

COMISSÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

EFEITO DA MICORRIZA VESICULOARBUSCULAR NO CRESCIMENTO DE VARIEDADES DE TRIGO SENSÍVEL E TOLERANTE AO ALUMÍNIO, EM SOLO DE CERRADO⁽¹⁾

L. H. B. da SILVA⁽²⁾, J. C. C. de MIRANDA⁽³⁾ & L. N. de MIRANDA⁽³⁾

RESUMO

A elevada acidez e a alta saturação por alumínio nos solos de Cerrado têm limitado a obtenção de boa produtividade das plantas cultivadas. Entretanto, as espécies e variedades de plantas diferem quanto ao grau de sensibilidade à toxicidade do alumínio. Tem sido observado, também, que as plantas podem utilizar o fósforo para contrabalançar o efeito do alumínio. Neste caso, o uso da micorriza que aumenta a absorção do fósforo pelas plantas poderia contribuir para minimizar os efeitos do alumínio. Este trabalho teve como objetivo estudar os efeitos da micorriza no crescimento de variedades de trigo sensível e tolerante ao alumínio, em solo ácido de Cerrado. O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, em 1993, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA), utilizando-se amostra de solo esterilizada a vapor, da camada arável de um latossolo vermelho-escuro. O solo recebeu as doses de 1,0, 2,2 e 4,5 t/ha de calcário, para elevar a saturação por bases para 12,5, 25 e 50% respectivamente. Foram cultivadas duas variedades de trigo, uma sensível (Anahuac) e outra tolerante (IAC-5) ao alumínio, por 45 dias. As plantas foram inoculadas e não inoculadas com o fungo micorrízico VA *Glomus* sp. CPAC-4 nativo em solos de Cerrado. O peso de matéria seca da parte aérea e o teor de fósforo no tecido das plantas indicam que ambas as variedades responderam à inoculação, em todos os níveis de calcário, exceto a variedade sensível na menor dose de calcário, onde seu crescimento foi muito pequeno. A produção de matéria seca da variedade sensível inoculada, na dose de calcário de 2,2 t/ha, foi semelhante à produção obtida pelas duas variedades não inoculadas, na dose de 4,5 t/ha, evidenciando o efeito da micorriza no desempenho da variedade sensível em presença do alumínio. Na dose mais alta de calcário, a inoculação da variedade tolerante causou um aumento significativo da matéria seca produzida, superando também a obtida pela variedade sensível inoculada. A taxa de transferência do fósforo da raiz para a parte aérea foi maior nos tratamentos inoculados. Os dados mostram que ambas as variedades, sensível e tolerante, se beneficiaram da micorriza para absorver o fósforo do solo e se sobrepôr ao efeito tóxico do alumínio.

Termos de indexação: micorriza, tolerância ao alumínio, trigo, solo de Cerrado, toxicidade de alumínio

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no XXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, em Goiânia (GO), 25-31 de julho de 1993. Recebido para publicação em outubro de 1993 e aprovado em agosto de 1994.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, estagiário em Microbiologia do Solo - Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), EMBRAPA. Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF).

⁽³⁾ Pesquisador do CPAC, EMBRAPA. Caixa Postal 08223, CEP 73301-970 Planaltina (DF).

SUMMARY: EFFECT OF VESICULAR-ARBUSCULAR MYCORRHIZA IN THE GROWTH OF WHEAT VARIETIES WITH DIFFERING ALUMINUM TOLERANCE, IN CERRADO SOIL

The high soil acidity and high aluminum saturation has been limiting the productivity of cultivated plants in Cerrado's soils. However, there is a difference in the degree of sensitivity to aluminum among plant species and varieties. Also, it was observed that plants can use phosphate to overcome the toxicity of aluminum in the soil. Then, the use of mycorrhiza, which enhances phosphorus absorption by plants, could help to minimize the effects of aluminum. Therefore, the objective of this work was to study the effects of VA mycorrhiza on the growth of wheat plants, sensitive and tolerant to aluminum, in an acid Cerrado soil. The experiment, which took place in 1993 in the Cerrado's Research Center (EMBRAPA), was carried out in a greenhouse with steam-sterilized soil from a Dark Red Latosol plot. It was applied the levels of 1.0; 2.2 and 4.5 t/ha of lime to raise the soil base saturation to 12.5%, 25% and 50%, respectively. Two wheat varieties, one sensitive (Anahuac) and other tolerant (IAC-5) to aluminum, were cultivated for 45 days. The plants were inoculated and not inoculated with the VA mycorrhizal fungus Glomus sp. CPAC-4, native from Cerrado soils. Both varieties responded to inoculation with an increase in shoot dry weight and phosphorus content, except the sensitive variety at the lowest lime level where its growth was very small. At the lime level of 2.2 t/ha the shoot dry matter of the inoculated sensitive variety was similar to those produced by the two not inoculated varieties at the lime level of 4.5 t/ha. This result shows the effect of mycorrhiza in the growth of the sensitive variety in the presence of aluminum. At the highest lime level, the inoculation also promoted a significant increase in shoot dry matter mainly for the tolerant variety. The translocation of phosphorus from the roots to the shoots was also greater in the inoculated plants. The results indicate that both wheat varieties benefitted from mycorrhiza to absorb phosphorus from the soil and to overcome the effect of aluminum.

Index terms: mycorrhiza, aluminum tolerance, wheat, Cerrado's soil, aluminum toxicity.

INTRODUÇÃO

A presença de alumínio em níveis tóxicos é um fator limitante ao uso agrícola dos solos de Cerrado. A toxicidade desse elemento se caracteriza por acentuada redução no crescimento das raízes (Foy, 1974), interferindo na absorção dos nutrientes pela planta, como o fósforo. É freqüente a ocorrência de deficiência de fósforo na parte aérea de plantas afetadas pelo alumínio. Alguns autores, por exemplo, observaram que o aumento do teor de alumínio ao redor das raízes aumentou-lhes a concentração de fósforo (Bennet et al., 1986), sendo que a redução de translocação do fósforo para a parte aérea poderia ter contribuído para o aparecimento de sintomas de deficiência do nutriente (McLeod & Jackson, 1967).

Embora o alumínio afete todas as plantas cultivadas, estas diferem largamente em sua tolerância à toxicidade causada por esse elemento. Tais diferenças podem ocorrer entre espécies e mesmo entre variedades da mesma espécie (Foy, 1974; Foy & Brown, 1964). A tolerância ao alumínio tem sido vinculada, entre outros aspectos, à capacidade das plantas em absorver e translocar o fósforo da raiz para a parte aérea em presença do elemento (McLean & Chiasson, 1966; Miranda & Rowell, 1989). Por outro lado, a planta poderia utilizar o fósforo absorvido para contrabalançar o efeito do alumínio, translocando-o para os pontos de crescimento de raízes no solo, onde o alumínio é fator limitante (Miranda & Rowell, 1989; Rios & Pearson, 1964).

Considerando o papel desempenhado pelo fósforo no mecanismo de tolerância ao alumínio, o incremento de sua absorção por raízes de diferentes plantas

associadas a fungos micorrízicos (Koslowsky & Boerner, 1989; Cumming & Weinstein, 1990; Lambais & Cardoso, 1990; Siqueira et al., 1990) poderia ser benéfico no crescimento das plantas em presença do alumínio. Entretanto, variedades de plantas como, por exemplo, o trigo, tem apresentado diferenças quanto à dependência micorrízica (Azcón & Ocampo, 1981; Vierheilig & Ocampo, 1991) e, conseqüentemente, quanto à absorção de fósforo e crescimento das plantas. Segundo Hetrick et al. (1992), essas diferenças estariam relacionadas às características genéticas de cada variedade. Através de seus trabalhos com variedades de leucena sensível e tolerante ao alumínio, Maluf et al. (1988) observaram, por exemplo, um aumento da absorção de fósforo por ambas as variedades micorrizadas, em solo com alumínio tóxico. Neste trabalho, avaliou-se o efeito da micorriza vesículoarbuscular na tolerância de variedades de trigo à toxicidade do alumínio, em um solo ácido de Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, em 1993, no CPAC/EMBRAPA, Planaltina (DF), utilizando-se amostra superficial (0-20 cm) de um latossolo vermelho-escuro argiloso (Brasil, 1966), e cuja análise química inicial mostrou pH em água (1:2,5) = 4,8; pH em CaCl_2 10^{-2}M (1:2,5) = 3,7; 18,8 mmol $(1/3 \text{ Al}^{3+})/\text{kg}$, 2,5 mmol $(1/2 \text{ Ca}^{2+} + 1/2 \text{ Mg}^{2+})/\text{kg}$; 2,7 mg/dm^3 de P (Mehlich); 28,8 mg/dm^3 de K e saturação por bases (V%) = 3,09. O valor de $\text{H}+\text{Al} = 102 \text{ mmol } (\text{H}^+ + 1/3 \text{ Al}^{3+})/\text{kg}$ foi estimado com base no pH

SMP segundo Sousa et al. (1989). O solo foi peneirado (2 mm), esterilizado a vapor por duas horas, a uma temperatura média de 95°C, e seco ao ar.

Os tratamentos foram combinações de três doses de calcário e duas variedades de trigo, inoculadas e não inoculadas com um fungo endomicorrízico. Para cada tratamento, utilizaram-se três repetições, organizadas de forma inteiramente casualizada.

Calcularam-se as doses de calcário (1,0, 2,2, 4,5 t/ha) para elevar a saturação por bases do solo para 12,5, 25 e 50%, sendo a calagem feita com carbonato de cálcio e carbonato de magnésio misturados na proporção de 2:1 (em mmol/kg). Foram cultivadas as variedades de trigo Anahuac (sensível ao alumínio) e IAC-5 (tolerante ao alumínio). A espécie de fungo micorrízico VA utilizado foi a *Glomus* sp. CPAC-4, nativa em solos de Cerrado. O inoculante, obtido de culturas estoque com alho-poró, consistiu em 10g de solo contendo esporos, micélio e raízes da planta hospedeira. A análise do inoculante apresentou 31 esporos/gramas de solo, efetuando-se a recuperação dos esporos através da técnica modificada de peneiração úmida, decantação e centrifugação, segundo Coolen (1979).

Às porções de 1 kg de solo (base seca), adicionaram-se os carbonatos e, após homogeneização, deixou-se incubar por 30 dias com 23,2% de umidade, correspondente a 80% da capacidade de campo do solo. Após a incubação, cada porção recebeu uma adubação básica equivalente a 20 mg N (NH_4NO_3); 25 mg P [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$]; 150 mg K (K_2SO_4); 2 mg Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$); 0,5 mg B ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e 0,1 mg Mo [$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]. Todos os nutrientes foram aplicados ao solo na forma de solução e homogeneizados.

As sementes de trigo foram esterilizadas com hipoclorito de sódio (0,5% de cloro disponível), lavadas com água destilada e pré-germinadas em areia esterilizada. Aos quatro dias após a germinação, o inoculante foi introduzido no sulco de plantio a 5 cm de profundidade e, as plântulas, transplantadas para o solo, utilizando-se duas plântulas por vaso. Os tratamentos sem inoculação receberam 10 ml de um filtrado do inoculante 10 g do inóculo/100 ml água destilada e esterilizada, sem o fungo endomicorrízico. O experimento foi desenvolvido por 45 dias e o solo, mantido na capacidade de campo mediante pesagens e irrigações diárias com água destilada. Após duas semanas de crescimento, uma quantidade adicional de água, equivalente ao peso fresco das plantas, foi aplicada em cada vaso.

Ao final do período de cultivo, coletaram-se amostras de solo com raízes, cerca de 200 g, em todos os tratamentos, para determinação do número de esporos do fungo endomicorrízico no solo (Coolen, 1979) e do grau de colonização das raízes. Na avaliação da colonização radicular, utilizou-se o método da coloração das raízes com azul-de-tripano (Phillips & Hayman, 1970) e, na determinação, o método de intersecção segundo Giovannetti & Mosse (1980).

Na colheita, as plantas foram cortadas rente ao solo e as raízes separadas manualmente, lavadas com água destilada e secas em papel-toalha. Obteve-se o peso da parte aérea e das raízes frescas que, posteriormente, foram secas em estufa a 65°C para determinação do peso da matéria seca. Amostras da parte aérea e das raízes foram analisadas para os teores de fósforo e alumínio, no extrato obtido por digestão via úmida. O fósforo foi determinado por colorimetria (Murphy & Riley, 1962) e o alumínio por espectrofotometria de absorção atômica. Nos trata-

Quadro 1. Características químicas do solo após a colheita das duas variedades de trigo. Média de três repetições

Variedade	Calagem	Inoculação ⁽¹⁾	pH H ₂ O (1:2,5)	Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	P	K	V
	t/ha			— mmol/dm ³ —		— mg/dm ³ —		%
Anahuac	1,0	N	5,2	8,3	10,2	3,8	97	12
		I	4,9	9,3	10,9	3,9	88	12
	2,2	N	5,3	4,8	19,6	3,4	70	20
		I	5,2	5,7	21,8	2,8	86	22
	4,5	N	5,4	1,2	37,0	2,8	77	36
		I	5,4	1,2	39,0	2,5	58	32
IAC-5	1,0	N	5,2	8,5	10,7	3,7	90	12
		I	5,0	10,3	10,7	3,5	72	11
	2,2	N	5,3	5,3	21,3	2,9	88	21
		I	5,2	6,2	21,2	2,5	63	20
	4,5	N	5,4	1,0	39,0	2,5	67	36
		I	5,5	1,2	38,9	2,3	40	35

⁽¹⁾ I: inoculadas com o fungo endomicorrízico; N: não inoculadas.

mentos com a variedade sensível na dose de 1,0 t/ha de calcário, os teores desses nutrientes não puderam ser detectados pela análise.

Após a colheita, coletou-se, também, uma amostra de 100 g de solo por vaso para análise química, determinando-se o pH e os teores de alumínio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, de acordo com EMBRAPA (1979). A acidez potencial (H + Al) foi extraída com acetato de cálcio em pH 7,0 segundo Sousa et al. (1989), calculando-se, então, a saturação por bases do solo.

Os dados foram analisados estatisticamente pelos procedimentos do SAS (SAS Institute, 1989). As análises da variância, regressão e correlação foram executadas, e as médias, comparadas pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mediante os dados de análise química do solo após a colheita (Quadro 1), observa-se que, com as três doses de calcário, foram atingidos valores médios de saturação por bases no solo de 12, 21 e 35%. Embora não se tenham alcançado os valores programados de saturação por bases, a variação obtida, inclusive de pH e de Al trocável foi adequada aos objetivos do trabalho. Quanto aos teores de fósforo disponível no solo (extraído por Mehlich), situam-se dentro da faixa

em que tem sido observada melhor eficiência dos fungos micorrízicos para as plantas (Miranda et al., 1984).

Os dados sobre o desenvolvimento do fungo endomicorrízico no solo e nas plantas encontram-se no quadro 2. O fungo inoculado estabeleceu-se bem no solo, aumentando o número de esporos com os níveis de calagem para as duas variedades de trigo, assim como a colonização radicular. Esse efeito benéfico da calagem sobre a associação micorrízica tem sido demonstrado por vários autores como Mosse (1972) e Miranda (1992). Em condições de acidez, Siqueira et al. (1984) sugerem como principal fator inibitório do desenvolvimento do fungo endomicorrízico o aumento de disponibilidade do alumínio na solução do solo. Cumming & Weinstein (1990) observaram, no entanto, que as taxas de colonização radicular não foram afetadas pela presença do alumínio na rizosfera.

Em geral, a variedade tolerante apresentou uma colonização radicular superior à da variedade sensível. Essa variação na colonização radicular entre variedades de trigo tem sido identificada por diversos autores: Azcón & Ocampo (1981); Vierheilig & Ocampo (1991), e Hetrick et al. (1992), observando-se ainda que variedades com colonização radicular semelhantes podem apresentar dependência micorrízica diferente. Hetrick et al. (1992) sugerem que tais diferenças estariam relacionadas às características genéticas das variedades. Em relação à tolerância ao alumínio, as variedades com dependência micorrízica

Quadro 2. Número de esporos no solo (ESP), colonização radicular (CR), dependência micorrízica (DM), teor de fósforo na parte aérea (PA), e na raiz (PR), total absorvido (PT), taxa de transferência do fósforo (PPA/PR) e teor de alumínio na raiz (ALR) de plantas de trigo cultivadas em um latossolo vermelho-escuro argiloso, não inoculadas (N) e inoculadas (I) com o fungo endomicorrízico, *Glomus* sp. CPAC-4. Média de três repetições

Variedade	Cal.	Inoc.	Micorriza			P planta			PPA/PR	ALR
			ESP ⁽¹⁾	CR ⁽¹⁾	DM ⁽²⁾	PA	PR	PT		
	t/ha		nº/50g	%			mg/vaso			%
Anahuac (Sensível)	1,0	N	0f	0,0e	-	0,00d	0,00e	0,00f	0,0	0,00d
		I	79d	2,8d	11,7	0,00d	0,00e	0,00f	0,0	0,00d
	2,2	N	0f	0,0e	-	0,10c	0,07d	1,06e	3,3	1,14bc
		I	320c	66,8c	36,8	0,24a	0,11a	3,88b	6,5	1,74a
	4,5	N	0f	0,0e	-	0,16b	0,09bc	3,13c	5,0	1,52abc
		I	418b	71,3bc	18,5	0,18b	0,11a	4,58b	5,3	1,45abc
IAC-5 (Tolerante)	1,0	N	0f	0,0e	-	0,09c	0,09bc	0,57ef	1,4	1,48abc
		I	37e	7,8d	29,2	0,10c	0,08cd	0,80e	1,7	1,04c
	2,2	N	0f	0,0e	-	0,11c	0,08cd	2,00d	2,3	1,60ab
		I	538b	87,0a	25,7	0,17b	0,11a	4,03b	2,8	1,91a
	4,5	N	0f	0,0e	-	0,17b	0,08cd	3,16c	2,9	1,63ab
		I	1159a	81,3ab	28,4	0,19b	0,10ab	5,46a	3,6	1,84a
CV %			6	19	-	18	11	17	-	21

⁽¹⁾ Análise estatística com os dados transformados: ESP: $\log n^\circ/50g$; CR: $x = \arcsen (X/100)^{0,5}$.

⁽²⁾ $DM = \frac{(\text{Peso seco plantas inoculadas} - \text{Peso seco plantas não inoculadas})}{\text{Peso seco plantas inoculadas}} \times 100$.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

mais elevada absorveriam mais fósforo e teriam maiores possibilidades de neutralizar o alumínio em suas raízes, proporcionando, assim, maior crescimento das plantas. Neste trabalho, a variedade tolerante apresentou uma dependência micorrízica semelhante em todos os tratamentos, sendo maior do que a da variedade sensível no nível mais alto de calcário (Quadro 2). Entretanto, em condições ácidas (2,2 t/ha de calcário), a dependência micorrízica da variedade sensível aumentou em relação à da variedade tolerante.

Ambas as variedades aumentaram a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes em resposta à calagem - Figura 1 - e responderam positivamente à inoculação com o fungo endomicorrízico, exceto a variedade sensível, Anahuac, na menor dose de calcário, onde seu crescimento foi muito pequeno. A inoculação do fungo micorrízico permitiu produções de matéria seca da parte aérea, equivalentes nas duas variedades de trigo em condições ácidas.

Analisando os tratamentos de forma individualizada, observou-se que a inoculação na dose de 1 t/ha de calcário provocou redução do peso de matéria seca da parte aérea e das raízes da variedade sensível. Segundo Sieverding (1991), em condições muito adversas ao crescimento da planta, os fungos endomicorrízicos podem agir como parasitas e absorver os

fotossintatos produzidos pela planta hospedeira em detrimento desta. Miranda et al. (1989) observaram também o atrofiamento de plantas de sorgo inoculadas em solo com níveis muito baixos de fósforo.

Na dose de 2,2 t/ha de calcário a matéria seca das plantas inoculadas da variedade sensível foi semelhante à obtida pelas plantas não inoculadas de ambas as variedades na dose de 4,5 t/ha de calcário. Esses dados evidenciam o efeito da micorriza no desempenho da variedade sensível em presença do alumínio, aumentando a sua eficiência de absorção de fósforo. Este seria utilizado para neutralizar o alumínio nas raízes e para nutrir a planta e promover-lhe o crescimento. Foi observado um coeficiente de correlação ($r = 0,93^{**}$) altamente significativo entre o teor de fósforo e o de alumínio nas raízes. Miranda & Rowell (1989) associaram a tolerância do trigo à acidez do solo à habilidade das plantas em translocar fósforo para a parte aérea em presença de alumínio. No presente trabalho, a presença de maiores teores de alumínio e de fósforo nas raízes da maioria das plantas micorrizadas (Quadro 2 e Figura 2) indicam uma redução na translocação do alumínio para a parte aérea e o uso do fósforo para sua neutralização na raiz. Ainda, dados obtidos por Kleinschmidt & Gerdemann (1972) em citros e Maluf et al. (1988) em leucena indicaram menor concentração de alumínio na parte aérea dessa planta, quando inoculada com fungos endomicorrízicos.

Comparando-se as plantas não inoculadas (Figura 1), observou-se que as da variedade sensível Ana-

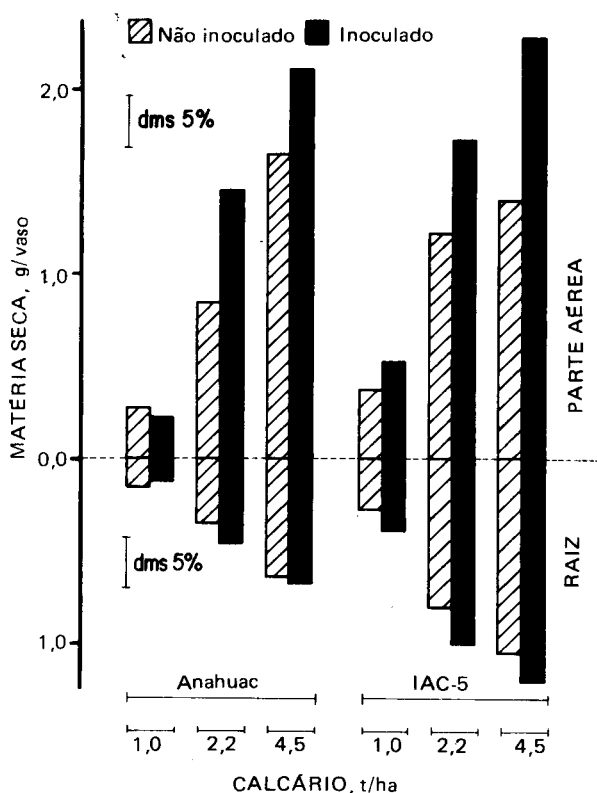


Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea e da raiz de plantas de trigo, sensível (Anahuac) e tolerante (IAC-5) ao alumínio, não inoculadas e inoculadas com o fungo endomicorrízico *Glomus* sp. CPAC-4. Média de três repetições; dms pelo teste de Duncan ao nível de 5% compara não inoculado com inoculado para todos tratamentos com as duas variedades.

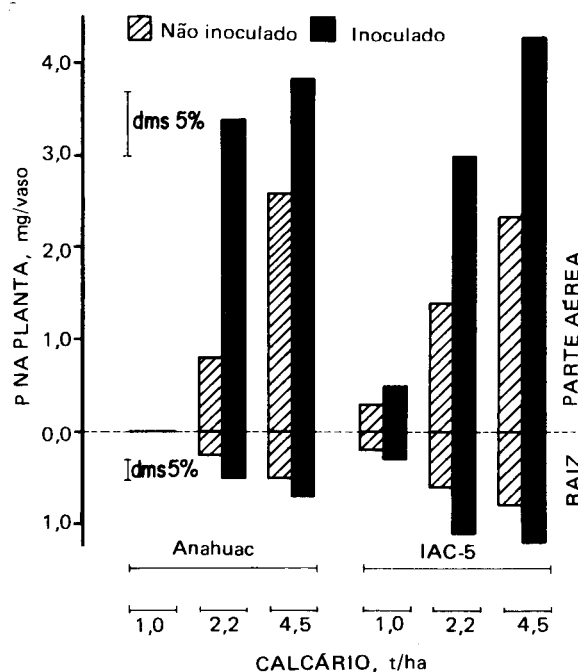


Figura 2. Teor de fósforo (P) na matéria seca da parte aérea e da raiz de plantas de trigo, sensível (Anahuac) e tolerante (IAC-5) ao alumínio, não inoculadas e inoculadas com o fungo endomicorrízico *Glomus* sp. CPAC-4. Média de três repetições; dms pelo teste de Duncan ao nível de 5% compara não inoculado com inoculado para todos tratamentos com as duas variedades.

huac apresentaram maior crescimento, na dose de 4,5 t/ha de calcário. Entretanto, com a inoculação, ambas aumentaram significativamente a produção de matéria seca da parte aérea. Esses dados sugerem que a variedade IAC-5 estaria com seu desenvolvimento limitado pelo teor de fósforo absorvido. Dessa maneira, além de beneficiar as duas variedades, a inoculação do fungo micorrízico permitiu que a variedade tolerante tivesse maior absorção de fósforo e, conseqüentemente, maior crescimento.

Quanto à produção de matéria seca das raízes (Figura 1), a variedade tolerante IAC-5 superou a variedade sensível em todos os tratamentos. O maior crescimento de raízes tem sido um parâmetro bastante utilizado para a caracterização de variedades mais tolerantes ao alumínio (Foy, 1977).

O teor de fósforo absorvido aumentou com as doses de calcário e com a inoculação em ambas as variedades (Quadro 2). As plantas micorrizadas apresentaram também maior concentração de fósforo por unidade de matéria seca produzida. Outros autores têm observado essa maior eficiência de absorção de P em plantas inoculadas com fungos endomicorrízicos (Hayman & Mosse, 1972; Menge et al., 1978; Miranda et al., 1984). Os dados mostram também que o teor de fósforo total foi maior para a variedade tolerante IAC-5. Adicionalmente - Quadro 2 - ocorreu, também, maior translocação do fósforo absorvido para a parte aérea das plantas micorrizadas.

Quanto ao teor de alumínio absorvido pelas plantas, não foi possível detectá-lo na parte aérea. Entretanto, observa-se seu aumento nas raízes das plantas não inoculadas, com as doses de calcário ao contrário do que ocorreu com os teores de Al trocável no solo (Quadro 1), os quais decresceram com a calagem. Neste caso, as plantas micorrizadas apresentaram uma tendência para absorver mais alumínio do que as não inoculadas. Dados semelhantes foram relatados por Anjos & Rowell (1987) em aveia e por Miranda & Rowell (1987) em trigo. Entretanto, o alumínio absorvido pode estar precipitado como fosfato de alumínio na superfície das raízes e, dessa forma, seria inofensivo para as plantas (Clarkson, 1967). Os dados de concentração do alumínio nas raízes mostram também maior teor do mesmo na variedade tolerante IAC-5.

No quadro 3, pode-se observar as relações entre os parâmetros da planta e os do fungo micorrízico. Quando se consideraram todos os tratamentos, tais relações foram pequenas e/ou não significativas. Quando se consideraram, porém, apenas os tratamentos inoculados, os coeficientes de correlação foram altamente significativos, vinculando o número de esporos e a colonização radicular à produção de matéria seca e ao teor de fósforo total absorvido pelas plantas. Esses dados evidenciam a contribuição da micorriza para a absorção do fósforo e crescimento das plantas de ambas as variedades. Dados semelhantes foram observados por Siqueira et al. (1990), em que as plantas micorrizadas produziram mais raízes e acumularam mais fósforo do que as não micorrizadas, especialmente em doses extremas de acidez ou de

calagem. Lambais & Cardoso (1990) também observaram uma correlação significativa entre a matéria seca produzida de *Stylosanthes guianensis* e a colonização radicular por fungos endomicorrízicos. No entanto, essa relação variou de acordo com a espécie de fungo endomicorrízico utilizado. Neste trabalho, é importante salientar também que quando se consideraram todos os tratamentos ou apenas os inoculados, o coeficiente de correlação entre a produção de matéria seca e o teor de fósforo absorvido foi praticamente o mesmo. Nos tratamentos inoculados, obteve-se também um coeficiente de correlação ($r = 0,90^{**}$) altamente significativo entre o número de esporos do fungo e a sua colonização radicular.

Quadro 3. Coeficientes de correlação entre matéria seca (MS) e teor de fósforo da parte aérea (PA) e das raízes (RA) de trigo e número de esporos no solo (ESP), colonização radicular (CR) e teor de fósforo na parte aérea ou raiz (PT) para todos os tratamentos (C) e os tratamentos com inoculação (I)

Parâmetros	ESP	CR	PT ⁽¹⁾
MS-PA-C	0,50**	0,67**	0,94**
MS-PA-I	0,92**	0,91**	0,94**
PT-PA-C	0,59**	0,76**	1,00
PT-PA-I	0,89**	0,91**	1,00
MS-RA-C	0,31ns	0,45**	0,94**
MS-RA-I	0,78**	0,74**	0,98**
PT-RA-C	0,48**	0,64**	1,00
PT-RA-I	0,84**	0,83**	1,00

(1) Correlações efetuadas com os valores respectivos para PA, RA, C e I.

CONCLUSÕES

1. A inoculação com o fungo micorrízico proporcionou maior produção de matéria seca das duas variedades de trigo. Houve maior absorção e acúmulo de fósforo na parte aérea dos tratamentos inoculados, sendo que, na dose mais alta de calagem, a variedade tolerante (IAC-5) aumentou significativamente a produção de matéria seca.

2. As variedades de trigo sensível (Anahuac) e tolerante (IAC-5) utilizaram a micorriza eficientemente para absorver fósforo e se sobrepôr ao efeito tóxico do alumínio. Conseqüentemente, a micorriza pode atuar como um mecanismo de defesa para a planta em solos onde o alumínio atinge níveis tóxicos, exceto para a variedade sensível em condições naturais de acidez.

3. Na dose intermediária de 2,2 t/ha de calcário, o fungo endomicorrízico beneficiou mais a variedade de trigo sensível (Anahuac) ao alumínio. Nessas condições, a dependência micorrízica desta variedade foi maior do que a da tolerante.

AGRADECIMENTOS

À Chefia do CPAC/EMBRAPA pelo apoio e pela disponibilidade das facilidades do Centro à execução do trabalho. Ao técnico de laboratório Valter Lopes, ao auxiliar de laboratório José de Moraes e ao técnico agrícola Deocleciano Santos Lima pela ajuda sempre presente em todas as atividades relativas à implantação e condução da pesquisa.

LITERATURA CITADA

- AZCÓN, R. & OCAMPO, J.A. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytol.*, Oxford, 87:677-685, 1981.
- ANJOS, J.T. & ROWELL, D.L. The effect of lime on phosphorus absorption and barley growth in three acid soils. *Plant Soil*, The Hague, 103:75-82, 1987.
- BENNET, R.J.; BREEN, C.M. & FEY, M.V. Aluminum toxicity and induced nutrient disorders involving the uptake and transport of P, K, Ca and Mg in *Zea mays* L. *S. Afr. J. Plant Soil*, Pretoria, 3:11-17, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura do Distrito Federal. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1966. 135p. (Boletim técnico, 8)
- CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces and cell wall materials. *Plant Soil*, The Hague, 47:653-662, 1967.
- COOLEN, W.R. Methods for the extraction of *Meloidogyne* spp. and other nematodes from roots and soil. In: LAMBERTI, F. & TAYLOR, C.E. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* species): systematics, ecology and control. London, Academic Press, 1979. p.317-329.
- CUMMING, J.R. & WEINSTEIN, L.H. Aluminum-mycorrhizal interactions in the physiology of pitch pine seedlings. *Plant Soil*, The Hague, 125:7-18, 1990.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. 73p.
- FOY, C.D. Effects of aluminium on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-642.
- FOY, C.D. General principles involved in screening plants for aluminium and manganese tolerance. In: WRIGHT, M.J., ed. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca, New York, 1977. p.255-267.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminium tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 28:27-32, 1964.
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular infection in roots. *New Phytol.*, Oxford, 84:489-500, 1980.
- HAYMAN, D.S. & MOSSE, B. The role of vesicular-arbuscular mycorrhiza in the removal of phosphorus from soil by plant roots. *Rev. Écol. Biol. Sol*, Paris, 9:463-470, 1972.
- HETRICK, B.A.D.; WILSON, G.W.T. & COX, T.S. Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties, landraces and ancestors. *Can. J. Bot.*, Ottawa, 70:2032-2040, 1992.
- KLEINSCHMIDT, G.D. & GERDEMANN, J.W. Stunting of *Citrus* seedlings in fumigated nursery soils related to the absence of Endomycorrhizae. *Phytopathology*, St. Paul, 62:1447-1453, 1972.
- KOSLOWSKY, S.D. & BOERNER, R.E.J. Interactive effects of aluminum, phosphorus and mycorrhizae on growth and nutrient uptake of *Panicum virgatum* L. (Poaceae). *Environ. Pol.*, Essex, 61:107-125, 1989.
- LAMBAIS, M.R. & CARDOSO, E.J.B.N. Response of *Stylosanthes guianensis* to endomycorrhizal fungi inoculation as affected by lime and phosphorus applications. I. Plant growth and development. *Plant Soil*, The Hague, 129:283-289, 1990.
- MALUF, A.M.; SILVEIRA, A.P.D. & MELO, I.S. Influência da calagem e da micorriza vesículo-arbuscular no desenvolvimento de cultivares de leucena tolerante e intolerante ao alumínio. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 12:17-23, 1988.
- McLEAN, F.T. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 46:147-153, 1966.
- McLEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Aluminium tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat and soil culture. *Agron. J.*, Madison, 59:359-363, 1967.
- 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 Phytol.*, Oxford, 80:575-578, 1978.
- MIRANDA, J.C.C. A endomicorriza na região dos Cerrados: uma revisão. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1992. 35p. (Série Documentos, 42)
- MIRANDA, J.C.C.; HARRIS, P.J. & WILD, A. Effects of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular-arbuscular mycorrhiza in sorghum plants. *New Phytol.*, Oxford, 112:405-410, 1989.
- MIRANDA, J.C.C.; SOUSA, D.M.G. & MIRANDA, L.N. Influência de fungos endomicorrízicos vesículoarbusculares na absorção de fósforo e no rendimento de matéria seca de plantas de sorgo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 8(1):31-36, 1984.
- MIRANDA, L.N. & ROWELL, D.L. The effects of lime and phosphorus on the function of wheat roots in acid top soils and subsoils. *Plant Soil*, The Hague, 104:253-262, 1987.
- MIRANDA, L.N. & ROWELL, D.L. Aluminium-phosphate interactions in wheat. *New Phytol.*, Oxford, 113:7-12, 1989.
- MOSSE, B. The influence of soil type and Endogone strain on the growth of mycorrhizal plants in phosphate deficient soils. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, Paris, 9:529-537, 1972.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. chim. Acta*, Amsterdam, 27:31-36, 1962.
- 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.*, London, 55:158-161, 1970.

- RIOS, M.A. & PEARSON, R.W. Some chemical factors in cotton root development. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 28:232-235, 1964.
- SAS INSTITUTE. Statistical Analysis System. User's Guide. Version 6, 4.ed. v.1, Sas Institute, Cary, N.C. 1989.
- SIEVERDING, E. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. In: SIEVERDING, E., ed. Federal Republic of Germany: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), 1991. p.20-66.
- SIQUEIRA, J.O.; HUBBELL, D.H. & MAHMUD, A.W. Effect of liming on spore germination, germ tube growth and root colonization by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil, The Hague, 76:115-124, 1984.
- SIQUEIRA, J.O.; ROCHA JR., W.F.; OLIVEIRA, E. & COLOZZI-FILHO, A. The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: associated effects on the growth and nutrition of brachiaria grass (*Brachiaria decumbens*). Biol. Fert. Soils, Heidelberg, 10:65-71, 1990.
- SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; LOBATO, E. & CASTRO, L.H.R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos de Cerrados. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 13(2):193-198, 1989.
- VIERHEILIG, H. & OCAMPO, J.A. Susceptibility and effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizae in wheat cultivars under different growing conditions. Biol. Fert. Soils, Heidelberg, 11:290-294, 1991.