

Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense¹

Chemical and physical attributes of a Yellow Latosol and soybean root distribution under different tillage systems in cerrado of Maranhão State

Diógenes Manoel Pedroza de Azevedo ², Luiz Fernando Carvalho Leite ³, Marcos Lopes Teixeira Neto⁴ e Jussara Silva Dantas ⁵

Resumo - O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de sistemas de preparo sobre os atributos físicos e químicos do solo e sobre o crescimento radicular da cultura da soja. Os tratamentos foram: plantio convencional (PC), escarificação até 20 cm (E20), escarificação até 30 cm (E30) e plantio direto na palha (PD). Uma floresta nativa de cerrados (FN), adjacente ao experimento, foi usada como referência de um estado de equilíbrio. Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis referentes aos atributos físicos e químicos do solo nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm e o sistema radicular da soja nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Na camada 0-5 cm, o tratamento PD apresentou densidade do solo maior que os sistemas E-30 e PC. Os teores de fósforo e cálcio trocável foram também maiores nos tratamentos PD do que no tratamento PC nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. O teor de alumínio trocável, nas camadas superficiais, foi menor nos tratamentos PD (0,16 e 0,21 cmol_c.dm⁻³) e E20 (0,18 e 0,24 cmol_c.dm⁻³), o que está associado aos maiores estoques de carbono orgânico total observados nestes tratamentos. Em todas as variáveis, o solo sob floresta nativa apresentou os menores valores, indicando a pobreza química dos Latossolos dos cerrados do Meio-Norte. Não houve diferenças significativas quanto à densidade radicular da soja, no entanto, maior comprimento radicular, em ambas as camadas, foi observado no tratamento E30. Neste tratamento, 77% do comprimento radicular esteve concentrado na camada de 0-20 cm. Os tratamentos mais conservacionistas, como a escarificação e o plantio direto melhoraram a qualidade do solo mas não influenciaram o crescimento radicular da soja

Termos para indexação: *Glycine max* L., acidez do solo, matéria orgânica do solo, plantio direto

Abstract – This work aimed to evaluate the impact of tillage systems on chemical and physical soil attributes and on soybean root growth. The treatments were: conventional tillage (CT), scarification up to 20 cm (E20), scarification up to 30 cm (E30) and no-tillage (NT). A natural Forest adjacent to the experiment area was used as reference. Treatments were arranged in a complete randomized blocks design with four replicates. Chemical and physical soil attributes were evaluated from soil samples collected at 0-5; 5-10; 10-20 and 20-40 cm depths and root system was evaluated at 0-20 and 20-40 cm. At 0-5 cm, NT system showed higher bulk density ($p < 0.05$) than E30 and CT systems. Phosphorus and calcium contents were also higher ($p < 0.05$) at NT than at CT at 0-5 and 5-10 cm. Exchangeable aluminum content at surface (0-5 and 5-10 cm) was lower at NT (0.16 and 0.21 cmol_c.dm⁻³, respectively) and E20 (0.18 and 0.24 cmol_c.dm⁻³) which is associated to higher stocks of total organic carbon observed in these treatments. For all variables, the soil under cerrado native Forest showed the lower nutrients contents indicating the chemical poverty of these soils. No differences were observed in soybean root density. However, in both depths, the higher length root was observed in the E30 treatment. In this treatment, 77% of root length was observed at 0-20 cm d. NT and E30 treatments showed an increase in soil quality but they did not influence soybean root growth.

Index terms: *Glycine max* L., soil acidity, soil organic matter, no-tillage

¹ Recebido para publicação em 08/05/2006; aprovado em 12/12/2006
Pesquisa financiada pela Embrapa

² Engenheiro Agrônomo M. Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Av. Duque de Caxias, 5650. CEP 64006-020, Teresina-PI, e-mail: diogenes@cpamn.embrapa.br

³ Eng. Agrônomo D. Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, e-mail: luzf@cpamn.embrapa.br

⁴ Eng. Agrônomo M. Sc., Técnico de Nível Superior da Embrapa Meio-Norte, e-mail: mlopes@cpamn.embrapa.br

⁵ Eng. Agrônoma M. Sc., Bolsista CNPq na área de solos da Embrapa Meio-Norte, e-mail: jussara@cpamn.embrapa.br

Introdução

A região Meio-Norte apresenta excelente potencial agrícola, especialmente para produção de grãos de milho, arroz e soja. Na maior parte dessas áreas, há a predominância de Latossolos, ácidos e de baixa fertilidade natural, e que em algumas regiões, como no leste do estado do Maranhão, apresentam horizontes coesos, caracterizados pelas limitações impostas ao crescimento radicular.

Além disso, têm sido utilizados sistemas de manejo convencionais, especialmente com revolvimento intensivo do solo por meio de aração e gradagens, o que tem favorecido a intensificação dos processos de erosão e compactação do solo e que, em médio e longo prazos, poderá propiciar a degradação física, química e biológica do solo (Leite et al., 2003; Araújo et al., 2004). Nessas condições, a absorção de nutrientes disponíveis pelo sistema radicular é dificultada e a quantidade de oxigênio na rizosfera pode se tornar limitante em diversos processos metabólicos (Beulter & Centurion, 2004).

Com intuito de minimizar estes prejuízos, tem sido sugerido, nos últimos anos, a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema plantio direto, em que, o não-revolvimento do solo e sua permanente cobertura com plantas vivas e mortas promovem sua estruturação, que por sua vez reduz acentuadamente a erosão, amenizando perdas de água, solo e nutrientes, além de aumentar os estoques de matéria orgânica e o sequestro de carbono (Leite et al., 2003). As conseqüências desse processo refletem-se diretamente na fertilidade do solo, potencializando a redução futura do uso de corretivos e fertilizantes, e no ambiente, reduzindo os índices de poluição. Em áreas sob plantio direto, na camada superficial (0-20 cm), a temperatura é mais amena e o teor de água adequado, o que favorece o crescimento de raízes e, portanto, a absorção de nutrientes (Chassot et al., 2001). Por outro lado, em alguns estudos tem sido referenciado o aumento da densidade do solo em áreas sob plantio direto, especialmente para aqueles com pouco tempo de adoção (< 5 anos), o que poderia comprometer o adequado desenvolvimento do sistema radicular (Goedert et al., 2002).

Existem diversos trabalhos referentes ao efeito dos diferentes métodos de preparo de solo sobre as propriedades do solo e o desenvolvimento radicular das culturas (Mello Ivo & Mielniczuk, 1999; Oin et al., 2006). No entanto, são escassos aqueles associados à cultura da soja nos cerrados do Meio-Norte do Brasil. O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de sistemas de preparo do solo, convencionais e conservacionistas, sobre as propriedades físicas e químicas de um Latossolo Amarelo e sobre

o sistema radicular da soja, em áreas de cerrados no leste maranhense.

Material e Métodos

A área do estudo está localizada no município de Buriti-MA, (03°53'26,6"S e 43°05'17,7"W, 119 m de altitude) nos cerrados do nordeste maranhense. O clima é subúmido (C₂), segundo Thornthwaite, e apresenta precipitação média variando entre 1600 a 2000 mm anuais, sendo os meses de fevereiro a abril os mais chuvosos e julho a novembro os mais secos. A temperatura média anual é de 27,2°C. O solo, classificado como Latossolo Amarelo, possui textura franco-arenosa, apresentando teores de argila, silte, areia fina e areia grossa, respectivamente de 126; 63; 272 e 552 g.kg⁻¹ na camada 0–20 cm.

Originariamente sob vegetação natural até 1997, a área do ensaio passou a ser cultivada subseqüentemente por três anos com a cultura da soja, utilizando-se o preparo convencional (grade pesada e grade niveladora). No ano de 2001, o experimento foi iniciado, semeando-se a soja, em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram quatro métodos de preparo de solo: convencional com grade pesada (PC), escarificação até as profundidades de 20 (E20) e 30 cm (E30) e plantio direto na palha do milheto (PD). Todos os tratamentos à exceção do PD, receberam um preparo secundário com uma passada de grade niveladora com discos de 18". As parcelas tinham dimensão de 7,20 m x 20,00 m. Uma área sob floresta nativa de cerrados (FN), adjacente ao experimento (distante aproximadamente 100 metros), com mesma classe de solo, foi usada como referência de estado de equilíbrio. Nessa área foi definido, no terço médio, um transecto de aproximadamente 100 metros, no qual delimitaram-se quatro subáreas para obtenção das amostras.

O experimento foi repetido nos anos de 2002, 2003 e 2004. Em fevereiro de 2004, a cultivar BRS-Sambaíba de ciclo precoce (110 dias), foi semeada num espaçamento de 0,50 m entre linhas e 17 plantas por metro linear. A adubação de semeadura constou de: 14 kg de N.ha⁻¹, 128 kg de P₂O₅.ha⁻¹ e 91 kg de K₂O.ha⁻¹, nas formas de uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Neste ano, foram avaliados os efeitos dos tratamentos sobre os atributos físicos e químicos do solo, sobre a produtividade de grãos da cultura e sobre a distribuição do seu sistema radicular. Aos 90 dias após o plantio, foram coletadas em cada parcela, a partir de quatro trincheiras, 8 amostras simples de solo para formar uma composta nas

profundidades 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm e realizadas avaliações da distribuição do sistema radicular, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

As amostras de solo foram destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm, para a realização das análises físicas e químicas. A densidade do solo, a porosidade total, a textura e a fertilidade do solo (pH, P, K, Ca, Mg e Al) foram determinados conforme Embrapa (1997). O teor de carbono orgânico total (COT) foi obtido de acordo com Yeomans & Bremner (1988) e o nitrogênio total (NT) foi quantificado segundo a metodologia descrita por Bremner (1996). Os valores de densidade do solo foram utilizados para calcular os estoques de COT e NT numa equivalência com a massa de solo (Leite et al., 2003).

Para a avaliação do sistema radicular, foram selecionadas duas plantas em duas linhas contíguas por parcela, que representavam a média do crescimento dentro de cada parcela. Foram abertas trincheiras em cada parcela, a uma distância de 5 cm das plantas em estudo, no sentido transversal a duas linhas representativas de plantio. As raízes foram pintadas com tinta spray branca e fotografadas segundo o método descrito por Jorge et al. (1996). O perfil foi dividido em quadrículas de 20 cm x 20 cm com o auxílio de uma moldura de madeira dividida com fios de nylon. As imagens obtidas em cada quadrícula foram processadas no programa SIARCS 3.0 (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), para determinação da área das raízes de até 2 mm de diâmetro (Crestana et al., 1994). Foram determinadas as variáveis: densidade de raízes (porcentagem de raízes por perfil), comprimento total (centímetro) e diâmetro das raízes ($\text{cm}^2/\text{cm}^{-1}$). A primeira foi estimada como a razão entre a área das raízes e a área respectiva do perfil, e a última, estimada indiretamente pela relação entre as duas primeiras variáveis. Os dados de densidade de raízes foram transformados pela fórmula $(X + 0,5)^{1/2}$, antes de serem submetidos à análise de variância junto com os demais dados e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade, utilizando o programa SISVAR (Ferreira, 2000).

Resultados e Discussão

O teor de argila foi maior ($p < 0,05$) nos sistemas E20, E30 e PC em relação ao PD na camada de 0-5 cm (Tabela 1). Isto tem sido corroborado por outros autores (Hussain et al., 1999) que observaram maiores conteúdos de argila em sistemas convencionais, devido à transferência do material do subsolo proveniente do horizonte

subsuperficial, pelos equipamentos de preparo, para o horizonte A. Entretanto, apesar dessas diferenças, a influência de sistemas de preparo sobre a textura do solo nem sempre é observada, podendo variar intensamente com o manejo do solo e as condições de umidade em que as operações de preparo são efetuadas.

Na camada de 0-5 cm, a densidade do solo foi maior ($p < 0,05$) no sistema PD ($1,43 \text{ g.cm}^{-3}$) do que nos sistemas E30 e PC, não diferindo, no entanto, do sistema E20 (Tabela 1). Comparando-se com estes sistemas cultivados, o solo sob FN apresentou valores menores para densidade do solo ($1,30 \text{ g.cm}^{-3}$) o que pode ser atribuído à maior presença de raízes, especialmente próximas à superfície do solo. Por outro lado, maiores valores de densidade do solo no PD, podem ser decorrentes da ausência de revolvimento do solo, ocasionando maior compactação e ao tempo relativamente curto de adoção desse sistema (3 anos), aportando quantidade de resíduos culturais ainda não suficientes para aumentar os estoques de matéria orgânica que possibilitem, gradativamente, a diminuição da densidade, como constatado por diversos autores (Oliveira et al., 2004). No entanto, apesar desses resultados, a densidade do solo de forma isolada, não pode ser considerada indicador adequado de melhor estado físico, uma vez que o sistema PD com maior densidade do solo tem mostrado maior conexão entre os macroporos, comparativamente aos sistemas convencionais com intenso cultivo (Schaefer et al., 2001).

A porosidade total foi influenciada pelos sistemas de preparo na camada de 0-5 cm, com os sistemas E30 e PC apresentando os maiores valores ($0,45 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$) (Tabela 1), o que está diretamente associado aos menores valores de densidade do solo. Em relação ao solo sob FN, observou-se, em todas as camadas, maior porosidade total em relação aos sistemas cultivados.

Os efeitos dos sistemas de preparo sobre as propriedades químicas foram variáveis, não se observando diferenças significativas para pH, potássio e H+Al em nenhuma das camadas, e magnésio nas camadas de 0-5; 5-10 e 10-20 cm.

Os teores de P disponível diminuíram com a profundidade e foram maiores ($p < 0,05$) nos sistemas E20 ($40,5 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $36,3 \text{ mg.dm}^{-3}$) e PD ($33,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $32,9 \text{ mg.dm}^{-3}$), respectivamente para as camadas de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 2).

Maiores teores de P nas camadas superficiais têm sido observados em diversos estudos (Bayer & Mielniczuk, 1997; Almeida et al., 2005) e podem ser atribuídos aos estoques mais elevados de carbono orgânico total, especi-

Tabela 1 - Características físicas de um Latossolo Amarelo nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm sob diferentes sistemas de preparo e floresta nativa de cerrados

Sistema	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Ds	Pt
		g.kg ⁻¹			g.cm ⁻³		m ³ .m ⁻³
E-20	0-5	53,38a	27,77a	7,25a	11,60 a	1,41 ab	0,43 ab
E-30		55,20a	27,22a	4,97b	12,60 a	1,38 b	0,45 a
PC		54,65a	25,32a	6,17a	13,92 a	1,39 b	0,45 a
PD		57,90a	25,04a	7,45a	9,60 b	1,43 a	0,40 b
FN		49,02	30,35	5,52	15,10	1,30	0,48
E-20	5-10	54,42a	25,89a	9,71a	12,10 b	1,36a	0,47a
E-30		57,21a	24,55a	5,14b	13,10 b	1,33a	0,47a
PC		53,01a	26,37a	5,51b	15,10 a	1,33a	0,47a
PD		52,80a	27,96a	5,01b	12,60 b	1,35a	0,46a
FN		49,12	28,25	6,52	16,10	1,31	0,47
E-20	10-20	53,84a	28,24a	5,32b	12,60a	1,33a	0,46a
E-30		56,51a	24,40a	7,16a	13,60a	1,30a	0,48a
PC		54,40a	24,08a	5,49b	15,35a	1,32a	0,47a
PD		53,99a	27,37a	5,29b	13,35a	1,35a	0,46a
FN		47,55	27,92	6,92	17,60	1,28	0,49
E-20	20-40	47,66a	28,56a	5,67b	17,10a	1,30a	0,48a
E-30		51,87a	24,09a	6,18b	17,85a	1,25a	0,50a
PC		51,27a	25,14a	5,49b	18,10a	1,30a	0,47a
PD		48,27a	26,24a	8,14a	17,35a	1,28a	0,49a
FN		47,40	25,27	6,22	21,10	1,23	0,51

E20: Escarificação até 20 cm; E30: Escarificação até 30 cm; PC: Plantio Convencional; PD: Plantio Direto; FN: Floresta Nativa; Ds: densidade do solo; PT: porosidade total. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Tabela 2 - Características químicas de um Latossolo Amarelo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, sob diferentes sistemas de preparo no leste maranhense

Sist.	Prof. cm	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTCe	V	
		1:2,5	mg.dm ⁻³	cmol _c .dm ⁻³								%
E-20	0-5	5,6a	40,5a	0,05a	1,34b	0,55a	0,18b	3,83a	1,94b	2,12b	33,6	
E-30		5,5a	22,4b	0,05a	1,01c	0,54a	0,32a	4,34a	1,60b	1,91b	27,0	
PC		5,4a	13,7c	0,07a	1,20b	0,56a	0,31a	4,38a	1,83b	2,14b	29,4	
PD		5,4a	33,8a	0,05a	1,53a	0,57a	0,16b	3,54a	2,15a	2,31a	37,7	
FN		5,3	2,0	0,04	2,13	1,25	0,63	3,56	3,42	4,05	48,9	
E-20	5-10	5,4a	36,3a	0,04a	1,22b	0,52a	0,24b	3,92a	1,78b	2,02a	31,2	
E-30		5,4a	18,8b	0,05a	0,77c	0,51a	0,43a	4,53a	1,33c	1,76a	22,6	
PC		5,3a	12,0c	0,05a	1,14b	0,51a	0,34b	4,52a	1,70b	2,04a	27,3	
PD		5,5a	32,9a	0,04a	1,43a	0,44a	0,21b	4,10a	1,91a	2,12a	31,7	
FN		5,1	1,40	0,03	0,81	0,97	0,90	5,80	1,81	2,71	23,7	
E-20	10-20	5,2a	14,1a	0,03a	0,98a	0,50a	0,38b	4,09a	1,51a	1,89a	26,9	
E-30		5,0a	18,1a	0,04a	0,51b	0,37a	0,65a	4,30a	0,92b	1,57a	17,6	
PC		5,3a	7,6b	0,04a	1,18a	0,54a	0,33b	4,04a	1,56a	1,89a	27,8	
PD		5,2a	15,6a	0,04a	1,03a	0,44a	0,42b	4,30a	1,51a	1,93a	25,9	
FN		4,9	0,91	0,02	0,58	0,47	0,89	4,97	1,07	1,96	17,7	
E-20	20-40	4,8a	1,64b	0,03a	0,44a	0,54a	0,73a	4,84a	1,01a	1,74a	17,2	
E-30		4,9a	6,77a	0,04a	0,46a	0,32b	0,72a	4,72a	0,82a	1,54a	14,8	
PC		4,9a	3,62b	0,04a	0,40a	0,30b	0,90a	4,87a	0,74a	1,64a	13,1	
PD		4,8a	2,3b	0,04a	0,39a	0,35b	0,82a	4,86a	0,78a	1,60a	13,8	
FN		5,0	0,90	0,01	0,46	0,40	0,81	4,89	0,87	1,68	13,8	

E20: Escarificação até 20 cm; E30: Escarificação até 30 cm; PC: Plantio Convencional; PD: Plantio Direto; FN: Floresta Nativa CTCe: Capacidade de Troca Catiônica Efetiva. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

alente no solo sob PD, capazes de complexar Al e Fe no solo, e à ausência da incorporação do fertilizante fosfatado, reduzindo-se a fixação de P (Hussain et al., 1999). Além disso, o aumento no P orgânico, devido à presença de resíduos na superfície do solo, pode ter contribuído para maiores quantidades deste elemento na camada superficial. Os teores de P no solo sob FN foram muito baixos em todas as camadas estudadas e menores do que aqueles verificados no solo sob sistemas de preparo.

O teor de cálcio trocável foi maior ($p < 0,05$) no sistema PD nas camadas de 0-5 cm ($1,53 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e 5-10 cm ($1,43 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do que nos demais sistemas e maior do que o sistema E30 na camada de 10-20 cm ($1,03 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) (Tabela 2). Teores superiores deste cátion na camada superficial sem revolvimento, podem ser atribuídos à adição de calcário na superfície e também à ciclagem de nutrientes, com a decomposição de resíduos aumentando a CTC da camada mais superficial do solo (Hussain et al., 1999). Estes resultados contrariam a argumentação de que a não incorporação do corretivo ao solo diminui sua superfície de contato com os colóides reduzindo a eficiência de aplicação e como resultado, a disponibilidade de Ca e Mg. Houve, similarmente ao fósforo,

redução nos teores de cálcio, com o aumento da profundidade, tanto nos sistemas convencionais quanto no plantio direto e, os teores no solo sob floresta, com exceção da camada superficial, foram menores do que aqueles observados nos solos sob cultivo devido essencialmente à inexistência de calagem e adubações.

Na camada de 0-5 cm, os menores teores de alumínio trocável foram observados nos sistemas PD ($0,16 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e E20 ($0,18 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e nas camadas 5-10 e 10-20 cm nos sistemas E20 ($0,24$ e $0,28 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) PC ($0,34$ e $0,33 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e PD ($0,21$ e $0,42 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) (Tabela 2). Este comportamento está associado às maiores quantidades de matéria orgânica existentes na superfície dos sistemas PD e E20 (Tabela 3) o que pode ter mantido o Al complexado, diminuindo sua atividade. Houve aumento nos teores de alumínio com aumento da profundidade em todos os sistemas de preparo e isto também pode ser associado à diminuição nos estoques de matéria orgânica do solo. Além disso, constatou-se que no solo sob floresta a presença de alumínio foi de maior magnitude do que nos sistemas cultivados, atingindo na camada superficial aumentos de 71; 49; 49 e 73%, respectivamente em relação aos sistemas E20, E30, PC e PD.

Tabela 3 - Teores e estoques totais de carbono (COT) e nitrogênio (NT) e relação C/N de um Latossolo Amarelo, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm, sob diferentes sistemas de preparo no leste maranhense

Sistema	Prof. cm	Teor		Estoque		Relação C/N
		COT	NT	COT	NT	
		dag.kg ⁻¹		Mg.ha ⁻¹		
E-20	0-5	1,02b	0,09a	7,19b	0,63a	11,4a
E-30		1,00b	0,09a	6,85b	0,62a	11,1a
PC		0,81c	0,07a	5,58c	0,48b	11,6a
PD		1,08a	0,10a	7,72a	0,71a	10,9a
FN		1,06	0,09	6,89	0,58	11,8
E-20	5-10	0,98a	0,08a	6,66a	0,54a	12,3a
E-30		0,98a	0,08a	6,46a	0,52a	12,4a
PC		0,89b	0,06a	5,87b	0,39a	15,0a
PD		1,02a	0,09a	6,83a	0,60a	11,4a
FN		0,83	0,07	5,40	0,45	12,0
E-20	10-20	0,50a	0,04a	3,32a	0,26a	12,7a
E-30		0,51a	0,04a	3,31a	0,26a	12,7a
PC		0,49a	0,04a	3,23a	0,26a	12,4a
PD		0,50a	0,05a	3,37a	0,27a	12,5a
FN		0,37	0,03	2,40	0,19	12,6
E-20	20-40	0,42a	0,03a	1,36a	0,13a	10,5a
E-30		0,41a	0,03a	1,28	0,12a	10,6a
PC		0,42a	0,03a	1,36a	0,14a	9,80a
PD		0,41a	0,03a	1,31a	0,13a	10,0a
FN		0,30	0,03	0,98	0,09	10,8

E20: Escarificação até 20 cm; E30: Escarificação até 30 cm; PC: Plantio Convencional; PD: Plantio Direto; FN: Floresta Nativa. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade.

Apesar dos teores de alumínio terem sido considerados altos, especialmente nos sistemas E30 e PC, não houve diferenças nas produtividades da cultura da soja sob os diferentes sistemas de preparo. Estes resultados confirmam que o crescimento da planta pode nem sempre estar relacionado à permutabilidade do alumínio como preconizado por Limousin & Tessier (2006).

A Soma de Bases (SB) foi maior no sistema PD, nas camadas de 0-5 cm ($2,15 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) e 5-10 cm ($1,91 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) em relação aos sistemas E20, E30 e PC (Tabela 2). Comparativamente aos sistemas cultivados, a SB no solo sob floresta foi, para camada 0-5 cm, 43; 53; 47 e 37% maior do que os sistemas E20, E30, PC e PD, respectivamente. Entretanto, com o aumento da profundidade esta superioridade foi verificada apenas em relação aos sistemas E20, E30 e PC (camada de 5-10 cm) e E30 (camada de 10-20 cm). Por outro lado, na última camada estudada (20-40 cm), a SB no solo sob FN ($0,87 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) foi novamente maior do que àquelas observadas nos sistemas cultivados.

Apenas na camada de 0-5 cm, a CTC efetiva foi maior no sistema PD ($2,31 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) decorrente especialmente do não-revolvimento do solo e da maior quantidade de resíduos vegetais aportados (Tabela 2). Efeitos positivos de sistemas conservacionistas sobre a CTCe e restritos às camadas superficiais, tem sido observado em outros trabalhos (Bayer & Mielniczuk, 1997; De Maria et al., 1999b). Similarmente à SB, no solo sob FN foi observado valores maiores de CTC e em relação aos sistemas cultivados, em todas as camadas estudadas, com exceção apenas do sistema E20, na camada de 20-40 cm (Tabela 2).

Na camada de 0-5 cm, os teores e estoques de COT foram maiores no sistema PD ($7,72 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em relação aos sistemas E20 e E30, os quais foram superiores ao sistema PC (Tabela 3). Por outro lado, com aumento da profundidade, observou-se apenas na camada 5-10 cm, superioridade dos tratamentos PD, E20 e E30 em relação ao PC. Estes resultados estão de acordo com aqueles observados na maioria dos estudos, que preconizam a existência de maiores estoques de COT sob PD em comparação com os sistemas convencionais e que esse acúmulo é restrito às camadas superficiais (Bayer et al., 2006). Em sistemas menos perturbados pelo preparo do solo, como o PD, ou em menor grau, aqueles com uso apenas de escarificadores, os resíduos culturais são depositados na superfície do solo e, após a decomposição, promovem o aumento nos estoques de COT na camada superficial, o que pode ser complementado pela decomposição das raízes, mais abundantes na superfície. Por outro lado, nos sistemas conven-

cionais, a aeração e temperatura comparativamente maiores e a destruição dos agregados pela ação dos implementos, expõe a matéria orgânica fisicamente protegida ao ataque microbiano, promovendo a perda de COT e diminuindo a capacidade do solo em estocar carbono, conforme também constatado por Leite et al. (2003) em Latossolos de Minas Gerais. O incremento nos estoques de COT no sistema PD, não foi observado em camadas mais profundas, o que pode ser atribuído ao curto tempo de adoção desse sistema e à cultura de cobertura usada no sistema (milheto) que tem apresentado altas taxas de decomposição, decorrentes especialmente, dos elevados índices de temperatura e umidade verificados na região sob estudo.

Em relação ao solo sob FN, observou-se, na camada de 0-5 cm, aumento nos estoques de COT apenas em relação ao sistema PC (19%) (Tabela 3). Os sistemas PD e E20 apresentaram, respectivamente, estoques 12 e 4% maiores do que a FN, o que indica a tendência desses sistemas em seqüestrar carbono. Estes resultados podem ser decorrentes do provável maior aporte de resíduos pelas culturas do que pelas plantas do Cerrado nativo, como também verificado por Bayer et al. (2006) em Latossolo Vermelho Amarelo nos cerrados do centro-oeste brasileiro. Para as demais camadas, os estoques de COT dos sistemas cultivados foram maiores do que aqueles observados na floresta nativa, ratificando os menores aportes de resíduos culturais no solo sob floresta, mesmo comparando-se com os sistemas convencionais.

Os teores de nitrogênio total (NT) não diferiram entre os sistemas estudados. No entanto, com os cálculos de estoques, observou-se, para a camada de 0-5 cm, maiores valores para o sistema PD ($0,71 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$), E20 ($0,63 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e E30 ($0,62 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) em relação aqueles observados no sistema PC (Tabela 3), o que também, similarmente ao COT, está associado as menores taxas de decomposição dos sistemas mais conservacionistas, principalmente nas camadas superficiais. Além disso, em especial no sistema PD, há menor perda por lixiviação (NO_3^-) ou em formas gasosas (via volatilização de NH_3 ou denitrificação), devido à menor mineralização estimulada pela ausência de preparo (Sisti et al., 2003).

Em todos os sistemas, a densidade das raízes diminuiu sendo a profundidade, com a maior redução observada no PD e a menor no sistema PC. Apesar disso, nas duas camadas estudadas, não se observaram diferenças significativas entre os sistemas conservacionistas e convencionais (Tabela 4), o que pode estar associado aos elevados coeficientes de variação encontrados. Segundo De Maria

Tabela 4 - Valores médios de densidade, comprimento e diâmetro radicular da soja nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, sob diferentes sistemas de preparo do solo no leste maranhense

Prof. do solo (cm)	Plantio direto (PD)	Grade (PC) (18-20cm)	Escarificação até 20 cm (E20)	Escarificação até 30 cm (E30)	CV (%)
² Densidade de raízes (% de área)					
0 a 20	0,69 (0,86)a	0,67 (0,70)a	1,08 (0,77)a	1,51 (0,88)a	62,05
20 a 40	0,11 (0,14)a	0,29 (0,30)a	0,32 (0,23)a	0,21 (0,12)a	45,80
Total	0,80	0,96	1,40	1,72	
Comprimento de raízes (cm)					
0 a 20	57,39a	78,97ab	98,84ab	109,07 b	23,71
20 a 40	12,33a	30,67ab	29,76ab	31,91 b	32,71
Total	69,72	109,64	128,6	140,98	
Diâmetro de raízes (cm ² /cm)					
0 a 20	0,009a	0,007a	0,011a	0,007a	32,0
20 a 40	0,007a	0,007a	0,007a	0,008a	16,40

E20: Escarificação até 20 cm; E30: Escarificação até 30 cm; PC: Plantio Convencional; PD: Plantio Direto; FN: Floresta Nativa¹ Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Os algarismos entre parênteses correspondem ao percentual do total da densidade radicular relativo à profundidade.

et al. (1999a), a interpretação dos dados de densidade e comprimento de raízes, apresenta dificuldades, principalmente pela grande variação dos valores entre repetições, especialmente nos tratamentos com escarificador e na semeadura direta, onde a estrutura do solo, não é uniforme. É provável que a taxa mais elevada de redução da densidade de raízes em profundidade observada no sistema PD seja indicativo de que no preparo com menor revolvimento do solo ocorra distribuição menos efetiva das raízes em profundidade.

O preparo do solo com escarificação mais profunda (E30), embora presente em números absolutos densidade maior de raízes na camada 0-20 cm, foi proporcionalmente semelhante ao encontrado no sistema PD. A menor densidade de raízes na camada 20-40 cm, neste tipo de preparo, ocorreu, provavelmente, devido à ação de impedimentos químicos observados na camada mais profunda do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Beutler & Centurion (2004), em Latossolo Vermelho de textura média, os quais constataram que, no tratamento solo revolvido e não trafegado, ocorreu melhor distribuição do sistema radicular da soja em profundidade e maior concentração até 10 cm de profundidade.

Analisando-se as porcentagens de raízes por tratamento em função da profundidade (Tabela 4), verificou-se que mais de 86% das raízes foram concentradas na camada mais superficial (0-20 cm) nos tratamentos PD e E30. Por outro lado, nos outros dois tratamentos, este percentual esteve abaixo de 77%, indicando que o preparo com a grade (PC) e a escarificação menos profunda (E20), apresentaram distribuição do sistema radicular mais

uniforme em profundidade, similarmente ao observado por De Maria et al. (1999a).

O comprimento radicular foi afetado significativamente pelos tratamentos tanto na camada 0-20 cm, como na camada 20-40 cm (Tabela 4). Na camada superficial, o sistema E30 apresentou comprimento duas vezes superior a aquele observado no PD, embora sem diferir dos tratamentos PC e E20. Tormena et al. (2002), constataram redução no desenvolvimento radicular da cultura do milho no sistema plantio direto no segundo ano de execução do experimento. No tratamento E30, 77% do comprimento radicular concentraram-se na camada 0-20 cm, enquanto no PD, o comprimento obtido foi de 82%, indicando que o sistema radicular no PD concentrou-se mais superficialmente. A maior concentração do sistema radicular da soja na camada mais superficial do solo no plantio direto poderia resultar em vantagem em um período em que o balanço hídrico fosse positivo, visto que essa é a camada que recebe adubo e calcário. Todavia, referindo-se ao capim Cameron (*Pennisetum purpureum* Schumac.), sob condições de solos de tabuleiros, Carvalho et al. (2001) afirmam que tal condição poderia resultar em maior suscetibilidade da planta à anaerobiose nos períodos de saturação e ao déficit hídrico nos momentos de estiagem.

Geralmente a resistência mecânica do solo, provocada pela densidade do solo, causa o aumento do diâmetro radicular na camada adensada (Materechera et al., 1992). Entretanto, no presente trabalho, não foram verificadas alterações significativas com relação ao diâmetro radicular. Os níveis críticos de densidade que restrin-

gem o crescimento radicular da cultura, provavelmente não foram atingidos, ou foram reduzidos pelo teor de água disponível no solo no período de cultivo da soja, já que esta é cultivada nos meses mais úmidos do ano, entre fevereiro e abril. Esses valores críticos variam entre os autores. Cintra & Mielniczuk (1983), encontraram restrições para o desenvolvimento do sistema radicular de soja, em Latossolo argiloso, com densidades de solo de 1,3 mg.m⁻³. Por outro lado, Rosolem et al. (1994), encontraram restrição a partir de 1,25 mg.m⁻³ e total impedimento a partir de 1,72 mg.m⁻³, em Latossolo arenoso. A relação entre o crescimento radicular e os atributos do solo avaliados mostrou que o sistema radicular teve o comprimento radicular reduzido e sua distribuição em profundidade alterada com o emprego de preparo do solo com o mínimo de revolvimento do solo.

Conclusões

1. Os sistemas escarificação até 20 cm e plantio direto aumentaram os teores de nutrientes e os estoques de carbono e nitrogênio, especialmente nas camadas superficiais.
2. A densidade e o diâmetro de raízes não foram influenciados pelos sistemas de preparo e o maior comprimento radicular foi observado no tratamento escarificação até 30 cm.
3. Embora não tenham influenciado o crescimento radicular da soja, os sistemas mais conservacionistas melhoraram a qualidade do solo, e podem, em médio e longo prazos, serem adotadas como importantes estratégias de manejo para as áreas de cerrado do nordeste maranhense.

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Distrófico Cultivado e sob Mata Nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-346, 2004.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO L.; MIELNICZUK J.; PAVINATO; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v.86, p.237-245, 2006.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.6, p.581-588, 2004.
- BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- BREMNER, J. M. Nitrogen total. In: SPARKS, D.L. ed. Methods of soil analysis. Part 3. **Madison, America Society of Agronomy**, 1996. p.1085-1121 (SSSA Book Series:5).
- CARVALHO, S .R. L.; REZENDE, J. de O; FERNANDES, J. C.; PEREIRA, A. P. Caracterização e avaliação de leguminosas e gramíneas com alto poder relativo de penetração de raízes em solo coeso dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano (Etapa I) In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Aracaju, p. 261-291, 2001.
- CHASSOT A.; STAMP, P.; RICHER, W. Root Distribution and morphology of maize seedlings as affected by tillage and fertilizer placement. **Plant and Soil**, v.231, p.123-135, 2001.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.197-201, 1983.
- CRESTANA, S.; GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. A. C.; RALISCH, R.; TOZZI, C. L.; TORRE-NETO, A.; VAZ, C. M. P. Avaliação da distribuição de raízes no solo auxiliada por processamento de imagens digitais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, n.3, p.365-371, 1994.
- DE MARIA I. C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.703-709, 1999a.
- DE MARIA, I. C.; NNABUDE, P. C.; CASTRO, O. M. de. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.51, p.71-79, 1999b.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análise de Solo. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos - 2 ed.** 1997. 212p.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows: versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, p.255-258, 2000.
- GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado da compactação do solo em áreas cultivadas no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.223-227, 2002.
- HUSSAIN, I.; OLSON, K. R. & EBELHAR, S. A. Long term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. **Soil Science Society American Journal**, v.63, p.1335-1341, 1999.
- JORGE, L. A. C. ; RALISCH, SR.; ABI SAAB, O. J. G.; MEDINA, C. C.; GUIMARÃES, M. F.; NEVES, C. S. V. J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F. L. D.; BASSOI, L. H.; FERNANDES, S. B. V. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos-SP: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. (Circular Técnica, 1).

- KAY, B. D.; ANGERS, D. A. Soil Structure. In: SUMNER A. ed. **Handbook of Soil Science**. Boca Raton, CRC Press. p.229-276, 1999.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S., MACHADO, P. L. O. A., MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal Soil Research**, v.41, p.717-730, 2003.
- LIMOUSIN, G.; TESSIER, D. Effects of no-tillage on chemical gradients and topsoil acidification. **Soil & Tillage Research**. 2006. (no prelo)
- MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil**, v.144, p.297-303, 1992.
- MELLO IVO, W. M. P.; MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.135-143, 1999.
- OIN, R. STAMP, P.; RICHNER, W Impact of tillage on maize rooting in a Cambissol and Luvisol in Switzerland. **Soil & Tillage Research**, v.85, p.50-61, 2006.
- OLIVEIRA, M. S.; DIAS JÚNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2. p.327-336, 2004.
- ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, p.259-266, 1994.
- SCHAEFER, C.E.G.R; SOUZA, C.M; VALLEJOS, F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. & RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 765-776, 2001.
- SISTI, C. P. J; SANTOS, H. P.; KOHHAM, R.; ALVES, B. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2003.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.da; GONÇALVES, A. C. A.; Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, n.4., 2002.
- YEOMANS, J. C. & BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Commun. Soil Science Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988.