

Maio e Junho de 2000

VOL. XLVII | Nº271

Viçosa – Minas Gerais

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**INFLUÊNCIA DO USO CONTÍNUO DE GRADE  
PESADA EM UM LATOSSOLO VERMELHO-  
AMARELO SOBRE A ABSORÇÃO DE  
NUTRIENTES PELA SOJA<sup>1</sup>**

Caetano Marciano de Souza<sup>2</sup>  
Matosinho de Souza Figueiredo<sup>2</sup>  
Liovando Marciano da Costa<sup>2</sup>  
Carlos Sigueyuki Sedyama<sup>2</sup>  
Tuneo Sedyama<sup>2</sup>

**RESUMO**

Amostras de plantas e de folhas de soja foram coletadas em glebas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, cultivado continuamente há dois, três, quatro, sete e dez anos com soja. Essas amostras foram submetidas à análise dos nutrientes P, K, Ca, Mg, Zn, Mn e Fe, com o objetivo de avaliar a influência do uso e manejo do solo sobre a absorção e acúmulo destes nutrientes na soja. Ficou evidenciado que as variedades estudadas (Doko e UFV-1) apresentaram absorção diferenciada de alguns nutrientes, em resposta às condições do meio, e que a melhoria das características químicas e a deterioração de algumas características físicas afetam a absorção de nutrientes. Embora as variedades tenham apresentado diferenças entre si na absorção de alguns nutrientes, no geral, os teores e conteúdos destes permaneceram próximos àqueles tomados como referência, não sendo visíveis sinais ou sintomas de toxidez ou deficiência.

Palavras-chaves: *Glycine max*, manejo do solo, física do solo, nutrição vegetal.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 08.01.1999.

<sup>2</sup> Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, UFV. 36571-000 Viçosa, MG.

## ABSTRACT

### NUTRIENT ABSORPTION BY SOYBEAN INFLUENCED BY MANAGEMENT OF A TYPIC ACRUSTOX WITH HEAVY OFFSET DISK HARROW

Soybean plant and leaf samples were collected from plots of Typic Acrustox (Red-Yellow Latosol), continuously cultivated during two, three, four, seven and ten years. They were analyzed for absorption of nutrients (P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe) and their leaf level to study the influence of soil use and management on them. It became evident that genetic differences and different chemical and physical soil conditions did influence nutrient absorption. The soybean varieties (Doko and UFV-1) presented differences in nutrient absorption although the nutrient levels remained near the optimum. Symptoms of excess or deficiency of nutrients in the leaves were not observed.

Key words: *Glycine max*, soil management, soil physics, plant nutrition.

## INTRODUÇÃO

A cultura da soja é muito utilizada no desbravamento do cerrado brasileiro, em razão das características inerentes à planta, e porque boa parte desses solos apresentam, no início de sua exploração, condições físicas excelentes para o desenvolvimento das plantas e a implantação de agricultura mecanizada (21). Entretanto, em decorrência do aumento do tempo de uso e manejo do solo, nota-se, freqüentemente, melhoria das propriedades químicas (21, 22), associada às adubações, e, concomitantemente, deterioração de algumas propriedades físicas do solo, com reflexos negativos na infiltração de água e crescimento radicular (18, 22, 23). Como resultado, pode ocorrer menor desenvolvimento e menor assimilação de nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, redução da produtividade.

Fluxo em massa e difusão, mecanismos de transporte de nutrientes até as raízes, são dependentes da estrutura do solo, do teor dos nutrientes e da disponibilidade de água. Alterações na estrutura do solo afetam a disponibilidade de água que, por sua vez, influencia o transporte de nutrientes. Como resultado, ocorre diminuição da disponibilidade de nutrientes para as plantas (2), diretamente, em razão da alteração da estrutura, ou indiretamente, pela diminuição na taxa de mineralização de compostos orgânicos (1). Juang e Uehara (10) mostraram que ocorre diminuição na absorção de fósforo, pela cana-de-açúcar, com o aumento da compactação do solo. Shierlaw e Alston (20) verificaram que a absorção de fósforo, em camadas compactadas, varia entre espécies, principalmente em virtude da habilidade das raízes em crescerem nessas camadas.

Souza et al. (21) citam que Ribeiro et al. (1981), trabalhando com doses de fósforo e variando a densidade do solo, observaram diminuição na absorção de fósforo, pelas plantas de soja, com o aumento da densidade,

não obtendo resposta a doses de fósforo, à densidade de  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$ , devido mais ao impedimento mecânico do que propriamente à disponibilidade do nutriente. Assim, características do solo e da planta influenciam a resposta à aplicação de fósforo (6, 23).

Pelo exposto, observa-se que, se por um lado as aplicações de adubos e corretivos aumentam os teores dos nutrientes no solo, distúrbios físicos provocados por cultivos sucessivos podem diminuir a disponibilidade, mobilidade e transporte dos nutrientes. Podem também afetar o crescimento e a morfologia do sistema radicular (22).

Este trabalho foi conduzido com a finalidade de analisar a influência do uso e do manejo do solo sobre a absorção e os teores de nutrientes em soja, cultivada continuamente, usando-se a grade pesada como implemento de preparo do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

De um plantio de 2.400 ha de soja retiraram-se amostras de solo, plantas e folhas, em glebas de 200 ha cada uma, cultivadas em monocultivo de soja por dois, três, quatro, sete e dez anos. A propriedade, denominada Fazenda Farroupilha, encontra-se localizada no município de Presidente Olegário/MG, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, textura argilosa, fase Cerrado, de relevo suave ondulado, em local denominado Chapadão dos Gaúchos. A região é uniforme nas características edáficas e fisiográficas. Quando da amostragem, as glebas com três e sete anos de uso encontravam-se plantadas com a variedade Doko, das quais amostraram-se dez repetições para análises de solo. As glebas com dois, quatro e dez anos de uso encontravam-se plantadas com a variedade UFV-1. Nessas glebas foram amostradas sete repetições para as análises de solo.

A amostragem para determinação da absorção de nutrientes foi realizada coletando-se a parte aérea de 100 plantas, aleatoriamente, em cada gleba. Na análise foliar, foi feita, segundo recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, a coleta da quarta folha, de cima para baixo, na haste principal, a partir da primeira folha totalmente desenvolvida. Foram coletadas, aleatoriamente, folhas de 400 plantas. Em ambos os casos, parte aérea e folhas, as amostras individuais constituíram amostras compostas, que foram secas em estufa com circulação forçada de ar, durante 72 horas, à temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$ ,

trituras e pesadas. Da amostra composta foram retiradas cinco subamostras de 2 g que foram mineralizadas por digestão nitroperclórica.

Determinou-se o fósforo colorimetricamente pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (4). O potássio foi determinado por fotometria de emissão de chama. Cálcio, magnésio, manganês, zinco e ferro foram dosados por espectrofotometria de absorção atômica (7).

A área utilizada para a realização do presente estudo tratava-se de um plantio comercial de sementes, onde o proprietário, por questões práticas e financeiras, incorporou ao processo produtivo áreas de 200 ha por ano. Ao longo do tempo, cada área teve tratamento individualizado e de acordo com suas necessidades. Assim, as adubações e calagens seguiram, para cada plantio e gleba, a análise de solo e as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. As glebas com dois, três, quatro, sete e dez anos foram escolhidas porque nelas foi realizada calagem em uma mesma época, embora em quantidade diferente, segundo a necessidade individual de cada uma. Tal situação não existia nas glebas com um, cinco, seis, oito e nove anos de uso. Quanto ao preparo do solo, foi sempre realizado com grade pesada e, quando a área encontrava-se compactada, foi realizada a subsolagem.

Os dados foram analisados no delineamento experimental inteiramente casualizado, com tratamentos hierárquicos, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

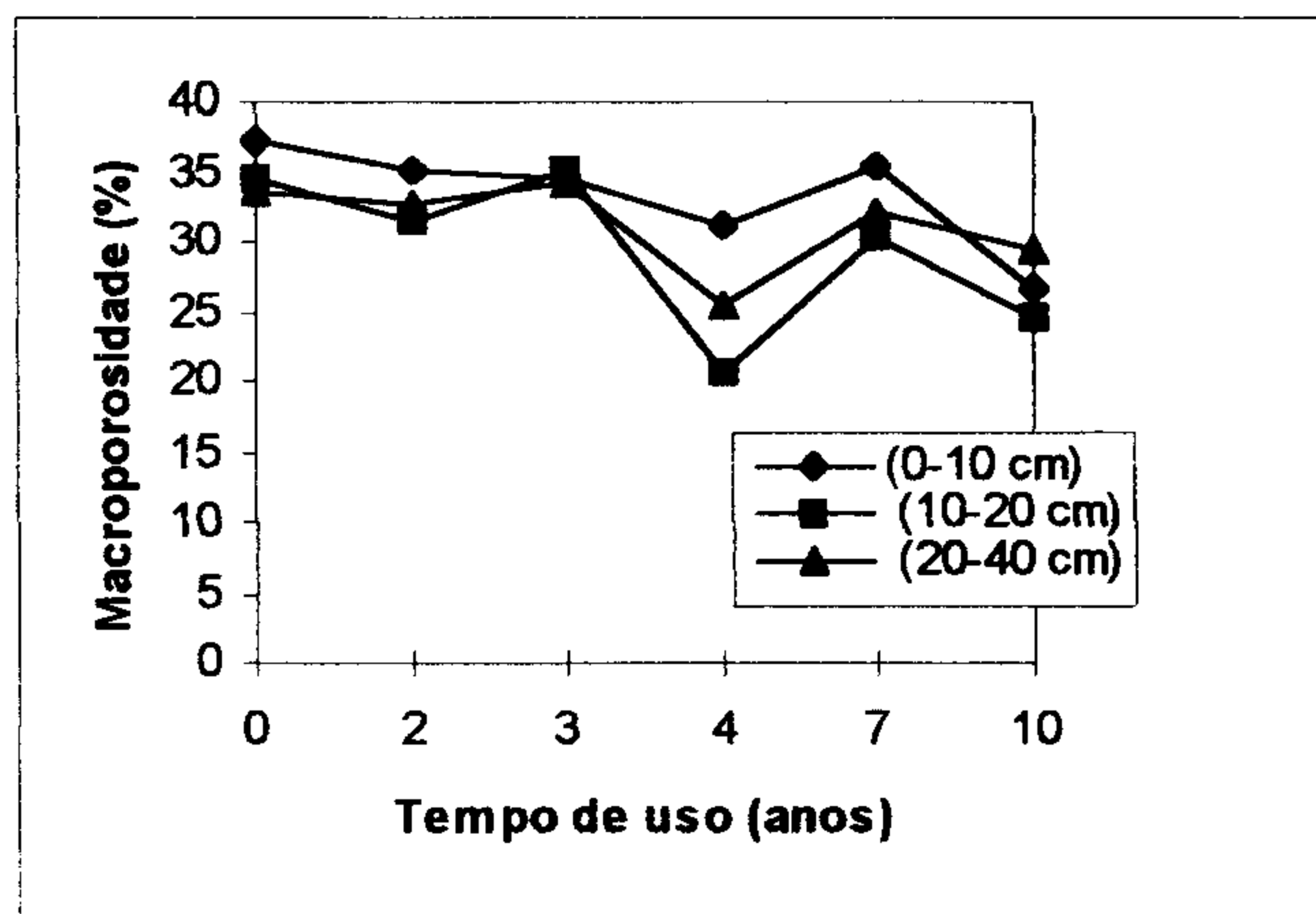
A variedade Doko produziu mais matéria seca (Quadro 1) que a variedade UFV-1, em razão de suas características genéticas próprias e em resposta ao ambiente, visto que as glebas correspondentes ao terceiro e sétimo anos apresentavam solos com melhores condições físicas (Fig. 1, 2 e 3) e químicas (Quadro 2). Observações semelhantes com outras culturas e mesmo soja foram feitas por Caires e Rosolem (5), Fernandes et al. (8), Martinez et al. (14, 15) e Rosolem et al. (18).

A boa fertilidade foi propiciada pelas adubações e correções sucessivas, enquanto boas condições físicas foram possíveis em virtude de, no terceiro ano, não ter havido ainda tempo suficiente para ocorrerem relevantes modificações físicas no solo e, no sétimo ano, refletindo efeito de subsolagem recente (21).

**QUADRO 1 - Médias de produção de matéria seca e conteúdos de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe em plantas de duas variedades de soja cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, submetido a uso contínuo de grade pesada, por dois, três, quatro, sete e dez anos<sup>1</sup>**

Variedade/ tempo de uso	Matéria seca	mg planta <sup>-1</sup>						
		P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe
3 anos	12.520a	20a	161a	122a	56a	0,137a	1,868a	7,105a
7 anos	10.990a	15a	119a	96a	70a	0,186a	1,636a	19,41a
Doko	11.760A	17A	140A	109A	63A	0,162A	1,752A	13,26A
UFV-1	8.950B	13A	114B	71B	43A	0,191A	2,055A	18,24A
2 anos	7.780a'	6b'	104a'	56a'	34a'	0,278a'	1,833a'	5,77b'
4 anos	8.580a'	12b'	115a'	76a'	42a'	0,122b'	1,969a'	10,40a'b'
10 anos	10.500a'	22a'	123a'	81a'	55a'	0,173a'b'	2,364a'	38,55a'

<sup>1</sup> As médias seguidas por uma mesma letra minúscula, na coluna, comparam três e sete anos de uso da variedade Doko; as seguidas por maiúsculas comparam a variedade Doko com a UFV-1; as seguidas por minúsculas com apóstrofo comparam dois, quatro e dez anos de uso da variedade UFV - 1. Letras diferentes indicam diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5%.



**FIGURA 1. Efeito do tempo de uso na macroporosidade do solo.**

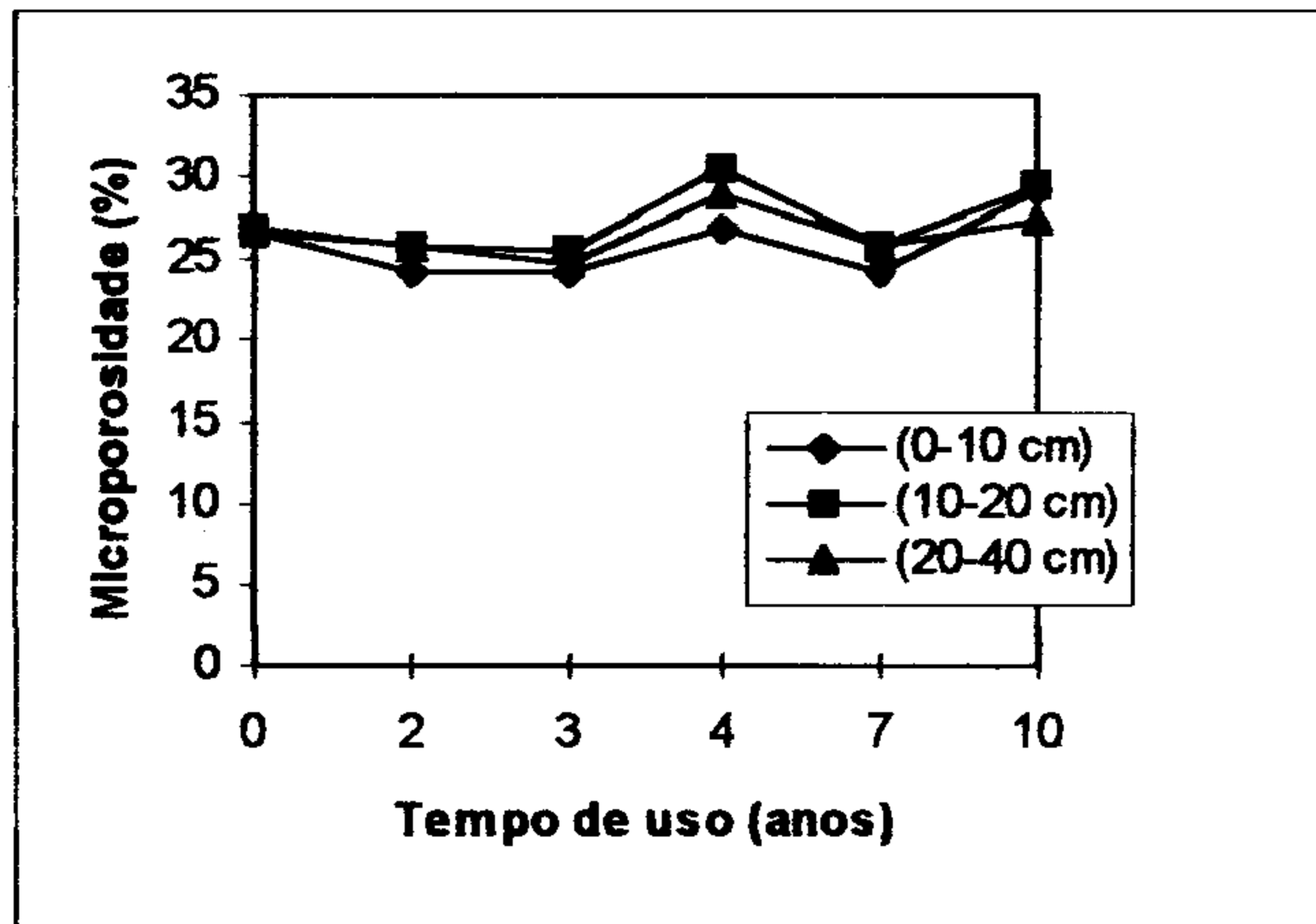


FIGURA 2. Efeito do tempo de uso na microporosidade do solo.

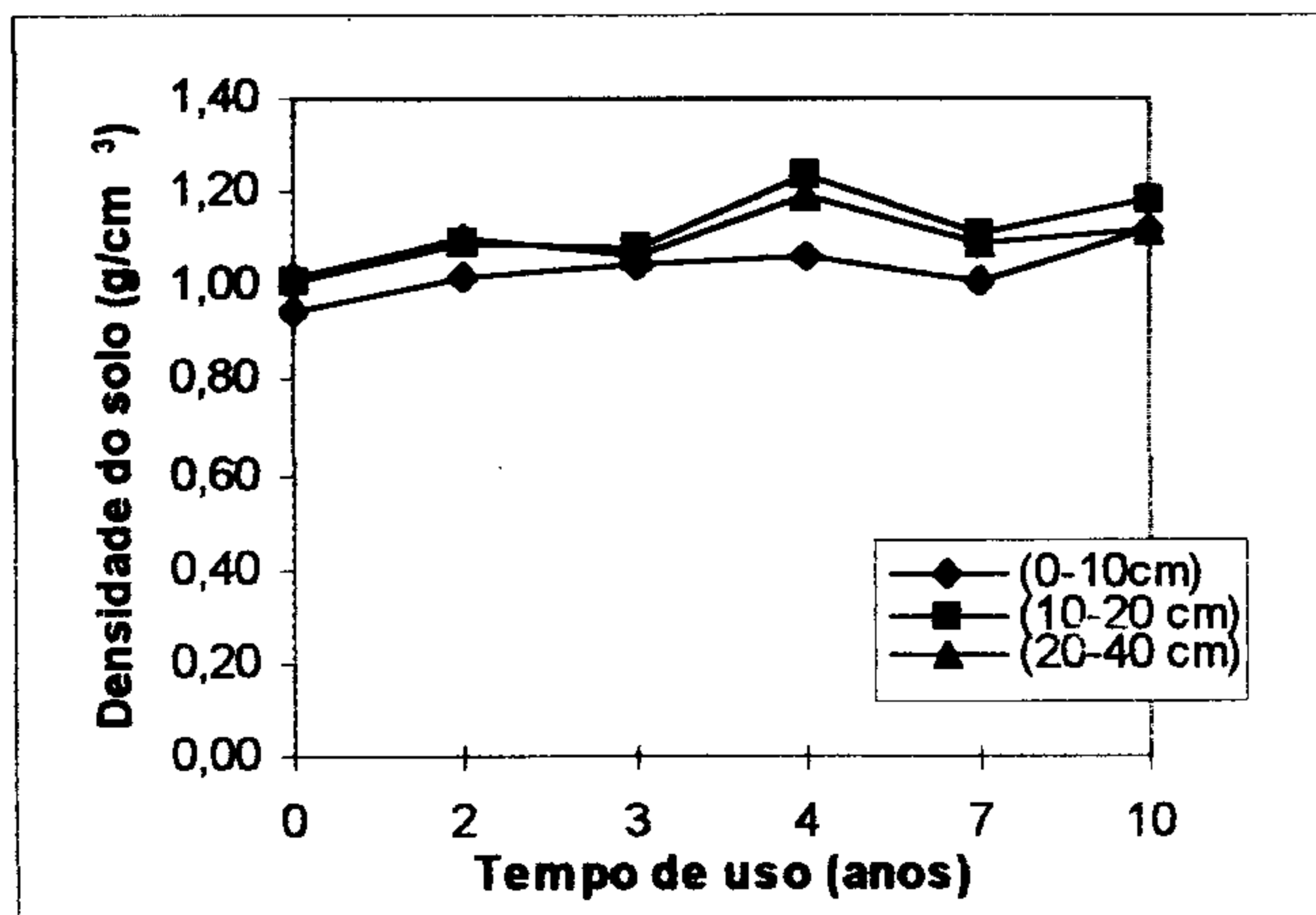


FIGURA 3. Efeito do tempo de uso na densidade do solo.

**QUADRO 2 - Variações na disponibilidade de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, submetido a uso contínuo de grade pesada, por dois, três, quatro, sete e dez anos e sob vegetação nativa**

Unidade	Prof. cm	Tempo de uso (anos)					
		0	2	3	4	7	10
Ca <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0-10	—	1,67	2,25	2,06	1,59	3,01
	10-20	—	0,79	1,71	1,43	1,04	2,16
	20-40	0,01	0,06	0,21	0,03	0,17	0,06
Mg <sup>+2</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0-10	0,01	0,96	0,98	1,01	0,72	1,49
	10-20	0,01	0,47	0,74	0,76	0,61	1,31
	20-40	—	0,04	0,16	0,01	0,10	0,17
P mg kg <sup>-1</sup>	0-10	1,84	7,13	20,57	13,14	14,65	39,71
	10-20	1,30	4,20	9,86	8,74	4,98	20,63
	20-40	0,62	0,86	1,32	0,54	0,38	1,19
K mg kg <sup>-1</sup>	0-10	27,50	40,43	36,90	27,24	22,60	34,00
	10-20	19,90	32,29	20,70	22,86	13,60	24,71
	20-40	10,70	15,86	13,10	9,86	9,50	12,00
Mn mg kg <sup>-1</sup>	0-10	4,60	1,43	8,40	4,00	7,40	0,00
	10-20	3,60	0,00	7,20	1,00	7,20	1,00
	20-40	1,40	1,00	4,80	0,00	2,10	1,00
Zn mg kg <sup>-1</sup>	0-10	1,12	0,96	0,81	0,77	0,98	2,10
	10-20	0,80	0,59	0,78	0,93	0,34	1,71
	20-40	0,72	0,53	0,61	1,06	0,91	0,31

Borges (3) verificou que as variedades IAC-8, Bossier e Cristalina aumentaram a produção de matéria seca em decorrência de pequena compactação do solo. Justificou o ocorrido pelo aumento da disponibilidade de água e nutrientes próximo ao sistema radicular. Porém, o efeito da compactação no rendimento das culturas tem resultados controversos, podendo provocar aparecimento de deficiências nutricionais, caracterizadas por clorose e até necrose nas folhas basais, devidas à redução na disponibilidade e, ou, desbalanceamento dos nutrientes (17). Tais ocorrências não foram verificadas no presente trabalho.

Embora tenha ocorrido diferença na produção de matéria seca entre as variedades, ambas absorveram quantidades similares de fósforo, potássio, manganês, zinco e ferro, apresentando diferenças na absorção de cálcio e magnésio (Quadro 1). A maior produção de material vegetal implicou em maior transpiração e, sendo estes nutrientes supridos, principalmente, pelo fluxo em massa, que é dependente da transpiração, foram absorvidos em maior quantidade.

As diferenças apresentadas na absorção de fósforo, nos vários anos estudados, foram devidas à sua disponibilidade no solo (Quadro 2) e ao

nível de compactação do solo (Fig. 1, 2 e 3). Manganês também foi absorvido diferentemente pela variedade UFV-1, considerando-se o tempo de cultivo do solo. Malavolta (13) relacionou resultados semelhantes à quantidade de raízes e à forma química deste nutriente no solo.

A variedade UFV-1, quando plantada em local com dez anos de uso, apresentou maior absorção de ferro que em local com dois anos de plantio (Quadro 1). As condições físicas do solo afetam o estágio de oxidação do ferro, de maneira que solos mais compactados podem apresentar maior quantidade de ferro bivalente e, conseqüentemente, pode haver maior absorção de ferro (21). As condições físicas do solo foram alteradas à medida que o tempo de uso do local aumentou (Figuras 1, 2 e 3). Isso resultou em maior absorção de ferro com o aumento de tempo de uso do solo.

Os estudos existentes sobre a influência da compactação nos mecanismos de transporte de íons são contraditórios. Especula-se sobre redução na tortuosidade do percurso dos nutrientes no solo favorecendo os processos de difusão e fluxo em massa (9, 16), maior força de retenção entre íons e partículas de argila, aproximadas pela compactação (11, 24) e menor taxa de aeração prejudicando a absorção de nutrientes (12). Portanto, devido à variedade e complexidade dos fatores envolvidos, é difícil determinar, com exatidão, a influência do manejo sobre os mecanismos de transporte e absorção de íons.

Os teores de fósforo, cálcio e ferro nas folhas diferiram entre as duas variedades (Quadro 3), diferenças estas ligadas a problemas na disponibilidade dos nutrientes (Quadro 2), no início da exploração (19, 21) e, depois, a problemas de natureza física (Figuras 1, 2 e 3) que podem ter alterado a disponibilidade dos nutrientes ao afetar os mecanismos supracitados (21).

Variações nos teores e na taxa de mineralização da matéria orgânica também são importantes nestas diferenças de absorção de nutrientes (21).

Embora tenham ocorrido variações entre as variedades na absorção de alguns nutrientes, verifica-se, no Quadro 4, comparativamente aos Quadros 1 e 5, que o teor de fósforo encontra-se próximo ao valor tomado como referência, proposto por Malavolta (13), para as duas variedades. O teor de potássio foi baixo em todas as oportunidades, em razão de sua mobilidade no solo e ao fato de as amostragens terem sido feitas em período chuvoso, o que proporcionou sua lavagem das folhas. O cálcio e o magnésio foram superiores ao valor tomado como referência, devido à sua disponibilidade no solo. O manganês apresentou teores baixos, podendo estar precipitado, como  $MnO_2$ , em virtude das correções da acidez do solo.



O ferro foi absorvido bem acima do valor tomado como referência, mas não foram verificados problemas de toxidez.

**QUADRO 3 - Teores médios de P, K, Ca, Mg, Zn, Mn e Fe em folhas de dois cultivares de soja cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, submetido a uso contínuo de grade pesada, por dois, três, quatro, sete e dez anos**

	Unidade	Referência <sup>1</sup>	Variedade e tempo de uso (anos)				
			Doko		UFV-1		
			3	7	2	4	10
P	dag kg <sup>-1</sup>	0,3	0,288	0,304	0,159	0,220	0,296
K	dag kg <sup>-1</sup>	3	0,933	0,789	0,873	0,837	0,817
Ca	dag kg <sup>-1</sup>	1	0,877	0,843	0,644	0,824	0,934
Mg	dag kg <sup>-1</sup>	0,4	0,417	0,507	0,403	0,463	0,521
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	-	373,5	278	348	323	355
Mn	mg kg <sup>-1</sup>	100	46,5	49,3	73,5	49,0	47,0
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	100	198	241	266	332	259

<sup>1</sup> Malavolta (13).

**QUADRO 4 - Extração de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe pelas plantas de dois cultivares de soja cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, submetido a uso contínuo de grade pesada, por dois, três, quatro, sete e dez anos**

	Unidade	Referência <sup>1</sup>	Variedades e tempo de uso (anos)				
			Doko		UFV-1		
			3	7	2	4	10
P	kg ha <sup>-1</sup>	40	8,32	6,24	2,50	5,00	9,15
K	kg ha <sup>-1</sup>	115	67	50	43	48	51
Ca	kg ha <sup>-1</sup>	70	51	40	23	32	34
Mg	kg ha <sup>-1</sup>	35	23	29	14	18	23
Zn	g ha <sup>-1</sup>	200	777	681	762	819	983
Mn	g ha <sup>-1</sup>	600	57	77	116	51	72
Fe	g ha <sup>-1</sup>	1.700	2.956	8.074	2.340	4.367	16.037

<sup>1</sup> Malavolta (13)

**QUADRO 5 - Médias dos teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn e Fe nas folhas de soja cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, fase Cerrado, submetido a uso contínuo de grade pesada, por dois, três, quatro, sete e dez anos<sup>1</sup>**

Nutriente/ Tempo de uso (anos)	dag kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>	
	P	K	Ca	Mg	Mn	Zn	Fe
3	0,280a	0,993a	0,877a	0,417b	46,446a	373,55a	197,97a
7	0,304a	0,789a	0,843a	0,507a	49,286a	277,91a	240,84a
Doko	0,296A	0,861A	0,860A	0,462A	47,866A	325,73A	219,40B
UFV-1	0,255B	0,842A	0,801B	0,462A	56,462A	342,04A	285,67A
2	0,159c'	0,873a'	0,644b'	0,403c'	73,470a'	348,13a'	265,84a'b'
4	0,220b'	0,837a'	0,824a'	0,463b'	48,979b'	323,21a'	332,14a'
10	0,296a'	0,817a'	0,934a'	0,521a'	46,939b'	354,78a'	259,02b'

<sup>1</sup> As médias, seguidas por uma mesma letra minúscula, na coluna, comparam três com sete anos de uso da variedade Doko; maiúscula comparam a variedade Doko com a UFV-1; minúscula com apóstrofo comparam dois, quatro e dez anos de uso da variedade UFV-1. Letras diferentes indicam diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5%.

## CONCLUSÕES

1. A variedade Doko produziu mais matéria seca que a UFV-1 em razão de suas características genéticas próprias e em resposta às alterações físicas e químicas do solo.
2. As variedades Doko e UFV-1 absorveram quantidades similares de K, Mg, Mn e Zn.
3. As condições físicas do solo foram afetadas negativamente à medida que o tempo de uso do solo aumentou, resultando em maior absorção de Fe.
4. As variedades Doko e UFV-1 apresentaram teores de P, Ca e Fe diferentes em resposta à melhoria das condições químicas e da deterioração de algumas características físicas.
5. Os teores e conteúdos dos nutrientes analisados foram próximos aos valores tomados como referência, não sendo verificados sintomas de toxidez ou de deficiência.

## REFERÊNCIAS

1. BACCHI, O. O. S. Efeito da compactação sobre o sistema solo-planta em cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1976. 65 p. (Tese de Mestrado).

2. BAUMER, K. & BAKERMANS, W. A. P. Zero-tillage. *Adv. in Agron.*, 25: 77-125, 1973.
3. BORGES, E. N. Resposta da soja e do eucalipto a camadas compactadas do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 74 p. (Tese de Mestrado).
4. BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Rev. Ceres*, 21:73-85, 1974.
5. CAIRES, E. F. & ROSOLEM, C. A. Root growth of peanut cultivars and soil acidity. *In: Wright, R. J.; Baligar, V. C. R. & Murrmann, R. P. (eds.). Plant and soil interactions at low pH.* Dordrecht, Kluwer Publ., 1991. p. 239-44.
6. CARVALHO, A. M.; FAGERIA, N. K.; OLIVEIRA, I. P. & KINJO, T. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos cerrados. *R. Bras. Ci. Solo*, 19: 61-7, 1995.
7. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. n.p.
8. FERNANDES, D. M.; ROSSETO, C. A. V.; ISHIMURA, I. & ROSOLEM, C. A. Nutrição da soja e formas de potássio no solo em função de cultivares e adubação potássica. *R. Bras. Ci. Solo*, 17: 405-10, 1993.
9. HIRA, G. S. & SINGH, N. T. Observed and predicted rates of phosphorus diffusion in soils of varying bulk density and water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 537-40, 1977.
10. JUANG, T. C. & UEHARA, G. Effects of ground-water tables and soil compaction on nutrient element uptake and growth of sugarcane. *Proc. Int. Soc. Can. Tech.*, 58: 679-87, 1969.
11. KEMPER, W. D.; STEWART, B. A. & PORTER, L. K. Effects of compaction on soil nutrient status. *In: Barnes, K. K. (ed.). Compaction agricultural soils.* Michigan, ASAE, 1971. p. 178-89.
12. LEONAR, P. P. & JOHN, W. S. The importance of oxygen in the nutrient substrate for plants-ion absorption. *Soil Sci.*, 57: 143-54, 1944.
13. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
14. MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; RODRIGUES, L. A. & SACRAMENTO, L. V. S. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: I. Cinética de absorção de fósforo e ajustes morfológicos da planta. *R. Bras. Ci. Solo*, 17: 231-8, 1993.
15. MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F.; SACRAMENTO, L. V. S. & RODRIGUES, L. A. Comportamento de variedades de soja cultivadas em diferentes doses de fósforo: II. Translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. *R. Bras. Ci. Solo*, 17: 239-44, 1993.
16. PHYLLIPS, R. E. & BROWN, D. A. F. Ion diffusion. III. The effect of soil compaction on self-diffusion <sup>86</sup>Rb and Sr. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 29: 657-61, 1965.
17. ROSEMBERG, N. G. & WILLTIS, N. A. Yield and physiological response of barley and beans grown in artificially compacted soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 26: 78-82, 1962.
18. ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H. & MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18: 491-7, 1994.
19. SFREEDO, G. J.; PALUDZYSZIN FILHO, E.; GOMES, E. R. & OLIVEIRA, M. C. N. Resposta da soja a fósforo e a calcário em podzólico vermelho-amarelo de Balsas, MA. *R. Bras. Ci. Solo*, 20: 429-32, 1996.
20. SHIERLAW, I. & ALSTON, A. M. Effect of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant and Soil*, 77: 15-26, 1984.

21. SOUZA, C. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M.; SEDIYAMA, C. S. & SEDIYAMA, T. Efeito do uso contínuo de grade pesada em Latossolo Vermelho-Amarelo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 21<sup>o</sup>, 1992, Santa Maria. Anais..., Santa Maria, UFSM/RS, 1992. V. 3, p. 1394-404.
22. VEEN, B. W. & BOONE, F. R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots of maize. *Soil Til. Res.*, 16: 219-26, 1990.
23. VILLANI, E. M. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONTES, L. E. F. & NEVES, J. C. L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. *R. Bras. Ci. Solo*, 17: 343-7, 1993.
24. WARNCKE, D. D. & BARBER, S. A. The influence of soil bulk density and its interactions with moisture. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36: 42, 1972.