
- CABALA-ROSAND, P. & WILD, A. Direct use of low grade phosphate rock from Brazil as fertilizer. I. Effect of reaction time in soil. *Plant and Soil*, The Hague, 65: 351-62, 1982.
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M.B.M.; MIRANDA, E.R. de. Fertilidade dos solos ocupados com cacaueiros no Sul da Bahia. Ilhéus, Bahia, CEPLAC/CEPEC, 1975. 31p. (Boletim Técnico, 27).
- CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, C.J.L. de; MIRANDA, E.R. de. Respostas de cacaueiros "Catongo" a doses de fertilizantes no Sul da Bahia, Brasil. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 12(4): 203-16, 1982.

- CARDOSO, E.J.B.N. Efeito de micorriza vesículo-arbuscular e fosfato de rocha na simbiose soja-Rhizobium. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, Campinas, 9: 125-30, 1985.
- CARVALHO, Y.B. Recursos minerais do Brasil na área de fertilizantes. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, 1977. 64p.
- CHAMBERS, C.A.; SMITH, S.E.; SMITH, F.A. Effects of ammonium and nitrate ions on mycorrhizal infection, nodulating and growth of *Trifolium subterraneum*. *New Phytologist*, Oxford, 85: 47-62, 1980.
- CHIEN, S.H. & McCLELLAN, G.H. Variation of the apatite composition in phosphate rock and its relationship to rock's chemical reactivity and agronomic effectiveness. In: CONFERENCE ON CLASSIFICATION AND MANAGEMENT OF TROPICAL SOILS, Kuala Lumpur, 1977. Kuala Lumpur, Malaysia. Society Soil Science, 1977. p.1-25.
- COOPER, K.M. Physiology of VA mycorrhizal associations. In: POWELL, C. Li & BAGYARAJ, D.J., ed. *VA Mycorrhiza*. Boca Raton, CRC Press, 1984. p.155-86.
- COSTA, M.L. & SÁ, J.H.S. Os fosfatos lateríticos da Amazônia oriental: geologia, mineralogia, geologia química e correlação com as bauxitas da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú-SC, 3: 1459-72, 1980.

- COX, G. & TINKER, P.B. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizas. I. The arbuscule and phosphorus transfer: a quantitative ultrastructural study. *New Phytologist*, Oxford, 77: 371-8, 1976.
- CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.O.; LINDSEY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non-mycorrhizal tomato roots. *Plant Physiology*, Lancaster, 64: 484-7, 1979.
- DAFT, M.J. & EL-GIAHMI, A.A. Effects of *Glomus* infections on three legumes. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975. p.581-92.
- DAINESE, M.B. & CARDOSO, E.J.B.N. Algumas observações sobre fungos em associações com cana-de-açúcar em Piracicaba, SP. *O Solo*, Piracicaba, 73: 24-7, 1981.
- DANIELS, B.A. & TRAPPE, J.M. Factors affecting spore germination of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeus*. *Mycologia*, New York, 72: 457-71, 1980.
- DAVIS, E.A.; YOUNG, J.L.; LIDERMAN, R.G. Soil lime level (pH) and VA-mycorrhiza effects on growth responses of sweetgum seedlings. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 47: 251-6, 1983.
- DYNIA, J.F. Efeito do pH e da capacidade de retenção de fósforo na eficiência de adubos fosfatados. Porto Alegre, 1977. 61p. (Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

- DRAKE, M. & STECKEL, J.E. Solubilization of soil and rock phosphate as related to root cation exchange capacity. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 19: 449-50, 1955.
- ELLIS Jr., R.; QUADER, M.A.; TRUOG, R. Rock phosphate availability as influenced by soil pH. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 19: 484-7, 1955.
- EZETA, F.N. & SANTANA, M.B.M. Efeito do alumínio sobre absorção e concentração de nutrientes em plântulas de cacaueiro. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 9(4): 171-84, 1979.
- EZETA, F.N. & SANTOS, O.M. Importância da endomicorriza na nutrição mineral do cacaueiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 5(1): 22-7, 1981.
- FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo-arbuscular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14: 41-8, 1990.
- FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. van; DECHEN, A.R.; ALCARDE, A.R. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos, para trigo em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 2: 193-5, 1978.
- FENSTER, W.E. & LEON, L.A. Utilization of phosphate rock in tropical soils of Latin America. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER. *Seminar on Phosphate Rock for Direct Application*. Haifa, 1978. p.174-210.

- FERNANDES, A.B. & SIQUEIRA, J.O. Micorrizas vesicular-arbusculares em cafeeiros da região sul do Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 24 (12): 1489-98, dez. 1989.
- FERNANDES, S.B.V. & KAMINSKI, J. Efeito de níveis de acidulação do fosfato de Araxá no suprimento de fósforo à sucessão sorgo-soja-aveia, em dois solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 11: 157-60, 1987.
- FERRAZ, J.M.G. Levantamento de micorriza vesículo-arbuscular em culturas da Amazônia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 3: 194-6, 1979.
- GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, 6: 397-418, 1968.
- GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: TORREY, J.G. & CLARKSON, D.T. *Development and function of roots*. 3.ed. London, Academic Press, 1974. p.575-91.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizae endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transaction of the British Mycological Society*, London, 46: 235-44, 1963.
- GERDEMANN, J.W. & TRAPPE, J.M. *The Endogonacea of the Pacific North West*. New York, New York Botanical Garden, 1974. 75p. (Mycologia Memoir, 5).
- GIANINAZZI-PEARSON, V.; FARDEAU, J.C.; ASIMI, S.; GIANINAZZI, S. Source of additional phosphorus absorbed from soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal soybeans. *Physiologie Végétales*, Paris, 19: 33-43, 1981.

- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 15(3): 311-80, 1980.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agronômica dos fosfatos em solo de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8: 97-102, 1984.
- GOMES, F.P. *Curso de Estatística Experimental*. 8.ed. Piracicaba, ESALQ, 1978. 430p.
- GRAHAM, J.H. & SIVERTSEN, J.P. Host determinants of mycorrhizal dependency of citrus rootstock seedlings. *New Phytologist*, Oxford, 10: 667-76, 1985.
- GUARDANI, R. Transformações térmicas e solubilidade de fosfatos de alumínio dos estados do Pará e Maranhão. *Fertilizantes*, São Paulo, 9(2): 6-10, jul./dez. 1987.
- HARDY, F. Relaciones nutricionales del cacao. In: *MANUAL DE CACAO*, Turrialba, IICA, 1961. p.75-88.
- HARLEY, J.L. & SMITH, S.E. *Mycorrhizal symbiosis*. New York, Academic Press, 1983. 183p.
- HAYMAN, D.S. Effect of plant species, soil and environmental factors on vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) infection and nutrient uptake. In: *CONSULTANTS MEETING ON THE USE OF NUCLEAR TECHNIQUES TO STUDY THE ROLE OF MYCORRHIZAS IN INCREASING FOOD CROP PRODUCTION*, Vienna, 1981. *Nuclear techniques to study the role of mycorrhiza in increasing food crops production; proceedings*. Vienna, FAO; IAEA, 1985. p.29-47 (Technical Document, 338).

- HAYMAN, D.S. & MOSSE, B. The role of vesicular-arbuscular mycorrhiza in the removal of phosphorus from soil by plant roots. *Revisitee Ecologic Biologic Society, Paris*, 9(3): 463-70, 1972.
- HOLLEY, J.D. & PETERSON, R.L. Development of vesicular-arbuscular mycorrhiza in bean roots. *Canadian Journal of Botany*, Ottawa, 57: 1960-78, 1979.
- IKRAM, A.; MAHMUD, A.W.; NAPI, D. Effects of P-fertilization and inoculation by two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nodulation of *Calopogonium caeruleum*. *Plant and Soil*, The Hague, 104(2): 195-207, 1987.
- JUD, A.S.R. & KANG, B.T. Effect of liming on the availability of three rock phosphate sources in two West African Ultissols. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19(7): 993-1003, 1979.
- KAMINSKI, J. Efeito de cinco fosfatos pré, co e pós-aplicados ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench. - cv. Contibrasil) em três solos ácidos. Piracicaba, 1983. 126p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- KHASAWNEH, F.E. & DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, New York, 30: 159-206, 1978.
- KÖRNDORFER, G.H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecerem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, 1978. 62p. (Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

- LAMBAIS, M.R. & CARDOSO, E.J.B.N. Avaliação da germinação de esporos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da colonização micorrízica de *Stylosanthes guianensis* em solo ácido e distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 12: 249-55, 1988.
- LAMBERT, D.H.; BAKER, D.E.; COLE Jr., H. The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with zinc, copper and other elements. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, 43: 976-80, 1979.
- LEWIS, D.H. Comparative aspects of the carbon nutrition of mycorrhizas. In: SANDER, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975. p.119-48.
- LOPES, E.S. Eficiência e especificidade das associações micorrízicas do tipo vesicular-arbuscular em gramíneas e leguminosas forrageiras e no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). Piracicaba, 1980. 111p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- LOPES, E.S. & SIQUEIRA, J.O. Vesicular arbuscular mycorrhizas - their potential in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSELL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA., Z.R., ed. *The soil root system in relation to Brazilian Agriculture*. Londrina, IAPAR, 1981. p.225-42.
- LOPES, E.S.; SIQUEIRA, J.O.; ZAMBOLIM, L. Caracterização das micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, Campinas, 7(1): 1-19, 1983.
- MALAVOLTA, E. *Nutrição de plantas e fertilidade do solo*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1976. 528p.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MANJUNATH, A. & HABTE, M. Development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection and the uptake of immobile nutrients in *Leucaena leucocephala*. **Plant and Soil**, The Hague, **106**: 97-103, 1988.
- McCLELLAN, G.H. Mineralogy and Reactivity of Phosphate Rock. In: INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (ed.). **Seminar on Phosphate Rock for direct Application.** Haifa, Israel, 1978. p.57-81.
- McCLELLAN, G.H. & GREMILLION, L.R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J., ed. **The role of phosphorus in agriculture.** Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.43-80.
- McGONIGLE, T.P. & FITTER, A.H. Growth of phosphorus in flows of *Trifolium repens* L. with a range of indigenous vesicular-arbuscular mycorrhizal infections levels under field conditions. **New Phytologist**, Oxford, **108**: 59-65, 1988.
- MENGE, J.A.; STEIRLE, D.; BAGYARAJ, D.J.; JOHNSON, E.L.V.; LEONARD, R.T. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. **New Phytologist**, Oxford, **80**: 565-78, 1978.

- MILLER, R.H.; CARDOSO, E.J.B.N.; CARDOSO, C.O.N. Some observations on mycorrhizal infection of tropical forage legumes and grasses in brazil. *Summa Phytopathologica*, Piracicaba, 5: 168-72, 1979.
- MILLER Jr., C.; RAJAPAKSE, S.; CABER, R.K. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in vegetable crops. *Horticultural Science*, Minesota, 21(4): 974-83, 1986.
- MIRANDA, E.R. de & CABALA-ROSAND, P. Influência de diferentes fontes fosfatadas sobre a produção do cacau. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 8., Santa Maria, 1973. Comunicações da equipe de fertilidade do Centro de Pesquisa do Cacau. Ilhéus, Bahia, CEPLAC, 1973. p.7-9.
- MIRANDA, E.R. & DIAS, A.C.C.P. Efeito da saturação de alumínio no crescimento de plântulas de cacau. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 1(3): 33-42, 1971.
- MORAIS, F.I.O.; SANTANA, C.J.L. de; SANTANA, M.B.M. Efeito da aplicação do calcário e fósforo no crescimento de plântulas de cacau em casa de vegetação. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 8(2): 73-85, 1978.
- MORAIS, F.I.O.; SANTANA, C.J.L. de; PEREIRA, G.C. Efeitos da aplicação de diferentes fontes de fósforo no crescimento do cacau em casa de vegetação. *Revista Theobroma*, Ilhéus, 9(3): 119-28, 1979.
- MOREIRA, S.M.; LOURDES, E.G.; THIÉBAUT, J.T.L.; NOVAIS, R.F. Efeito da interação gramínea - solo - calagem sobre a eficiência de fosfatos naturais. *Revista Ceres*, Viçosa, 26: 360-73, 1979.

- MOSSE, B. Growth and chemical composition of mycorrhizal and non-mycorrhizal apples. *Nature*, London, 179: 922-4, 1957.
- MOSSE, B. Effect of different endogone strains on the growth of *Paspalum notatum*. *Nature*, London, 239: 221-3, 1972.
- MOSSE, B. Advances in the study of vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Annual Review of Phytopathologist*, Palo Alto, 11: 171-96, 1973a.
- MOSSE, B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IV. In soil given additional phosphate. *New Phytologist*, Oxford, 72: 127-36, 1973b.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Hawaii, Institute for Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82p. (Research Bulletin, 194).
- NACHTIGALL, G.R.; BRAUNER, J.L.; ZOLEZZI, M.; TAPIA, F. Mistura de superfosfato triplo com fosfato de Jacupiranga no mesmo grânulo na eficiência do fosfato natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13: 269-73, 1989.
- NEME, N.A. & LOVADINI, L.A.C. Efeito de adubos fosfatados e de calcário na produção de forragem de soja perene. *Bragantia*, Campinas, 26: 365-71, 1967.
- NOVAIS, R.F. & RIBEIRO, R.F. Efeito do pH e da concentração de alumínio em solução sobre a solubilização de apatita de Araxá. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6: 66-8, 1982.

- NYABYENDA, P. Einfluss der bodentemperatur und organischer stoffe in boden auf die wirkung der vesicular - arbuscularen mycorrhiza. Götting, 1979. (Ph.D. - Georg-August Univ.).
- PAULINO, V.T.; BAREA, J.M.; BEDMAR, E.J. Efeito da calagem, adubação fosfatada e micorriza no crescimento de *Lolium perenne* - *Trifolium repens* associados, cultivados em um solo ácido. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 60: 327-36, 1985.
- PEREIRA, P.R.G. Estudo da eficiência de fungos micorrízicos vesicular-arbusculares para a soja em amostra de um latossolo. Viçosa, 1986. 73p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- PHILIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots ant staining parasite and vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transaction of the British Mycological Society*, London, 55: 158-61, 1970.
- POWELL, C.L. Potassium uptake by endotrophic mycorrhizas. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975a. p.461-8.
- POWELL, C.L. Plant growth responses to vesicular - arbuscular mycorrhiza. VIII. Uptake of P by onion and clover infected with different *Endogone* spore types in ^{32}P labelled soil. *New Phytologist*, Oxford, 75: 563-6, 1975b.
- POWELL, C.L. & BAGYARAJ, D.J. VA mycorrhizae: why all the interest. In: POWELL, C. Li. & BAGYARAJ, D.J. *Va mycorrhizae*. Boca Raton, CRC Press, 1984. p.10-2.

- RAIJ, B. van & DIEST, A. van. Phosphate supplying power of rock phosphate in an oxisol. *Plant and Soil*, The Hague, 55: 97-104, 1979.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. *Análise química do solo para fins de fertilidade*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RATANAYAKE, M.; LEONARD, R.T.; MENGE, J.A. Root exudation in relation to supply of phosphorus and its possible relevance to mycorrhizal formation. *The New Phytologist*, Oxford, 81: 543-52, 1978.
- REEVES, F.B.; WAGNER, D.; MOORAN, T.; KIEL, J. The role of endomycorrhizae in revegetation practices in the semi-arid West. I. A comparison of incidence of mycorrhizae in severely disturbed natural environments. *American Journal of Botany*, Columbus, 66: 66-73, 1979.
- REID, C.P. & BOWEN, G.D. Effects of soil moisture on VA mycorrhiza formation and root development in Medicago. In: HARLEY, J.L. & RUSSELL, R.S., ed. *The soil-root interface*. London, Academic Press, 1979. p.211-9.
- RHODES, L.H. & GERDEMANN, J.W. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytologist*, Oxford, 75: 555-61, 1975.
- RHODES, L.H. & GERDEMANN, J.W. Hyphal translocation and uptake of sulphur by vesicular-arbuscular mycorrhizae of onion. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, 70: 355-60, 1978.

- RHODES, L.H. & GERDEMANN, J.M. Nutrient translocation in vesicular-arbuscular mycorrhizae. In: COOK, C.B.; PAPPAS, W.; RUDOLPH, E.D., ed. *Cellular interaction in symbiosis and parasitism*. Columbus, Ohio State University Press, 1980. p.173-95.
- ROSS, J.P. Effect of phosphate fertilization on yield of mycorrhizal and non-mycorrhizal soybean. *Phytopathology*, St. Paul, **61**: 1400-3, 1971.
- RYAN, J. & SMILLIE, G.W. Liming in relation to soil acidity and P fertilizer efficiency. *Communications Soil Science and Plant Analysis*, New York, **6**(4): 404-19, 1975.
- SAIF, S.R. The influence of soil aeration on the efficiency of vesicular-arbuscular mycorrhizae. I. Effect of soil oxygen on the growth and mineral uptake of *Eupatorium odoratum* inoculated with *Glomus macrocarpus*. *New Phytologist*, Oxford, **88**: 649-60, 1981.
- SALINAS, J.G. & SANCHEZ, P.A. Soil-plant relationships affecting varieties and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e Cultura*, São Paulo, **28**: 156-68, 1976.
- SANDERS, F.R. The effect of foliar-applied phosphate on the mycorrhizal infections of onion roots. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975. p.261-76.
- SANDERS, F.R. & TINKER, P.B. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pesticide Science*, London, **4**: 385-95, 1973.

- SANTANA, C.J.L. de & MORAIS, F.I.O. Efeito da calagem na produção do cacaueiro no Sul da Bahia. In: CEPLAC/CEPEC. Divisão de Geociências. **Informe anual - 1981**. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC, 1982. p.55-7.
- SCHENCK, N.C. Can mycorrhizae control root disease? **Plant Disease**, St. Paul, **65**: 230-4, 1981.
- SCHENCK, N.C.; GRAHAM, S.O.; GREEN, N.E. Temperature and light effect on contamination and spore germination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycologia**, Bronx, **67**: 1189-92, 1975.
- SCHENCK, N.C. & SCHRODER, V.N. Temperature response of *Endogone* mycorrhiza on soybean roots. **Mycologia**, Bronx, **66**: 600-5, 1974.
- SCHUBERT, A. & HAYMAN, D.S. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza: XVI. Effectiveness of different endophytes at different levels of soil phosphate. **New Phytologist**, Oxford, **103**: 79-90, 1986.
- SIQUEIRA, J.O. Nutritional and factors affecting spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Gainesville, 1983. 125p. (Ph.D. - University of Florida).
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **19**: 1465-74, 1984.
- SMYTH, A.F. **La selección de suelos para cultivo del cacao**. Roma, FAO, 1967. 77p. (Boletim sobre Suelos, 5).

- SNEDECOR, G.W.E. & COCHRAN, W.C. *Statistical methods*. Ames, Iowa State University Press, 1972. 325p.
- SONDERGAARD, M. & LAEGAARD, S. Vesicular-arbuscular mycorrhiza in some aquatic vascular plants. *Nature*, London, 268: 232-3, 1977.
- SWARD, R.J. Infection of Australian hearthland plants by *Gisgasporea margarita* (a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus). *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 26: 253-64, 1978.
- TEOH, C.H.; CHANG, A.K.; CHONG, C.F. Fertilizer and soil amelioration trials on inland and coastal soil in Malaysia. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COCOA AND COCONUTS, Kuala Lumpur, 1984. 21p.
- TERMAN, G.L.; MORENO, E.C.; GLEN, O. Acidulation of phosphate rock in soil. *Soil Science Society of American Proceedings*, Madison, 28: 104-7, 1964.
- THOMAZI, M.D.; MELLO, F.A.F. de; ARZOLLA, S. Fixação de fósforo por solos do município de Piracicaba. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 65(1): 47-51, 1990.
- THOMAZINI, L.I. Mycorrhiza in plants of the "Cerrado". *Plant and Soil*, The Hague, 41: 707-11, 1974.
- TINKER, P.B. Role of rhizosphere microorganisms in phosphorus uptake by plants. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., ed. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. Cap. 22, p.617-54.

- TINKER, P.B. The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant and Soil*, The Hague, 76(1/3): 77-91, 1984.
- TRAPPE, J.M. Mycorrhizae and productivity of arid and semiarid rangelands. In: MANASSAH, J.T. & BRISKEY, E.J., ed. *Advances in food producing systems for arid and semiarid*. New York, Academic Press, 1981. p.581-99.
- WOOLHOUSE, H.W. Membrane structure and transport problems considered in relation to phosphorus and carbohydrate movement and the regulation of endotrophic mycorrhizal associations. In: SANDERS, F.E.; MOSSE, B.; TINKER, P.B., ed. *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975. p.209-39.
- ZAMBOLIM, L. & SIQUEIRA, J.O. *Importância e potencial das associações micorrízicas para a agricultura*. Belo Horizonte, EPAMIG, 1985. 36p. (EPAMIG. Documentos, 26).