

Avaliação de atributos químicos do solo após a colheita da cana-planta em sistema de plantio direto e convencional¹

A post harvest evaluation of soil chemical characteristics after cultivating sugar cane either by a no-tillage or by the conventional system¹

José Barbosa DUARTE JÚNIOR², Fábio Cunha COELHO³

¹ Parte do trabalho da Tese de Doutorado do primeiro autor

² Eng^o Agr^o, D.Sc., Professor Adjunto, Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias - CCA, Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE / Campus de Marechal Cândido Rondon / CEP 85960-000 / Marechal Cândido Rondon – PR, E-mail: bduarte7@yahoo.com.br

³ Eng^o Agr^o, D.Sc., Professor Associado, Setor de Grandes Culturas / LFIT / CCTA / UENF / Av. Alberto Lamego, 2000 / CEP 28013-620 / Campos dos Goytacazes – RJ. E-mail: fcoelho@uenf.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar a fertilidade do solo, logo após a colheita da cana-planta, em sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de leguminosas, em comparação ao plantio convencional (PC) com vegetação espontânea incorporada ao solo; e em ambos os manejos a colheita foi de cana crua. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, num esquema fatorial 4x2. Os tratamentos foram: (I) – cana em plantio convencional com vegetação espontânea incorporada com adubação e (II) – idem I sem adubação; (III) – cana no sistema de plantio direto sobre palhada de feijão-de-porco com adubação e (IV) – idem III sem adubação; (V) – cana no sistema de plantio direto sobre palhada de mucuna-preta com adubação e (VI) – idem V sem adubação e (VII) – cana no sistema de plantio direto sobre palhada de *Crotalaria juncea* com adubação e (VIII) – idem VII sem adubação. O sistema de plantio direto utilizando a prática inerente da adubação verde na cultura da cana-de-açúcar, após o primeiro corte, proporcionou, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, aumento no teor de carbono e matéria orgânica 14 e 13% maior do que no preparo convencional do solo. A cana-de-açúcar obteve rendimento 37% maior de colmos quando cultivada em sistema de plantio direto do que no preparo convencional do solo.

Palavras-chave adicionais: *Saccharum* spp.; matéria orgânica; carbono.

Abstract

The objective of this experiment was to evaluate the fertility of the soil, right after the crop of the sugar cane in no-tillage system (SPD) over legumes straw, in comparison to the conventional (PC) one with spontaneous vegetation incorporated to the soil, both handlings without the previous burning for the crop of the cane. The experimental design was completely random, using four repetitions, in a factorial outline 4x2. The treatments were: (I) – sugar cane in conventional tillage incorporated spontaneous vegetation with manuring and (II) – the same procedure as in I without manuring; (III) – sugar cane in no-tillage system over jack bean with manuring and (IV) – the same procedure as in III without manuring; (V) – sugar cane in no-tillage system over velvet bean with manuring and (VI) – the same procedure as in V without manuring and (VII) – sugar cane in no-tillage system over sunnhemp with manuring and (VIII) - the same procedure as in VII without manuring. The no-tillage system using the inherent practice of the green manuring in the culture of the sugarcane, after the first cut, has provided in the layer from 0 to 5 cm of depth, increase in the content of carbon and matter organic 14 and 13% higher than in the conventional preparation of the soil. The sugarcane obtained income 37% higher of stems when cultivated in no-tillage system than in the conventional preparation of the soil.

Additional keywords: *Saccharum* spp.; organic matter; carbon.

Introdução

O solo é um recurso natural precioso e importante dentro da propriedade agrícola. A degradação dos solos inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subsequentes, não racionais, acelerando a decomposição da matéria orgânica e as perdas de nutrientes que, em muitos casos, não são repostos na mesma proporção ao longo do tempo. Em dado momento, os níveis de nutrientes podem-se tornar tão baixos que inviabilizam a produção agrícola, caracterizando um estágio avançado da degradação (SOUZA & MELO, 2000).

A sustentabilidade da agricultura depende, dentre outros fatores, do uso de práticas conservacionistas que minimizem a degradação dos solos e reduzam suas perdas. No caso da sustentabilidade da produção agrícola, o solo deve merecer atenção especial, pois sua degradação pelo uso inadequado pode tornar essa atividade inviável do ponto de vista econômico e ambiental (MIELNICZUK, 1997).

O uso de sistemas conservacionistas, como o plantio direto, que engloba a adubação verde e a rotação de culturas, é capaz de proporcionar essa sustentabilidade, com elevação nos teores de nitrogênio potencialmente mineralizável em mais de 80%, redução de perdas via imobilização por microrganismos do solo (SOUZA & MELO, 2000), elevação pronunciada dos teores de carbono orgânico, matéria orgânica, Ca, Mg, K, fósforo disponível, pH e CTC efetiva, redução de Al na camada superficial do solo (SANTOS et al., 1995; CIOTTA et al., 2002; FALLEIRO et al., 2003), sendo que esses efeitos são mais pronunciados a médio e a longo prazos no plantio direto. Isto também depende das características do material adicionado à superfície do solo, da sequência de culturas adotada, do manejo empregado no solo, do tempo de adoção dessas práticas e do tipo de manejo adotado para manejar as plantas de cobertura (MENGEL, 1996; LIMA, 2002).

Com a adoção do sistema de plantio direto na cana-de-açúcar, não há mais queima prévia antes da colheita. A adição de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar por um longo período, pela preservação da palhada por ocasião da colheita, altera as propriedades químicas do solo e proporciona melhoria na fertilidade do solo e na qualidade da matéria orgânica do solo com aumento de substâncias húmicas alcalinossolúveis mais condensadas (CANELLAS et al., 2003). A colheita da cana sem queima da palha resulta em maiores teores de magnésio, carbono orgânico e da biomassa microbiana do solo (MENDONZA et al., 2000). Os resíduos liberam carbono, nitrogênio

e outros elementos simples durante o processo de decomposição, dos quais parte retorna à atmosfera na forma de gás (CO₂, NH₃, etc.), parte é imobilizada pelos microrganismos decompositores, parte permanece na forma prontamente disponível para as plantas e o restante é perdido por lixiviação ou direcionado à produção de substâncias húmicas (CERRI et al., 1992; VICTORIA et al., 1992). As práticas de manejo que visam à cobertura e proteção do solo com resíduos de plantas condicionam uma acentuada recuperação da fertilidade e, conseqüentemente, um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas cultivadas (SIDIRAS & PAVAN, 1985).

O sistema de plantio direto é um dos sistemas agropecuários que, depois dos agroflorestais, mais se aproxima do sistema ecológico natural, tal como a floresta ou o campo nativo, pois é aquele que proporciona mais condições de melhorar a qualidade do solo (SOUZA & ALVES, 2003). No plantio direto, não há revolvimento do solo e preconiza-se a manutenção de uma cobertura permanente (verde e/ou morta) na superfície do solo por meio da adubação verde e da manutenção dos resíduos culturais das culturas de interesse comercial, dentro de uma rotação de culturas previamente planejada. Nesse sentido, deve ser estudado e utilizado como um importante instrumento para garantir a sustentabilidade da agropecuária, pois reúne um conjunto de práticas capazes de fazer conservar a fertilidade do solo ao longo do tempo.

Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a fertilidade do solo, logo após a colheita da cana-planta em sistema de plantio direto sobre palhada de leguminosas, em comparação ao sistema de plantio convencional com vegetação espontânea incorporada ao solo, em ambos os manejos sem queima prévia para a colheita da cana.

Material e métodos

O experimento de campo foi conduzido na Fazenda Abadia, no município de Campos dos Goytacazes (situado a 21°44'47" de latitude sul e 41°18'24" de longitude oeste com altitude de 12 metros), no Estado do Rio de Janeiro, durante o período de 1º de dezembro de 2003 a 1º de julho de 2005.

Utilizou-se um Cambissolo Ta eutrófico argiloso, com boa drenagem, e textura argilossiltosa, em torno de 38; 52 e 10% de argila, silte e areia, respectivamente. O histórico de adubação da cana cultivada nessa área por cerca de 30 anos, pelo menos nos últimos 10 anos, foi totalmente sem

aplicação de adubo no plantio e em cobertura na cana-soca. A análise química do solo de toda a área, anterior à instalação do experimento, evidenciou valores de pH (H_2O) = 5,5; S-SO₄ = 47,0 (mg dm⁻³); P = 3,5 (mg dm⁻³); K⁺ = 0,25 (cmol_c dm⁻³); Ca⁺⁺ = 4,6 (cmol_c dm⁻³); Mg⁺⁺ = 1,8 (cmol_c dm⁻³); Al⁺⁺⁺ = 0,1 (cmol_c dm⁻³); H⁺+Al = 3,8 (cmol_c dm⁻³); Na⁺ = 0,1 (cmol_c dm⁻³); C = 16,5 (g dm⁻³); M.O. = 28,5 (g dm⁻³); Fe = 69,0 (mg dm⁻³); Cu = 2,0 (mg dm⁻³); Zn = 2,3 (mg dm⁻³); Mn = 15,4 (mg dm⁻³) e B = 0,4 (mg dm⁻³). A calagem foi realizada em novembro de 2003, com quatro meses de antecedência do plantio da cana, aplicando-se calcário calcítico com PRNT de 80%, na dose de 0,79 tonelada por hectare, baseado na elevação da saturação de bases para 70%. Foi aplicado como melhorador da fertilidade do solo o gesso agrícola, tomando-se por base 30% da recomendação de calagem, o que resultou na dose de 0,23 tonelada por hectare.

Posteriormente, foram cultivados os adubos verdes crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*), sendo para ambas utilizado o espaçamento de 0,5 m entre linhas, e 18; 3 e 5 sementes por metro linear, respectivamente, objetivando cobertura e a proteção do solo, a acumulação de nutrientes e a formação de palhada para a implantação do sistema de plantio direto de cana-de-açúcar. Não foi realizado nenhum tipo de adubação para o cultivo das plantas de cobertura. Aos 92 dias após a emergência (DAE), as plantas de cobertura foram manejadas, e a quantidade de massa seca acumulada da *Crotalaria juncea*, feijão-de-porco, mucuna-preta e vegetação espontânea foi de aproximadamente 18; 13; 10 e 4 t ha⁻¹, respectivamente.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, num esquema fatorial 4x2. Os tratamentos foram: (I) – cana em sistema de plantio convencional com vegetação espontânea incorporada, com adubação e (II) – idem I, sem adubação; (III) – cana em sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de feijão-de-porco, com adubação e (IV) – idem III sem adubação; (V) – cana SPD sobre palhada de mucuna-preta com adubação e (VI) – idem V sem adubação e (VII) – cana SPD sobre palhada de *Crotalaria juncea*, com adubação e (VIII) – idem VII sem adubação.

A parcela ou unidade experimental de 11 m de largura e 11 m de comprimento teve 8 linhas espaçadas de 1,3 m para a cana-de-açúcar, totalizando 121 m². A área total do experimento foi de 3.872 m². Os blocos foram dispostos seguindo transversalmente o gradiente de argila do terreno, determinado pela análise textural do solo, com uma faixa de 2 m sepa-

rando os blocos. Foi utilizada a variedade SP80-1842, em plantio de cana de ano e meio.

Nas parcelas da cana convencional, preparou-se o solo com uma aração média e duas gradagens. Em 30 de março de 2004, fez-se a sulcação e, posteriormente, fez-se o plantio manual da cana com e sem adubação na base, com sulcos de 0,4 m de profundidade, para os sistemas de plantio direto e convencional. Nos tratamentos com adubação, foram aplicados 98 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples) e K₂O (cloreto de potássio), respectivamente, com a expectativa de produtividade de 150 t ha⁻¹. Foi considerada emergência da cana-de-açúcar a época em que, aproximadamente, 50% dos brotos emergiram (5 de maio de 2004).

As amostras de solo foram coletadas em agosto de 2005, com auxílio de trado tipo Sonda. Fizeram-se as coletas na área útil (18,2 m²) de cada unidade experimental, aleatoriamente, em cinco pontos na linha e cinco na entrelinha (“banco”) da cana, totalizando dez amostras simples, logo após a colheita da cana crua. A amostragem foi efetuada nas camadas de 0-5 cm e 5-20 cm de profundidade. As amostras compostas foram encaminhadas para análise química ao Laboratório de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Câmpus Leonel Miranda, em Campos dos Goytacazes – RJ.

Analysaram-se as amostras para os seguintes atributos químicos: pH em água; matéria orgânica; Ca, Mg e Al trocáveis; P e K disponível (Mehlich-1) e H + Al (EMBRAPA, 1997). Com os resultados, calcularam-se a CTC efetiva (t) e CTC a pH 7,0 (T); além de determinar Fe, Cu, Zn e Mn (EMBRAPA, 1997).

Os resultados dos atributos químicos foram submetidos à análise estatística (FERREIRA, 2000; RIBEIRO JÚNIOR, 2001).

Resultados e discussão

Os resumos das análises de variância dos atributos químicos do solo estão apresentados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4. A influência ou os efeitos dos sistemas de plantio direto (SPD) e do plantio convencional (PC) sobre esses atributos químicos do solo somente foram significativamente diferentes na interação sistema de manejo do solo (SMS) x adubação (ADU), para o pH nas duas profundidades (0-5 cm e 5-20 cm) e para o ferro a 5-20 cm de profundidade.

Quanto às demais determinações químicas do solo, nas profundidades de 0-5 cm e 5-20 cm constataram-se efeitos significativos dos sistemas de manejo do solo somente sobre carbono orgânico, matéria orgânica, cobre, zinco, manganês (profundidade de 0-5 cm) e, isoladamente, o zinco (5-20 cm) (Tabelas 2 e 4).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância dos dados de pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), H (hidrogênio)+Al e sódio (Na) em um cambissolo eutrófico na camada de 0-5 cm, na Fazenda Abadia, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Analysis of variance of data of pH, phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), H (hydrogen)+Al, and sodium (Na) contents of the 0–5 cm layer of the soil used in the experiment.*

^{1/} FV	GL	Quadrados Médios							
		pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na
^{1/} SMS	3	0,06698*	4,03125	1174,030	1,51865	0,10917	0,01365	0,20615	0,00031
^{1/} ADU	1	0,02531	9,03125	621,281	2,82031	0,01125	0,00031	0,05281	0,00019
SMSxADU	3	0,06948*	1,53125	1385,950	1,68948	0,02708	0,00531	0,25115	0,00087
Bloco	3	0,07281*	3,11458	3951,870*	1,57531	0,21917*	0,00615	0,09948	0,00015
Resíduo	21	0,01924	2,25744	473,317	0,87555	0,07357	0,00591	0,17852	0,00048
Total	31								
CV (%)		3	22	20	15	8	164	8	19

^{1/} FV = Fonte de variação; SMS = Sistemas de Manejo do Solo (sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de crotalária, SPD sobre palhada de feijão-de-porco, SPD sobre palhada de mucuna-preta e sistema convencional de preparo do solo (PC) com a vegetação espontânea incorporada); ADU = Com e Sem adubação por ocasião do plantio.

^{1/} FV = source of variation. SMS : soil management system. ADU : with and without soil fertilization.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância dos dados de carbono (C), matéria orgânica (M.O.), CTC potencial (CTC pot.), CTC efetiva, ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) em um cambissolo eutrófico na camada de 0-5 cm, na Fazenda Abadia, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Analysis of variance of data of carbon (C), organic matter (M.O.), potencial CEC (CTC pot.), effective CEC (CTC efetiva), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn) contents of the 0-5 cm layer of the soil used in the experiment.*

^{1/} FV	GL	Quadrados Médios							
		C	M.O.	CTC pot.	CTC efetiva	Fe	Cu	Zn	Mn
^{1/} SMS	3	0,08213*	24,2278*	75,9028	2,47750	421,500*	0,58333*	234,5670*	43,8687*
^{1/} ADU	1	0,01125	3,18781	38,9403	2,64500	112,500	0,04500	22,1113	5,20031
SMSxADU	3	0,00468	1,36531	86,6478	2,21083	571,500*	0,01500	19,9821	6,79365
Bloco	3	0,00890	2,67115	66,3528	2,25583	61,5000	0,06000	18,9988	0,16115
Resíduo	21	0,00446	1,31567	65,7526	1,14107	82,0714	0,07429	13,7088	14,0440
Total	31								
CV (%)		4	4	49	11	11	13	65	20

^{1/} FV = Fonte de variação; SMS = Sistemas de Manejo do Solo (sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de crotalária, SPD sobre palhada de feijão-de-porco, SPD sobre palhada de mucuna-preta e sistema convencional de preparo do solo (PC) com a vegetação espontânea incorporada); ADU = Com e Sem adubação por ocasião do plantio.

^{1/} FV = source of variation. SMS : soil management system. ADU : with and without soil fertilization

Tabela 3 - Resumo da análise de variância dos dados de pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), H (hidrogênio)+Al e sódio (Na) em um cambissolo eutrófico na camada de 5-20 cm, na Fazenda Abadia, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Analysis of variance of data of pH, phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), H (hydrogen)+Al, and sodium (Na) contents of the 5–20 cm layer of the soil used in the experiment.*

^{1/} FV	GL	Quadrados Médios							
		pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Na
^{1/} SMS	3	0,09417*	74,6979	293,250	0,56375	0,02875	0,00875	0,16865	0,00073
^{1/} ADU	1	0,10125	205,031	0,000	0,72000	0,10125	0,02000	0,05281	0,00020
SMSxADU	3	0,18375*	74,0313	295,917	1,37083	0,00708	0,00417	0,34115	0,00034
Bloco	3	0,05000	69,2813	254,750	1,86208	0,28042	0,00542	0,03865	0,00028
Resíduo	21	0,03024	64,3765	332,583	0,91470	0,07661	0,00923	0,25436	0,00054
Total	31								
CV (%)		3	114	34	15	9	140	10	17

^{1/} FV = Fonte de variação; SMS = Sistemas de Manejo do Solo (sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de crotalária, SPD sobre palhada de feijão-de-porco, SPD sobre palhada de mucuna-preta e sistema convencional de preparo do solo (PC) com a vegetação espontânea incorporada); ADU = Com e Sem adubação por ocasião do plantio.

^{1/} FV = source of variation. SMS : soil management system. ADU : with and without soil fertilization

Tabela 4 - Resumo da análise de variância dos dados de carbono (C), matéria orgânica (M.O.), CTC potencial (CTC pot.), CTC efetiva, ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) em um cambissolo eutrófico na camada de 5-20 cm, na Fazenda Abadia, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Analysis of variance of data of carbon (C), organic matter (M.O.), potencial CEC (CTC pot.), effective CEC (CTC efetiva), iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), and manganese (Mn) contents of the 5-20 cm layer of the soil used in the experiment.*

^{1/} FV	GL	Quadrados Médios							
		C	M.O.	CTC pot.	CTC efetiva	Fe	Cu	Zn	Mn
^{1/} SMS	3	0,01661	5,01758	0,87254	0,55619	82,1250	0,25125	197,056*	19,1637
^{1/} ADU	1	0,00405	1,24425	0,09901	0,47045	253,1250	0,03125	16,2450	5,69531
SMSxADU	3	0,01376	4,11725	0,49607	1,42409	484,1250*	0,14125	15,1525	10,3512
Bloco	3	0,01677	5,02892	3,92137*	3,23583	211,1250	0,17458	10,0008	4,79198
Resíduo	21	0,00787	2,35315	0,72137	1,17202	96,2679	0,10601	11,3918	13,4382
Total	31								
CV (%)		6	6	6	11	11	15	67	24

^{1/} FV = Fonte de variação; SMS = Sistemas de Manejo do Solo (sistema de plantio direto (SPD) sobre palhada de crotalária, SPD sobre palhada de feijão-de-porco, SPD sobre palhada de mucuna-preta e sistema convencional de preparo do solo (PC) com a vegetação espontânea incorporada); ADU = Com e Sem adubação por ocasião do plantio.

^{1/} FV = source of variation. SMS : soil management system. ADU : with and without soil fertilization

O pH do solo, na profundidade de 0 a 5 cm, foi 5% menor na área de cana adubada em SPD sobre palhada de mucuna quando comparada à mesma área não adubada e, inversamente, o Fe

foi 21% maior na área de cana adubada em SPD sobre mucuna quando comparada à mesma área não adubada (Tabela 5).

Tabela 5 - Níveis de pH e ferro (Fe) para duas profundidades em um cambissolo eutrófico, obtidos após a colheita de cana-de-açúcar de ano e meio em função do sistema de plantio direto (SPD) e convencional (PC), sobre diferentes plantas de cobertura, com e sem adubação no plantio, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Content of pH and Fe at two soil depth after harvesting a year-and-a-half sugar cane cultivated either in a no-tillage (SPD) system or in the conventional tillage (PC) system over different cover crops, with and without soil fertilization*

¹ SMS	Adubação no plantio (ADU)			
	² 00-20-60	00-00-00	00-20-60	00-00-00
Camada 0-5 cm		Camada 5-20 cm		
----- pH em água -----				
CR/cana SPD	³ 5,15Aab	5,18Aa	5,33Aa	5,05Ba
FP/cana SPD	5,05Ab	5,15Aab	4,90Bb	5,20Aa
MP/cana SPD	4,95Bb	5,22Aab	4,95Bb	5,35Aa
VE/cana PC	5,37Aab	5,20Aa	5,30Aa	5,32Aa
CV (%)	2,69		3,36	
----- Fe (mg dm ⁻³) -----				
CR/cana SPD	76,50Ba	103,50Aa	73,50Ba	102,00Aab
FP/cana SPD	84,00Aa	85,50Ab	91,50Aa	90,00Aab
MP/cana SPD	79,50Aa	66,00Bc	82,50Aa	84,00Aab
VE/cana PC	84,00Aa	84,00Ab	88,50Aa	82,50Ab
CV (%)	10,93		11,30	

¹ SMS = sistema de manejo do solo; SPD = plantio direto; PC= plantio convencional; CR= *Crotalaria juncea*; FP= feijão-de-porco; MP = mucuna-preta e VE = vegetação espontânea; ² Foram aplicados por ocasião da semeadura 98 e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O, respectivamente; ³ Médias na linha, seguidas por letras maiúsculas diferentes, e na coluna, seguidas por letras minúsculas diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

¹ SMS = soil management system; SPD = no-tillage system; PC = conventional system; CR = sunnhemp; FP = jack bean; MP = velvet bean; and VE = spontaneous vegetation; ² At planting time 98 and 80 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and K₂O respectively were applied; ³ Means in the same line followed by the same large case letter and in the columns by the same small case letter are not significantly different at the 5% level of probability according to the Tukey's test.

Em plantio direto, em outro trabalho realizado no Estado do Paraná, foi observada a ocorrência de acidificação na camada superficial do solo (0 - 5 cm), evidenciada pelos menores valores de pH e maior concentração e saturação por Al, em comparação ao solo em preparo convencional. As maiores concentrações de Ca, Mg, K e de P na fase sólida e na solução, bem como os maiores teores de carbono orgânico total e solúvel, atuam na minimização do efeito negativo da acidificação do solo em plantio direto, contribuindo para a obtenção de maiores ou equivalentes rendimentos das culturas nesse sistema conservacionista de manejo do solo (CIOTTA et al., 2002).

Entretanto, neste trabalho, podem-se observar pequenas alterações na concentração de Al³⁺, quando da comparação entre os diferentes tratamentos em estudo, mas não sendo diferentes estatisticamente (P≤0,05). Porém, os possíveis efeitos da calagem e gessagem, realizadas em novembro de 2003, podem ser verificados com a

diminuição de 40% no nível de Al³⁺ de 0,1 cmol_c dm⁻³ para 0,6 cmol_c dm⁻³, em média de 0 a 20 cm de profundidade, sendo os dados apresentados no resultado da análise do solo e na Tabela 6.

Na verdade, os resultados indicaram que o manejo do solo no sistema de plantio direto estudado não proporciona aumentos significativos, em curto prazo (18 meses), de concentrações de P, K, Ca, Mg e Mn no solo (Tabelas 6 e 7). Já o manejo do solo no sistema de plantio direto tem aumentado os teores destes elementos no solo em médio e longo prazos (CIOTTA et al., 2002). Por outro lado, eventualmente, poderão ocorrer efeitos benéficos do plantio direto em termos de fertilidade do solo, em curto prazo, como foi observado por SIDIRAS & PAVAN (1985).

Com relação ao carbono orgânico e à matéria orgânica, podem-se observar, precocemente, os benefícios proporcionados pelo emprego do plantio direto.

Tabela 6 - Teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio mais alumínio (H+Al) e sódio para duas camadas, em um cambissolo eutrófico, obtidos após a colheita de cana-de-açúcar de ano e meio em função do sistema de plantio direto (SPD) e convencional (PC), sobre diferentes plantas de cobertura, em Campos dos Goytacazes – RJ. *Phosphorus, potassium, calcium, magnesium, aluminium, H + Al, and sodium contents at two soil depths after harvesting a year-and-a-half sugar cane cultivated either in a no-tillage (SPD) system or in the conventional (PC) system over different cover crops.*

^{1/} SMS	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Alumínio	H+Al	Sódio	
	Camada 0-5 cm							
	(mg dm ⁻³)	----- (cmol _c dm ⁻³) -----						
CR/cana SPD	^{2/} 7,50a	0,32a	6,68a	3,28a	0,03a	5,16a	0,12a	
FP/cana SPD	7,13a	0,30a	6,59a	3,28a	0,00a	5,03a	0,11a	
MP/cana SPD	6,00a	0,27a	6,39a	3,26a	0,08a	5,35a	0,11a	
VE/cana SPC	6,25a	0,25a	5,71a	3,04a	0,09a	5,00a	0,11a	
CV (%)	22	20	15	8	164	8	19	
	Camada 5-20 cm							
CR/cana SPD	6,50a	0,13a	6,61a	3,04a	0,05a	5,16a	0,13a	
FP/cana SPD	11,50a	0,14a	6,08a	3,06a	0,08a	5,25a	0,13a	
MP/cana SPD	5,00a	0,12a	6,41a	3,18a	0,11a	5,45a	0,13a	
VE/cana SPC	5,13a	0,16a	6,08a	3,10a	0,04a	5,13a	0,15a	
CV (%)	114	34	15	9	140	10	17	

^{1/} SMS= sistema de manejo do solo; SPD= plantio direto; PC= plantio convencional; CR= *Crotalaria juncea*; FP= feijão-de-porco; MP= mucuna-preta e VE= vegetação espontânea; ^{2/} Médias na coluna, seguidas por letras minúsculas diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{1/} SMS = soil management system; SPD = no-tillage system; PC = conventional system; CR = sunnhemp; FP = jack bean; MP = velvet bean; and VE = spontaneous vegetation; ^{2/} Means in the same line followed by the same large case letter and in the columns by the same small case letter are not significantly different at the 5% level of probability according to the Tukey's test.

Tabela 7 - Carbono, matéria orgânica (M.O.), CTC potencial, CTC efetiva, manganês, zinco e cobre para duas camadas em um cambissolo eutrófico obtidos após a colheita de cana-de-açúcar de ano e meio em função do sistema de plantio direto (SPD) e convencional (PC), sobre diferentes plantas de cobertura em Campos dos Goytacazes – RJ. *Carbon, organic matter (M.O.), manganese, zinc, and copper contents and potential and effective CEC at two soil depth after harvesting a year-and-a-half sugar cane cultivated either in a no-tillage (SPD) system or in the conventional (PC) system over different cover crops*

^{1/} SMS	Carbono	M.O.	CTC potencial	CTC efetiva	Manganês	Zinco	Cobre
	Camada 0-5 cm						
	----- (g dm ⁻³) -----	----- (cmol _c dm ⁻³) -----		----- (mg dm ⁻³) -----			
CR/cana SPD	^{2/} 16,0b	27,50b	15,56a	10,43a	21,25a	3,21b	2,58a
FP/cana SPD	17,5a	30,16a	21,04a	10,28a	19,43a	2,90b	2,03b
MP/cana SPD	17,0a	29,26a	15,39a	10,11a	16,74a	2,85b	2,00b
VE/cana SPC	15,2b	26,29b	14,10a	9,19a	16,28a	13,81a	2,10b
CV (%)	4	4	49	11	20	65	13
	Camada 5-20 cm						
CR/cana SPD	14,5a	25,04a	15,07a	9,96a	16,45a	2,68b	2,45a
FP/cana SPD	15,6a	26,85a	14,66a	9,48a	16,21a	2,81b	2,18a
MP/cana SPD	14,7a	25,39a	15,29a	9,95a	13,09a	2,30b	2,18a
VE/cana SPC	14,8a	25,51a	14,60a	9,51a	14,81a	12,51a	2,03a
CV (%)	6	6	6	11	24	67	15

^{1/} SMS= sistema de manejo do solo; SPD= plantio direto; PC= plantio convencional; CR= *Crotalaria juncea*; FP= feijão-de-porco; MP= mucuna-preta e VE= vegetação espontânea. ^{2/} Médias na coluna, seguidas por letras minúsculas diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{1/} SMS = soil management system; SPD = no-tillage system; PC = conventional system; CR = sunnhemp; FP = jack bean; MP = velvet bean; and VE = spontaneous vegetation; ^{2/} Means in the same line followed by the same large case letter and in the columns by the same small case letter are not significantly different at the 5% level of probability according to the Tukey's test.

Houve aumento, respectivamente, de 14 e 13% nos teores de carbono e matéria orgânica do solo sob sistema de plantio direto, em comparação ao preparo convencional (Tabela 7). Resultados obtidos por outros autores indicam que pode ocorrer tanto aumento dos teores como a melhoria da qualidade da matéria orgânica presente num solo sob plantio direto, como foi constatado por CANELLAS et al. (2003), os quais, ao estudarem a cana-de-açúcar sendo cultivada apenas sem o emprego da queimada, concluíram que a adição de matéria orgânica na lavoura da cana, por um longo prazo, pela preservação da palhada por ocasião da colheita, altera as propriedades químicas do solo e proporciona melhoria na fertilidade do solo e na qualidade da matéria orgânica do solo com aumento do conteúdo de substâncias húmicas alcalinossolúveis mais condensadas.

Assim, este trabalho mostrou os efeitos benéficos do sistema de plantio direto, quando da

implantação deste tipo de manejo, principalmente nas camadas superficiais de 0 a 5 cm. Semelhantemente, um trabalho realizado no Rio Grande do Sul evidenciou que culturas sob sistema de plantio direto, há seis anos, promoveram acúmulos significativos de carbono orgânico, apenas na camada mais superficial do solo (0 – 2,5 cm) (GONÇALVES & CERETTA, 1999). O aumento dos teores de carbono nas camadas superficiais é característico de sistema de plantio direto, devido à ausência de perturbação do preparo do solo, adição superficial dos resíduos e maior concentração radicular nos primeiros centímetros de profundidade do solo, característica que aumenta conforme o tempo de utilização dessa prática de manejo conservacionista e do aporte de massa seca dos adubos verdes e das culturas de interesse diretamente comercial.

Tabela 8 - Resultado de açúcares teoricamente recuperáveis (ATR) e de produtividade da cana-de-açúcar em função da utilização de adubos verdes, nos sistemas de plantio direto (SPD) e convencional (PC), em Campos dos Goytacazes – RJ. *Theoretically recoverable sugar (ATR) and productivity of sugar cane as affected by green manures in the no-tillage and conventional systems*

Sistema de Manejo do Solo (SMS)	^{1/} ATR (kg t ⁻¹)	^{1/} Produtividade (kg ha ⁻¹)
<i>Crotalaria juncea</i> – cana SPD	126,8a ¹	131.909a
Feijão-de-porco – cana SPD	130,7a	141.278a
Mucuna preta – cana SPD	132,8a	134.403a
Veg. espontânea – cana convencional (PC)	130,1a	99.008b
Média	130,1	126.650
CV (%)	6	8

^{1/} Médias na coluna, seguidas por letras diferentes, são diferentes pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

^{1/} Means in the column followed by the same small case letter are not significantly different at the 5% level of probability according to the Tukey's test.

A característica tecnológica da cana, como açúcares teoricamente recuperáveis (ATR), não foi alterada pelo tipo de manejo e cobertura morta empregados (Tabela 8). Assim, o ATR da cana cultivada em sistema de plantio direto foi semelhante em relação ao preparo convencional. Porém, a produtividade de colmos da cana em sistema de plantio direto foi 37% superior à obtida em preparo convencional do solo. Possivelmente, esse pequeno aumento da matéria orgânica no solo proporcionou repercussões positivas em alguns aspectos da cana, talvez nutricionais, de tal maneira que aumentou a produtividade da cultura.

Os sistemas de produção baseados em intenso preparo do solo e com baixo aporte de resíduos (solo descoberto) apresentam redução no estoque de carbono orgânico total. Em contrapartida, sistemas que utilizam práticas conservacionistas, minimizando o revolvimento do solo e maximizando

o aporte de resíduos, apresentam-se como importante estratégia de conservação e/ou recuperação de áreas degradadas.

Conclusões

O sistema de plantio direto utilizando a prática inerente da adubação verde com feijão-de-porco e mucuna-preta na cultura da cana-de-açúcar, após o primeiro corte, proporcionou, na camada de 0 a 5 cm de profundidade, aumento no teor de carbono e matéria orgânica 14 e 13% maior do que no preparo convencional do solo. A cana-de-açúcar obteve produtividade 37% maior de colmos quando cultivada em sistema de plantio direto com palhada de leguminosas do que no preparo convencional do solo com a palhada incorporada da vegetação espontânea.

REFERÊNCIAS

- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; RESENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.935-944, 2003.
- CERRI, C. C.; ANDREAUX, F.; EDUARDO, B. P. O ciclo do carbono no solo. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (eds.) **Microbiologia do solo**. Campinas: R.Vieira, 1992. p.73-90.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.1.055-1.064, 2002.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNPS-Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.1.097-1.104, 2003.
- FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3.ed. Maceió: EDUFAL, 2.000. 422p.
- GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.307-313, 1999.
- LIMA, E. A. de. **Espécies para cobertura de solo e seus efeitos sobre a vegetação espontânea e rendimentos da soja em plantio direto, em Campos dos Goytacazes, RJ**. 2002. 62f. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2002.
- MENDONZA, H. N. S.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, L. A.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. V. M. Propriedades químicas e biológicas de solo de tabuleiro cultivado com cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.201-207, 2000.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, The Hague, v.181, p.83-93, 1996.
- MIELNICZUK, J. A sustentabilidade agrícola e o plantio direto. In: PEIXOTO, R. T. dos G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M.J. (Ed.) **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR, PRP/PG, 1997. p.9-14.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285p.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001. 301p.
- SANTOS, H. P. dos; TOMM, G. O.; LHAMBY, J. C. B. Plantio direto versus convencional: Efeito na fertilidade do solo e no rendimento de grãos de culturas em rotação com cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.449-454, 1995.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, p.249-254, 1985.
- SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, p.133-139, 2003.
- SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.24, p.885-896, 2000.
- VICTORIA, R. L.; PICCOLO, M. C.; VARGAS, A. A. T. O ciclo do nitrogênio. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (eds.) **Microbiologia do solo**. Campinas: R.Vieira, 1992. p.105-119.