

# EFEITO DE MICORRIZAS VESICULAR-ARBUSCULARES NO CRESCIMENTO, NODULAÇÃO E ACÚMULO DE NITROGÊNIO PELA SOJA<sup>1</sup>

MAURO AUGUSTO PAULA<sup>2</sup> e JOSÉ OSWALDO SIQUEIRA<sup>3</sup>

**RESUMO** - Estudou-se a influência de micorrizas vesicular-arbusculares no crescimento vegetativo, nodulação e acúmulo de N pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) crescendo em material de Latossolo Vermelho-Escuro sob cerrado, adubado com doses crescentes de superfosfato simples. Doses equivalentes a 0 ppm, 15 ppm, 30 ppm, 60 ppm, 120 ppm e 240 ppm de  $P_2O_5$  foram aplicadas em solo fumigado com Bromex (FUM), fumigado e infestado com *Glomus macrocarpum* (MAC) e solo natural sem tratamento (SN). Tanto a aplicação de P como os tratamentos de solo influenciaram significativamente as variáveis avaliadas. O efeito positivo do P sobre todas as variáveis foi mais acentuado nas plantas do tratamento MAC, evidenciando um efeito somativo dos dois fatores. O efeito benéfico do MAC, foi mais acentuado entre as doses de 60 ppm e 120 ppm de  $P_2O_5$ , decrescendo na dose 240 ppm. Quando se aplicou 60 ppm de  $P_2O_5$ , plantas com MAC acumularam duas vezes mais N que as não micorrizadas (FUM). A colonização micorrízica foi máxima quando se aplicou entre 15 ppm e 30 ppm de  $P_2O_5$ . Embora os fungos nativos tenham atingido taxas de colonização equivalentes as do MAC, estes foram pouco efetivos para soja. Conclui-se que a combinação entre pequenas doses de P aplicado ao solo com a inoculação com *G. macrocarpum* pode maximizar o crescimento e acúmulo de N pela soja em solos sob cerrado.

Termos para indexação: *Glycine max*, solos, fungos, *Glomus macrocarpum*.

## EFFECT OF VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZAE ON GROWTH NODULATION AND N ACCUMULATION BY SOYBEAN

**ABSTRACT** - The effect of vesicular arbuscular mycorrhizae on growth, nodulation and N accumulation by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) was studied in a Dard Red Latosol amended with increasing amount of super phosphate. Doses equivalent to 0 ppm, 15 ppm, 30 ppm, 60 ppm, 120 ppm and 240 ppm of  $P_2O_5$  were applied to soil fumigated with Bromex (FUM), fumigated and infested with *Glomus macrocarpum* (MAC) and a non treated soil (SN). The added P and the soil treatments affected significantly all the variables evaluated. The effect of P was greater in plants colonized by *G. macrocarpum*. This effect was maximum when 60 ppm and 120 ppm of  $P_2O_5$  were applied and decreased thereafter. When 60 ppm of  $P_2O_5$  were applied, N accumulation in plants with MAC was twice as greater as in control plants with no mycorrhiza. Root colonization rates were maximum for  $P_2O_5$  levels of 15 ppm and 30 ppm. Although the colonization rates by the native fungi reached the same level of those of MAC, the latter exhibited low effectiveness to soybean. It is concluded that application of low amounts of P combined with inoculation of *G. macrocarpum* can maximize growth and N accumulation by soybean growing in cerrado soil.

Index terms: *Glycine max*, soils, fungi, *Glomus macrocarpum*.

## INTRODUÇÃO

A grande maioria das plantas que nodulam e fixam o nitrogênio atmosférico, formam associações micorrízicas. Isto é de grande importância ecológica e agrônômica, pois a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio (FBN) dependem de

um adequado balanço nutricional na planta hospedeira, especialmente do fósforo (P). Uma vez que plantas micorrizadas absorvem maiores quantidades de P do solo, a micorrização pode beneficiar o processo de FBN, e as plantas noduladas e micorrizadas estarão melhor adaptadas para enfrentar as situações de deficiências nutricionais existentes nos solos sob cerrado (Lopes & Siqueira 1981). Em condições de extrema deficiência de P, algumas leguminosas como o siratro, não nodulam a menos que suas raízes sejam colonizadas por fungos formadores de micorrizas vesicular-arbusculares (MVA) ou adubadas com elevadas doses de P (Lopes et al. 1980, Mosse 1981).

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 23 de junho de 1986. Trabalho financiado pela FINEP e apresentado na I Reunião sobre Micorrizas, Lavras, 11 a 14 de novembro de 1985.

<sup>2</sup> Eng. - Agr., Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), Dep. de Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200 Lavras, MG. Bolsista do CNPq.

<sup>3</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Adj., ESAL, Dep. de Ciência do Solo Bolsista do CNPq.

A natureza dos efeitos do P na simbiose leguminosa-rizobio-MVA não é bem entendida, mas evidências indicam que o efeito benéfico das MVA sobre a FBN é conseqüente ao melhor estado nutricional da planta micorrizada (Smith et al. 1979, Asimi et al. 1980, Bethlenfalvay & Yoder 1981, Robson et al. 1981), pois a atividade da nitrogenase é dependente de ATP e fonte redutora, que são processos que possuem elevado requerimento de P. Assim, a presença de P disponível no solo é condição essencial para as leguminosas, pois conforme discutido por Siqueira (1983), Barea & Azcon-Aguillar (1983), este nutriente além de afetar o desenvolvimento da planta e a micorrização, afeta a nodulação e a FBN. Quantidades elevadas de P disponível no solo inibem a colonização das raízes, a dependência do hospedeiro ao micotrofismo e a esporulação dos fungos formadores de MVA (Menge et al. 1978, 1982, Siqueira et al. 1984). Em condições de deficiência, o aumento na absorção de P pelas plantas é a resposta mais evidente proporcionada pela micorrização e isto altera outros processos fisiológicos da planta, trazendo grandes benefícios para o desenvolvimento, nodulação e a capacidade de fixar N das leguminosas (Mosse 1981).

Estudou-se os efeitos de MVA e adubação fosfatada sobre o crescimento, nodulação e nutrição da soja em solo virgem sob cerrado. No presente trabalho são apresentados os efeitos destes fatores sobre o crescimento vegetativo, nodulação e acúmulo de nitrogênio na soja.

#### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, sendo utilizado material de solo coletado na camada de 0 cm - 20 cm de profundidade, em uma unidade de Latossolo Vermelho-Escuro (LE), fase cerrado virgem. Amostras analisadas apresentaram as seguintes características: textura muito argilosa; pH em água (1:1) = 5,4; Al = 0,2 meq/100 ml; Ca + Mg = 0,6 meq/100 ml; P e K extraídos com HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N = traços e 58 ppm respectivamente. Realizou-se calagem adicionando 2,7 g de CaCO<sub>3</sub> puro para cada vaso com 1,8 kg de solo incubados com umidade a 60% do VTP conforme Freire et al. (1980). A quantidade de calcário foi determinada para se elevar o pH para a faixa de 5,7 a 6,0 através de incubação prévia do solo em copos plásticos. Após a calagem, o solo apresentou as seguintes características: pH (água) = 5,7; Al = 0,1 meq/100 ml; Ca + Mg = 3,1 meq/

100 ml; K = 61 ppm; P = 1 ppm; matéria orgânica = 2,62%. Subamostras deste solo foram tratadas de modo a constituir três tratamentos, sendo: solo natural não fumigado (SN), solo fumigado com Bromex, 10 cc/100 kg solo (FUM), solo fumigado e inoculado com o fungo micorrízico *Glomus macrocarpum* Gerdemann & Trappe (MAC). A cada um destes tratamentos foram aplicados seis níveis de fósforo na forma de superfosfato simples, equivalente a 0 ppm, 15 ppm, 30 ppm, 60 ppm 120 ppm e 240 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> antes do plantio. Os tratamentos foram delineados inteiramente casualizados em esquema fatorial 3 x 6 com cinco repetições.

A variedade de soja utilizada foi a IAC-8, utilizando-se sementes inoculadas via líquida com *Rhizobium japonicum*, usando uma suspensão de inóculo comercial, colocando-se cinco sementes por vaso, e o inóculo de *G. macrocarpum* proveniente de cultura estoque de *Braquiaria decumbens* Stapf. Prain tendo como substrato vermiculita e material de solo, na proporção de 3:1. A inoculação micorrízica foi feita abrindo-se pequenos furos com espátula e colocando 5 g por vaso de inóculo (raízes + hifas e 390 clamidospores de *G. macrocarpum*). Nos tratamentos não inoculados (FUM e SN) aplicou-se o mesmo inóculo, porém autoclavado durante 30 minutos por duas vezes. Aplicou-se 10 ml de filtrado de solo isento de propágulos de MVA, para reposição da microbiota natural do solo fumigado.

Após a germinação realizou-se um desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. A cada quinze dias aplicou-se por vaso 10 ml de solução de Hoagland sem N e sem P (Hoagland & Arnon 1950).

Sessenta dias após o cultivo, foi realizada a colheita do experimento. As raízes foram retiradas por peneiragem, retirando amostra de 0,5 g de raízes/vaso para avaliação da colonização radicular e estimativa do comprimento de raízes, conforme metodologia empregada por Phillips & Hayman (1970) e Giovannetti & Mosse (1980). Após as raízes terem sido lavadas, foram retirados os nódulos, sendo estes contados e classificados por tamanho, sendo considerados pequenos os nódulos até 2 mm, médios de 2 mm a 4 mm e grandes os maiores que 4 mm de diâmetro. Em seguida, foram pesados e depois de secos em estufa com circulação de ar, a 60°C-65°C até peso constante, determinando o peso seco.

A parte aérea e raízes foram pesadas e depois secas em estufa, determinando-se o peso seco. Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Willey, provido de peneira de aço inoxidável com 20 malhas por polegada e acondicionados em frascos de vidro identificados para determinação da concentração de N pelo método de Kjeldhal conforme Sarruge & Haag (1974) e N total calculado com base nos teores de N e produção de matéria seca.

Foram retiradas de cada vaso amostras de solo para análises químicas de rotina e para extração e contagem de esporos. A extração foi feita de acordo com Gerdemann & Nicolson (1963).

Realizou-se a análise estatística de acordo com programas em uso no Centro de Processamento de Dados da ESAL, usando-se a transformação de  $y = \arcsen \sqrt{x/100}$  para percentagem e  $y = \sqrt{t + 0,5}$  para dados de contagens, onde  $y =$  dado transformado;  $x$  e  $t$  dados originais correspondentes a contagens e percentagens respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Aspectos vegetativos da planta

Tanto a adição de superfosfato simples (P) como os tratamentos de solo influenciaram significativamente os parâmetros vegetativos avaliados (Tabela 1).

As plantas não micorrizadas (tratamento FUM) só apresentaram respostas significativas para os parâmetros vegetativos quando a aplicação de P no solo foi de 240 ppm de  $P_2O_5$ , o mesmo não

sendo observado para as plantas micorrizadas. Plantas colonizadas por *G. macrocarpum* (MAC) apresentaram respostas significativas nas doses mais baixas de  $P_2O_5$  (15 ppm e 30 ppm), sendo esta resposta crescente com a elevação da dose de P aplicado. A resposta a P das plantas colonizadas pelos fungos nativos (solo natural - SN) foi semelhante a verificado no tratamento MAC, porém menos acentuada. A inoculação com *G. macrocarpum* fez com que as plantas atingissem o máximo de crescimento em doses de P bem mais baixas, quando comparado com os outros dois tratamentos, indicando o potencial deste fungo para reduzir o requerimento externo de P pela soja crescendo em condições de deficiência deste nutriente. Observando-se a produção de matéria seca e flores que são parâmetros relacionados com produção, verifica-se que

TABELA 1. Efeito da micorrização sobre o desenvolvimento vegetativo da soja com doses crescentes de superfosfato simples.

Solo*	$P_2O_5$ aplicado	Altura planta	Flores/ vaso	Peso fresco		Peso seco		Raiz/ P. aérea	Comprimento raízes
				P. aérea	Raízes	P. aérea	Raízes		
	ppm	cm	ud	g	g	g	g	—	m/vaso
FUM	0	33,2	15,60	7,63	15,00	2,10	1,24	0,59	47,33
	15	38,8	22,80	11,99	17,90	3,41	1,66	0,48	49,57
	30	36,4	23,00	12,78	16,10	3,38	1,77	0,52	58,70
	60	37,2	20,40	11,26	17,20	3,13	2,01	0,62	67,95
	120	37,2	24,80	13,22	17,70	3,42	1,87	0,54	66,02
	240	49,4	41,40	21,70	22,60	6,22	2,51	0,39	90,54
MAC	0	37,4	18,80	10,45	15,20	2,78	1,61	0,58	51,99
	15	45,2	33,80	20,86	21,80	5,98	2,80	0,46	76,04
	30	45,8	33,60	24,56	23,90	6,77	2,74	0,40	87,37
	60	51,0	45,20	36,73	26,50	10,53	3,64	0,34	149,25
	120	55,8	48,00	44,82	30,20	12,91	4,26	0,33	150,49
	240	57,0	47,40	50,93	30,90	14,73	4,57	0,32	131,91
SN	0	30,8	12,20	7,69	14,60	2,10	1,44	0,69	47,55
	15	38,4	25,00	12,09	18,00	3,48	2,23	0,65	62,74
	30	37,4	20,60	11,89	21,60	3,61	3,35	0,93	58,69
	60	42,2	31,80	14,53	19,90	4,25	2,85	0,67	81,60
	120	46,4	38,60	20,08	26,10	6,05	3,79	0,63	84,76
	240	47,8	47,20	23,99	26,40	7,56	4,53	0,60	115,97
Tukey (5%)	$P_2O_5$	7,9	13,00	6,96	6,53	2,14	1,19	0,19	41,16
	Solo	3,3	10,65	5,69	5,33	1,75	0,98	0,16	33,62
Signif. inter. (%)		2,10	1,04	0,00	2,82	0,00	0,59	0,07	0,10

\* FUM - solo fumigado com bromex.

MAC - fumigado e infestado com *G. macrocarpum*.

SN - solo natural não tratado.

plantas com MAC na presença de 60 ppm de  $P_2O_5$ , apresentaram valores superiores aos daquelas plantas não colonizadas (FUM) ou colonizadas por fungos nativos (SN) com 240 ppm de  $P_2O_5$ . Conforme já apontado por Lopes & Siqueira (1981), se este mecanismo operar com a mesma magnitude em condições de campo, representaria uma economia considerável para a agricultura na região dos cerrados, onde o P representa um alto investimento inicial para o sucesso da exploração agrícola destes solos.

Outro aspecto interessante é a produção de raízes. A inoculação com *G. macrocarpum* em combinação com P aumentou o desenvolvimento do sistema radicular a julgar pela produção de matéria fresca, seca e comprimento total das raízes e apresentaram menor relação raiz/parte aérea (Tabela 1). Plantas com mais raízes exploram melhor o solo em termos de nutrientes e água, fato de grande relevância para os solos sob cerrado. Assim, é evidente um efeito somativo do P e da micorrização para o desenvolvimento da soja, havendo, entretanto, uma diminuição da dependência da planta ao micotrofismo a partir de 120 ppm de  $P_2O_5$  aplicado ao solo.

#### Nodulação e acúmulo de nitrogênio

Nas plantas inoculadas com *G. macrocarpum* houve aumento na nodulação a partir da dose de 15 ppm de  $P_2O_5$ , aumentando linearmente até a dose máxima estudada, enquanto que no tratamento SN o P teve efeito quando aplicado em doses iguais ou superiores a 60 ppm de  $P_2O_5$  (Tabela 2). Nas plantas do tratamento FUM (sem micorrizas) apenas a dose de 240 ppm de  $P_2O_5$  mostrou resposta significativa no número e não se observou respostas para peso fresco ou seco de nódulos.

Foi verificada alta correlação entre produção de matéria seca e peso seco ( $r = 0,94^{**}$ ) e número ( $r = 0,91^{**}$ ) de nódulos, respectivamente, sendo ambos os coeficientes altamente significativos. Os dados mostraram também que a quantidade de N acumulada foi altamente correlacionada com estes dois parâmetros da nodulação, com valores de coeficientes iguais a  $0,90^{**}$  e  $0,94^{**}$  para peso seco e número de nódulos. As plantas do tratamento SN apresentaram o mesmo número de nódulos que as do tratamento FUM, entretanto, o peso fresco e

seco de nódulos foi superior no SN, mostrando certo benefício da população nativa de fungos micorrízicos para a nodulação da soja.

A aplicação de P aumentou o número de nódulos por massa e comprimento total de raízes sendo este efeito mais acentuado no tratamento MAC. Plantas crescidas no solo natural não mostram respostas significativas a estas relações para doses de P. Isto se deve ao maior desenvolvimento do sistema radicular da soja no tratamento SN.

A aplicação de  $P_2O_5$  mostrou efeito quadrático sobre o número de nódulos por 100 m de raiz, sendo que as equações com melhores ajustes apresentaram valores de  $r^2$  iguais a 0,97; 0,83 e 0,81 para os tratamentos MAC, FUM e SN respectivamente.

A distribuição relativa dos nódulos por classes de tamanho (Fig. 1) mostra uma tendência de predominância de nódulos classificados como médios em todos os tratamentos. Nos tratamentos SN e FUM, nódulos grandes ocorreram apenas a partir de 60 ppm e 120 ppm de  $P_2O_5$ , respectivamente, enquanto que no tratamento MAC com 15 ppm de  $P_2O_5$  quase a metade dos nódulos eram grandes. Tanto a aplicação de P quanto a micorrização afetaram quantitativa e qualitativamente a nodulação da soja em solo sob cerrado.

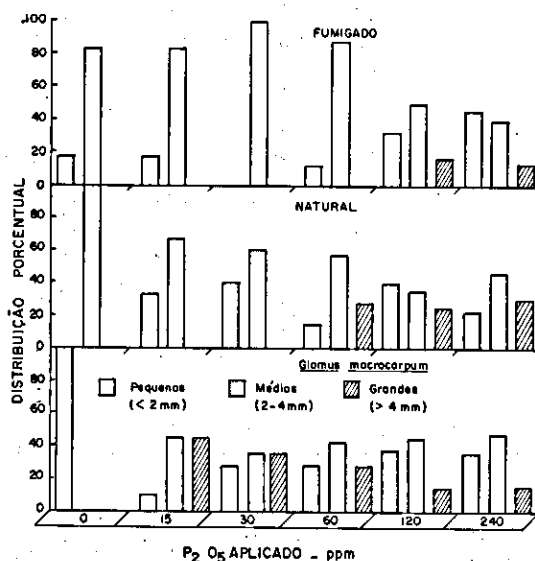


FIG. 1. Efeito da micorrização e superfosfato simples sobre a distribuição dos nódulos por classe de tamanho.

TABELA 2. Efeito da micorrização sobre a nodulação e acúmulo de N pela soja em solo com diferentes doses de super-fosfato simples.

Solo*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> aplicado	Nódulos/ vaso**	Peso		Nódulos/ g raiz	Nódulos/ 100 m raiz	Nitrogênio	
			Fresco	Seco			Teor	Acumulado
	ppm	ud	g	g	ud	ud	(%)***	mg/vaso
FUM	0	2,30	0,09	0,005	4,31	10,19	11,80	141,40
	15	2,43	0,15	0,005	3,43	12,50	11,65	205,85
	30	1,68	0,06	0,006	1,39	5,01	11,34	194,43
	60	3,01	0,18	0,016	4,45	46,85	11,12	175,50
	120	2,40	0,19	0,010	3,06	8,27	11,65	214,44
	240	6,22	0,40	0,088	18,97	80,73	9,78	247,62
MAC	0	1,78	0,04	0,012	1,66	5,57	11,54	174,67
	15	3,42	0,20	0,050	4,72	17,21	9,68	246,34
	30	4,98	0,35	0,100	9,03	28,57	9,93	280,94
	60	12,43	1,26	0,304	43,38	105,46	9,11	354,67
	120	13,51	2,91	0,602	44,24	132,90	9,23	440,52
	240	15,02	4,10	0,814	52,40	187,38	8,74	446,01
SN	0	1,09	0,01	0,004	0,54	1,54	11,09	130,82
	15	1,92	0,05	0,014	1,75	9,57	9,61	157,01
	30	2,20	0,05	0,012	1,32	8,45	8,98	167,82
	60	2,64	0,15	0,024	2,69	8,14	8,76	161,79
	120	4,65	0,45	0,110	6,61	28,99	8,22	201,08
	240	5,02	0,86	0,324	5,51	22,41	7,80	221,74
Tukey (5%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,72	0,72	0,180	15,44	72,20	1,02	70,80
	Solo	2,23	0,59	0,140	12,61	58,98	0,83	57,84
Signif. inter. (%)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,011	0,000

\* FUM - solo fumigado com bromex.

MAC - fumigado e infestado com *G. macrocarpum*.

SN - solo natural não tratado.

\*\* Transformação -  $y = \sqrt{t + 0,05}$ \*\*\* Transformação -  $y = \text{arc sen } \sqrt{x/100}$ 

As concentrações e as quantidades de N acumuladas na planta são apresentadas na Tabela 2. A percentagem de N diminuiu com a elevação das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sendo este efeito menos acentuado no tratamento FUM. Isto, aparentemente, deve-se ao maior desenvolvimento vegetativo das plantas em consequência da aplicação de P e/ou micorrização. Entretanto, o N total aumentou linearmente com a elevação do P aplicado, sendo este efeito maior no tratamento MAC. O N total acumulado mostrou alta correlação com o número ( $r = 0,94^{**}$ ) e peso dos nódulos ( $r = 0,90^{**}$ ) e com a percentagem de P na planta ( $r = 0,85^{**}$ ).

Considerando que tanto a aplicação de P quanto a micorrização influenciaram a nodulação,

tornam-se evidente os efeitos benéficos do P na tripla simbiose leguminosa-rizobio-MVA e sua relação com o crescimento e nutrição da soja em solos deficientes em N e P como os sob cerrado. Este efeito é evidente na Fig. 2, onde são apresentados os aumentos relativos nas quantidades de N acumulado na soja colonizada pelo fungo *G. macrocarpum* e fungos nativos do solo em estudo.

O benefício da inoculação com *G. macrocarpum* aumentou linearmente quando se aplicou doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> até 60 ppm, quando se observou um aumento de 100% no acúmulo de N, em relação a plantas não micorrizadas. Em doses superiores a 120 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> verificou-se um decréscimo no benefício do fungo micorrízico. O efeito somativo

do P e *G. macrocarpum* é máximo para doses entre 60 ppm e 120 ppm de  $P_2O_5$  aplicado. A população de fungos nativos do solo mostrou-se pouco efetiva em aumentar a quantidade de N na planta. Seu benefício máximo obtido com 15 ppm de  $P_2O_5$  foi igual ao mínimo obtido com MAC.

### Colonização micorrízica e esporulação

Na avaliação da colonização micorrízica das plantas inoculadas com *G. macrocarpum* e colonizadas pelos fungos nativos foram verificadas infecções com vesículas e abundância de arbúsculos. A população nativa era dominada por *Acaulospora mellea*, *Acaulospora scrobiculata* e *Acaulospora morrowae* apresentando um total de 25 esporos/30 ml de solo. As taxas de colonização radicular na época da colheita do experimento foram da mesma ordem para os dois tratamentos com excessão do tratamento MAC com 0 ppm e 15 ppm de  $P_2O_5$  aplicado, que mostrou duas vezes mais colonização que o tratamento SN (Tabela 3).

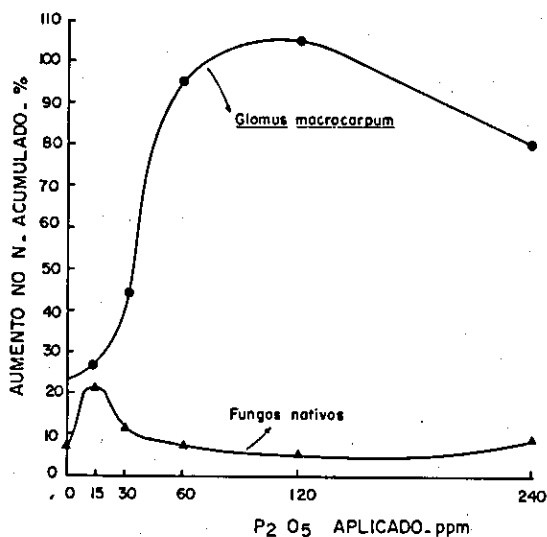


FIG. 2. Influência da colonização das raízes de soja por *Glomus macrocarpum* e fungos nativos no acúmulo relativo de N na planta.

$$\text{Porcentagem de aumento} = 100 \times \left[ \frac{\text{N-acumulado na planta micorrizada}}{\text{N-acumulado na planta não micorrizada}} - 1 \right]$$

TABELA 3. Efeito da aplicação de superfosfato simples ao solo sobre a micorrização da soja por *Glomus macrocarpum* e fungos nativos.

Tratamento	P aplicado ppm $P_2O_5$	Colonização		Esporos	
		(%)*	g/vaso	Número/ vaso**	Número/g raiz colonizada
Fungos nativos (SN)	0	7,75	0,29	21,08	1.412
	15	14,93	1,22	38,02	1.653
	30	23,12	3,27	42,63	588
	60	18,52	2,09	30,62	605
	120	14,53	1,60	29,54	570
	240	14,48	1,68	27,37	495
<i>Glomus macrocarpum</i>	0	15,83	1,13	73,53	4.979
	15	28,93	5,37	120,01	3.106
	30	23,25	3,74	95,04	2.483
	60	17,91	2,53	79,28	2.572
	120	17,68	2,78	76,82	2.178
	240	15,35	2,18	71,85	2.504
Tukey (5%) $P_2O_5$		5,90	0,74	14,99	1.624
Solo		4,01	0,34	10,19	1.104
Signif. inter. (%)		0,001	0,02	0,004	11,58

\* Transformação  $y = \arcsen \sqrt{x/100}$

\*\* Transformação  $y = \sqrt{t + 0,5}$

A colonização foi influenciada pela aplicação de P. Tanto a percentagem de colonização, quanto a quantidade de raízes colonizadas apresentaram valores máximos nas doses de 15 ppm e 30 ppm de  $P_2O_5$  para os tratamentos MAC e SN, respectivamente, diminuindo em doses mais elevadas. Evidenciando que, em solos muito deficientes em P, a aplicação de pequenas doses deste nutriente pode favorecer o estabelecimento da simbiose micorrízica e que doses elevadas inibem a micorrização. Análise de correlação indica que a colonização radicular não teve influência da massa ou comprimento de raízes, indicando que a redução na colonização seja mediada pela nutrição fosfatada conforme discutido por Siqueira et al. (1984).

Não foi verificada nenhuma relação entre os parâmetros de colonização com crescimento e nodulação. Isto provavelmente se deve ao fato de a colonização ter sido avaliada no final do experimento enquanto que a resposta da planta à micorrização tenha se iniciado logo após o estabelecimento da simbiose micorrízica. A falta de resposta em crescimento das plantas colonizadas pelos fungos nativos, que atingiram taxas de colonização próximas as do MAC, poderia ser explicada pela incapacidade da população nativa em atingir níveis de colonização suficientes para causar respostas no início do desenvolvimento das plantas. Entretanto, estudos posteriores conduzidos pelos autores indicam a baixa efetividade destes fungos para a soja.

Foi verificada alta correlação entre o número de esporos e a quantidade de raiz colonizada ( $r = 0,81^{**}$ ), enquanto que a eficiência de esporulação estimada pelo número de esporos/g de raiz colonizada decresceu com a aplicação de P. A esporulação do MAC foi muito superior a dos fungos nativos, embora os níveis de colonização final tenham sido semelhantes. Será isto uma característica das espécies envolvidas ou das condições ambiente?

### CONCLUSÕES

1. Tanto a adubação fosfatada quanto a presença de MVA influenciaram significativamente o crescimento, a nodulação e a quantidade de N acumulado pela soja crescendo em solo virgem sob cerrado.

2. O fungo *Glomus macrocarpum* apresentou elevada efetividade simbiótica para a soja, enquanto que os nativos foram pouco efetivos.

3. A maximização dos benefícios do *G. macrocarpum* para a soja foi obtida quando se aplicou entre 60 ppm a 120 ppm de  $P_2O_5$  na forma de superfosfato simples.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao prof. Ruben Delly Veiga, a orientação nas análises estatísticas, e à pesquisadora Elizabeth de Oliveira, a classificação das espécies fúngicas nativas do solo em estudo.

### REFERÊNCIAS

- ASIMI, S.; GIANINAZZI-PEARSON, V.; GIANINAZZI, S. Influence of increasing soil phosphorus levels on interactions between vesicular-arbuscular mycorrhizal and *Rhizobium* in soybeans. *Can. J. Bot.*, 58: 2200-5, 1980.
- BAREA, J.M. & AZCÓN-AGUILAR, C. Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. *Adv. Agron.*, 36:1-54, 1983.
- BETHLENFALVAY, G.J. & YODER, F. The *Glycine-Glomus-Rhizobium* symbioses. I. Phosphorus effect on nitrogen fixation and mycorrhizal infection. *Physiol. Plant.*, 52:141-5, 1981.
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. de. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). *R. bras. Ci. Solo*, 4:5-8, 1980.
- GERDEMANN, J.W. & NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 46:235-46, 1963.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84:489-500, 1980.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, O.I. The water-culture method for growing plants without soils. Berkeley, California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Circular, 37)
- LOPES, E.S.; OLIVEIRA, E.; NEPTUNE, A.M.L. Efeito de espécies de micorrizas vesicular-arbusculares no siratro (*Macroptilium atropurpureum*). *Bragantia*, 39:241-5, 1980.
- LOPES, E.S. & SIQUEIRA, J.O. Vesicular-arbuscular mycorrhizas; their potential in phosphate nutrition in tropical regions. In: RUSSELL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R., ed. The soil/root system in relation to Brazilian agriculture. Londrina, IAPAR, 1981. p.225-42.

- MENGE, J.A.; JARRELL, W.M.; LABANAUSKAS, C. K.; OJALA, J.C.; HUSZAR, C.; JOHNSON, E.L.; SILBERT, D. Predicting mycorrhizal dependence of Troyer citrange on *Glomus fasciculatus* in California citrus soils and nurse mixtures. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:762-8, 1982.
- MENGE, J.A.; STEIRLE, D.; BAGYARAJ, D.J.; JOHNSON, E.L.V.; LEONARD, R.T. Phosphorus concentrations in plant responsible for inhibition of mycorrhizal infection. *New Phytol.*, 80:575-8, 1978.
- MOSSE, B. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Hawaii, Institute for Tropical Agriculture and Human Resources, 1981. 82p. (Research bulletin, 194)
- PHILLIPS, J.M. & HAYMAN, D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55:158-61, 1970.
- ROBSON, A.D.; O'HARA, G.W.; ABBOTT, L.K. Involvement of phosphorus in nitrogen fixation by subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). *Aust. J. Plant Physiol.*, 8:427-36, 1981.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
- SIQUEIRA, J.O. Nutritional and edaphic factors affecting spore germination, germ tube growth and root colonization by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Gainesville, University of Florida, 1983. Tese Doutorado.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, O.H.; VALLE, R.R. Effects of phosphorus on formation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Pesq. agropec. bras.*, 19(12):1465-74, 1984.
- SMITH, S.E.; NICHOLAS, D.J.D.; SMITH, F.A. Effect of early mycorrhizal infection on nodulation and nitrogen fixation in *Trifolium subterraneum* L. *Aust. J. Plant Physiol.*, 6:305-11, 1979.