

COMPORTAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM DUAS SAFRAS E ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO, SOB DIFERENTES TIPOS DE PREPARO

BEHAVIOR OF SUGARCANE IN TWO CROPS AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF SOIL UNDER DIFFERENT TILLAGES

Carlos Antonio da SILVA JUNIOR¹; Laércio Alves de CARVALHO²;
José Frederico CENTURION³; Emídio Cantídio Almeida de OLIVEIRA⁴

1. Engenheiro-Agrônomo, Mestrando em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas), Departamento de Agronomia, Bolsista CAPES, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, PR, Brasil. carlos-junior89@hotmail.com; 2. Professor adjunto, Doutor em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Dourados, MS, Brasil; 3. Professor Adjunto, Doutor em Agronomia, Universidade Estadual Paulista - UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Departamento de Solos e Adubos, Jaboticabal, SP, Brasil; 4. Professor Adjunto, Doutor em Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Fazenda Saco, Serra Talhada, PE, Brasil.

RESUMO: O preparo do solo compreende em média 25% do custo de implantação de um canavial, portanto, medidas para redução deste custo são desejáveis desde que não comprometam a qualidade desta operação e a longevidade do canavial. O objetivo foi avaliar o efeito de diferentes sistemas de preparo num LATOSSOLO VERMELHO distrófico, correlacionando atributos físicos do solo e características agroindustriais da cana planta e da cana soca. Foram utilizados cinco tipos de preparos do solo, distribuídos em delineamento experimental em blocos ao acaso, com cinco repetições. A granulometria foi avaliada a cada 0,1 m até a profundidade 0,4 m, por meio de amostras de solo deformadas coletadas no final do primeiro ciclo de crescimento da cultura. Para os demais atributos físicos do solo: densidade do solo, porosidade total e teor de água, as avaliações foram realizadas no final de cada ciclo, coletando amostras indeformadas nas camadas de 0-0,20 m e 0,21-0,40 m, além da realização da resistência mecânica à penetração, utilizando-se de penetrômetro de impacto. A resposta da cana-de-açúcar em função dos tipos de preparo do solo foi determinada a partir da avaliação da produtividade por hectare de colmo (TCH), de açúcar (TPH), bem como dos valores de pol % (AP), açúcar total recuperável (ATR) e fibra de amostras de colmo coletadas na colheita da cana planta e cana soca. Nos preparos estudados, houve alteração dos atributos físicos do solo, provocando redução da produtividade na safra 2009/2010, quando comparada com a safra 2008/2009. No sistema de preparo de sulcação direta foi observado menor resultado de TCH, principalmente na safra 2009/2010, quando a diferença com o preparo convencional foi de 20,53 Mg ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: Aspectos tecnológicos. Conservação do solo. Densidade do solo. Porosidade total. Resistência à penetração. *Saccharum* spp.

INTRODUÇÃO

No cultivo da cana-de-açúcar se faz necessário à prática de diversas operações de preparo do solo, com a utilização de grades aradoras e subsoladores, além da atuação de tratores e implementos que contribuem na degradação da estrutura do solo para efetuar o plantio (CEDDIA et al., 1999)

As operações de preparo do solo podem ser realizadas com distintas combinações de implementos agrícolas. O preparo convencional parte do princípio de ser executada com elevado revolvimento do solo, enquanto o sistema de sulcação direta condiz com o mínimo de mobilização na área a ser preparada.

O preparo inadequado do solo atua diretamente na compactação, proporcionado aumento na densidade e, por conseguinte alterações em outras propriedades físicas, tais como: porosidade, retenção de água, aeração e a resistência do solo à penetração de raízes (LETEY,

1985; CAVALIERI et al., 2006). Solos compactados possuem elevada resistência à penetração de raízes, diminuição da porosidade, da sequência de poros, da permeabilidade e da disponibilidade de nutrientes e água (PRADO et al., 2002).

Para Góes (2005) quantificar os atributos físicos do solo auxilia na obtenção de maior produtividade, de modo que, o conhecimento desses atributos é fundamental para tomada de decisão adequada de preparo e manejo do solo.

Silva et al. (2006), estudando o sistema de preparo do solo convencional e plantio direto sob a sucessão ervilhaca-milho, observaram que a utilização do preparo convencional do solo proporcionou o aumento dos macroporos, enquanto solos manejados sob o plantio direto possuem maior abundância em microporos o que promove aumento da estabilidade de agregados, o que provavelmente está relacionado ao acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais, e consequente elevação do teor de carbono orgânico.

Em estudos realizados por Tormena et al. (2002), no processo de secamento do solo, o sistema de plantio direto proporcionou maiores valores de resistência à penetração quando comparado ao preparo convencional e preparo mínimo, que apresentam maior volume de macroporos, os quais possuem a função de dreno. Secco (2003), constatou compactação mais intensa em dois LATOSSOLOS VERMELHOS, ambos manejados sob plantio direto, após determinar valores de densidade do solo e de resistência à penetração entre 1,54 e 1,62 Mg m⁻³ e 2,65 e 3,26 MPa, respectivamente.

Diante do contexto, tem-se evidenciado alterações nos atributos físicos do solo ao tipo de preparo, atribuindo como bom indicador da qualidade do solo (D'ANDRÉA et al., 2002). Assim, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as variações de atributos físicos de um LATOSSOLO

VERMELHO distrófico submetido a diferentes preparos de solo e a influência nas características agroindustriais da cana planta e cana soca.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado durante os ciclos de cana planta (2008/2009) e cana soca (2009/2010), na área experimental, da Usina ETH Bioenergia S/A localizada em Rio Brillhante, no estado de Mato Grosso do Sul (21°50'S; 53°57'W e 312 m). O solo da área foi classificado como um LATOSSOLO VERMELHO distrófico (LVd), de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). O clima predominante da região é o Aw (*Köppen-Geiger*). Durante o desenvolvimento da pesquisa foi registrada precipitação pluvial média acumulada de 1.600 mm ano⁻¹ (Figura 1) e temperatura média superior a 27°C.

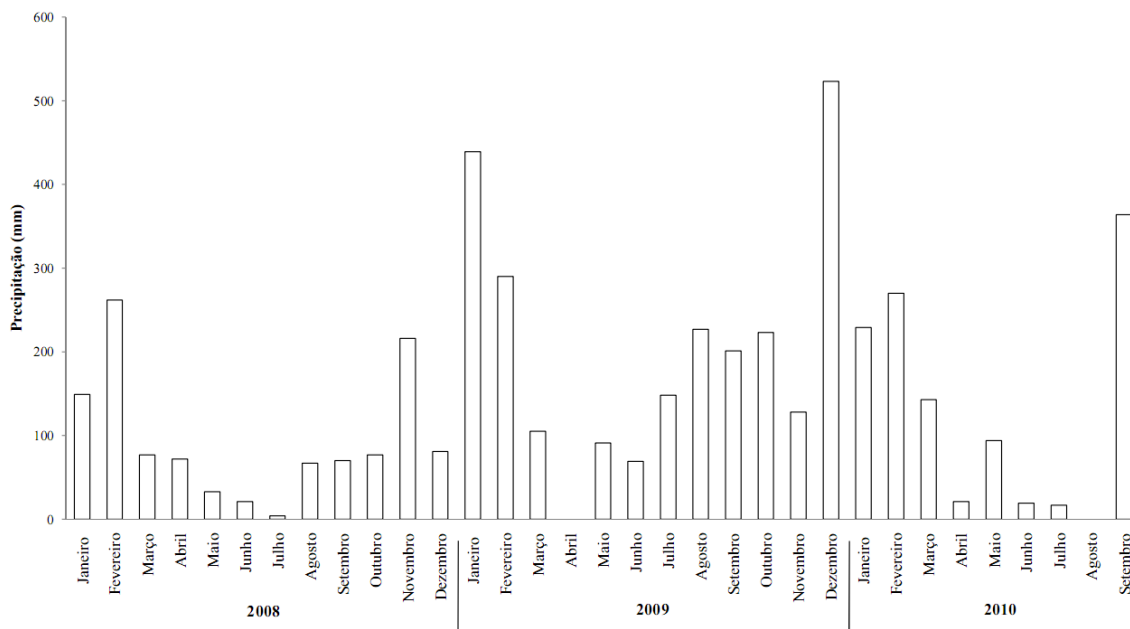


Figura 1. Precipitação média dos anos agrícolas estudados na região de Rio Brillhante-MS.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco tratamentos (tipos de preparo de solo) e quatro profundidades de coleta (0,10 m; 0,11-0,20 m; 0,21-0,30 m e 0,31-0,40 m) com cinco repetições. As parcelas foram constituídas pelos tipos de preparo e as subparcelas pelas profundidades. Cada parcela foi constituída com área de 10.000 m², espaçada entre si por ruas de 10 m de largura e área útil de 200 m² (10 m x 20 m).

Os tratamentos foram assim identificados: Preparo convencional I - duas gradagens aradoras, uma subsolagem até 0,45 m de profundidade e uma gradagem niveladora (PC I); Preparo convencional

II - uma gradagem aradora a 0,20 m de profundidade, uma gradagem intermediária, uma aração e gradagem niveladora para sistematização do terreno (PC II); Preparo convencional III - duas gradagens aradoras e uma gradagem niveladora (PC III); Cultivo mínimo - uma subsolagem até a profundidade de 0,45 m e abertura de sulco para semeadura do colmo semente (CM); e por último o Sulcação direta - Apenas abertura dos sulcos de plantio (SD).

A grade aradora era constituída de 18 discos com 32" de diâmetro, a intermediária de 28 discos com 28" de diâmetro e a niveladora com 52 discos de 18" de diâmetro. O implemento

subsolador, possuía 5 hastes, com desenho reto e sem asa. Após a implantação dos tratamentos realizou-se, exceto para o SD, a abertura dos sulcos de plantio com profundidade de 0,25 m e espaçados a 1,4 m entre si.

O plantio da área foi realizado em maio de 2008 utilizando-se a cultivar SP81-3250, na densidade de 15 a 18 gemas viáveis por metro de sulco, com adubação de 25 kg ha⁻¹ de N; 75 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, na de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. Na cana soca, após 10 dias do corte, foram aplicados nas entrelinhas de forma mecanizada de 140 kg ha⁻¹ de N e 110 kg ha⁻¹ de K₂O, utilizando-se como fonte uréia e de cloreto de potássio, respectivamente.

Após a colheita da cana planta e cana soca, realizou-se no período de janeiro a fevereiro de 2009 e 2010 a coleta de amostras indeformadas com auxílio do amostrador tipo Uhland, na área útil de cada parcela experimental retirando-se em dois pontos aleatórios por parcela na linha de plantio, uma amostra na profundidade de 0-0,20 m e uma em 0,21-0,40 m. Após a coleta, cada amostra foi acondicionada individualmente em papel alumínio e saco plástico, e posteriormente, colocada em geladeira, para evitar a perda da estrutura e umidade do solo. Em laboratório o material coletado foi submetido à secagem em estufa a 105° C por 48 horas.

A densidade do solo e o teor de água foram determinados pelo método do anel volumétrico, enquanto a densidade da partícula, pelo método do álcool (balão volumétrico) (EMBRAPA, 1997). Dessa forma, a porosidade total do solo (PT) foi calculada conforme a Equação 1 (LIBARDI, 2005).

$$PT = \left(1 - \frac{DS}{DP}\right) \times 100 \quad (1)$$

Onde, DS é a densidade do solo (kg dm⁻³) e DP é a densidade de partícula (kg dm⁻³).

Os dados da resistência à penetração foram obtidos através de um penetrômetro, onde os resultados de impactos (dm⁻¹) foram convertidos para resistência do solo à penetração, através da Equação 2 (STOLF, 1991):

$$RP \text{ (kgf cm}^{-2}\text{)} = 5,6 + 6,89 N(\text{impactos dm}^{-1}) \quad (2)$$

Utilizado a fórmula descrita, para conversão da RP em kgf cm⁻² para MPa, multiplicou-se o resultado obtido pela constante 0,098.

As subparcelas foram coletadas nas profundidades do perfil: 0-0,10 m; 0,11-0,20 m;

0,21-0,30 m e 0,31-0,40 m, obtidas através de amostra composta de quinze subamostras simples, utilizando-se um trado holandês. Posteriormente as amostras foram secas, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm. Para isso, foi realizada a análise granulométrica (Areia grossa, Areia Fina, Silte e Argila), bem como a argila dispersa em água (ADA), seguindo o método descrito em Embrapa (1997). O índice de floculação (IF) da argila, foi realizado de acordo com a Equação 3, indicado por Ferreira (2010):

$$IF = \frac{T - A}{T} \times 100 \quad (3)$$

sendo, IF = índice de floculação (%); T = fração argila total (%); A = fração argila dispersa em água (%).

Optou-se por estudar até a profundidade de 0,40 m, pois é a camada mais susceptível às alterações físicas do solo, no qual o sistema radicular atua com maior intensidade (PRADO; CENTURION, 2001).

A produtividade de colmos foi determinada 15 dias antes da colheita, no mês de julho de 2009 para cana planta e no mês de agosto de 2010 para cana soca, por meio da contagem dos números de perfilhos e coleta de 10 metros de cana na linha central da área útil de cada parcela experimental. Os colmos colhidos foram despontados e pesados ainda no campo, determinando-se: a produção em tonelada de colmos por hectare (TCH), calculada por meio da transformação da massa da área útil em tonelada por hectare (SILVA, 1989). A produtividade de açúcar por hectare (TPH) foi determinada multiplicando-se o TCH pelos açúcares polarizáveis (pol % cana, AP). Para identificação da qualidade tecnológica determinou-se, além do AP, o açúcar total recuperável (ATR) e o teor de fibra segundo a metodologia descrita por Fernandes (2003).

Para as características físicas do solo, quando os sistemas de preparo ou profundidade e a interação entre eles mostraram significância pelo teste F, a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 1 e 5% de probabilidade, em cada caso, conforme Pimentel-Gomes (1990). O mesmo teste foi aplicado para os atributos físicos do solo, TCH, TPH, AP, ATR e fibra em relação aos preparos de solo na cana planta e cana soca, onde foram submetidos à análise de variância em delineamento de blocos ao acaso, através do programa estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes da granulometria do solo diferiram conforme o preparo e com a profundidade, bem como se observou o efeito dos tratamentos em profundidade, com exceção da

fração silte (Tabela 1). Para a areia grossa, constataram-se diferenças significativas entre os tratamentos e em profundidade para PC III e SD, não ocorrendo significância na profundidade para PC I e PC II, onde a maior média ocorreu no tratamento PC III e menor para o CM (Tabela 2).

Tabela 1. Análise de variância (F) para análise granulométrica nas profundidades (P) relacionada ao preparo do solo (PS).

Fonte de Variação	AG ¹	AF	S	AT	AF/AG	S/AT	ADA	IF
PS	27,81**	11,99**	49,67**	17,70**	40,76**	38,69**	21,15**	27,75**
P	17,72**	23,77**	8,66**	25,47**	3,73*	13,14**	2,86*	8,55**
PS x P	3,53**	3,58**	1,91 ^{ns}	3,10**	2,21*	2,38*	6,03**	4,40**
CV (%) - PS	19,11	12,28	8,26	6,24	12,38	12,69	15,55	29,31
CV (%) - P	12,05	6,71	9,18	4,42	11,66	12,71	11,01	20,22

¹AG: areia grossa; AF: areia fina; S: silte; AT: argila total; ADA: Argila dispersa em água; IF: índice de floculação; ^{ns} Não significativo. *, ** Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Entre os tratamentos, o PC II apresentou em todas as profundidades o maior conteúdo de areia fina, enquanto que no PC I, os maiores valores foram observados a partir dos 0,10 m. Para o PC III e SD verificou-se redução entre os mesmos no conteúdo de areia fina entre 0,21 - 0,30 m, por outro lado, o tratamento CM mostrou os menores valores em todas as profundidades quando comparados com os demais tratamentos (Tabela 2).

O conteúdo de argila total apresentou acréscimo conforme o aumento da profundidade

para a maioria dos sistemas de preparo (Tabela 2), possivelmente por ser característica do tipo de solo no qual se encontra o experimento e não devido aos tipos de preparo. No PC I e PC II houve intensa mobilização até 0,40 m de profundidade, o que levou a misturar os horizontes sem apresentar diferença significativa. No PC III, CM e mais evidente na SD há um incremento, possivelmente devido ao pouco revolvimento do solo, mantendo a gênese de formação natural.

Tabela 2. Análise granulométrica, areia grossa (AG), areia fina (AF), silte (S) e argila total (AT) de um Latossolo Vermelho distrófico, relacionados a diferentes preparos do solo.

Tratamentos ¹	Areia Grossa (g kg ⁻¹)			
	Profundidade (m)			
	0-0,10	0,11-0,20	0,21-0,30	0,31-0,40
PC I	59,40 Ba	66,00 Ba	59,80 Ba	61,20 Aa
PC II	66,20 Ba	70,80 ABa	69,00 ABa	64,20 Aa
PC III	96,20 Aa	78,40 ABb	78,00 Ab	68,60 Ab
CM	56,20 Ba	45,60 Cab	40,80 Cb	70,60 ABbc
SD	97,20 Aa	83,40 Ab	33,60 Bb	69,20 Ac
	Areia Fina (g kg ⁻¹)			
PC I	134,80 BCab	129,60 ABab	140,2 ABa	124,80 Ab
PC II	152,8 ABa	141,80 Aa	154,80 Aa	144,20 Aa
PC III	159,00 Aa	137,20 Ab	126,4 BCb	124,40 Ab
CM	129,20 Ca	115,40 Bab	113,40 Cb	101,20 Bb
SD	158,80 Aa	147,00 Aab	132,4 BCb	133,20 Ab
	Silte (g kg ⁻¹)			
PC I	258,60 Aa	256,10 Aa	247,20 Aa	259,70 Aa
PC II	203,70 Ba	207,40 Ba	188,20 Ba	177,30 Ba
PC III	222,30 Ba	201,50 Bab	198,60 Bab	159,40 Bb
CM	191,60 Ba	203,00 Ba	196,60 Ba	188,10 Ba
SD	214,50 Ba	200,70 Ba	188,30 Ba	180,50 Ba
	Argila Total (g kg ⁻¹)			
PC I	547,20 BCa	548,30 Ba	552,80 Ca	554,30 Ca

PC II	577,30 ABa	574,00 Ba	588,00 BCa	614,30 Ba
PC III	522,50 Cc	582,90 Bb	597,00 BCb	647,60 ABa
CM	623,00 Ab	636,00 Aab	649,20 Aab	677,10 Aa
SD	529,50 BCc	568,90 Bbc	608,70 ABab	617,10 Ba

¹Letra maiúscula compara os preparos do solo na mesma profundidade; Letra minúscula compara profundidade no mesmo preparo do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os valores de argila dispersa foram maiores no PC III, seguido da SD, na camada 0,21-0,30 m e 0,31-0,40 m. Para os outros sistemas de preparo houve semelhança neste aspecto, porém, esperavam-se valores superiores para os demais

preparos em função do intensivo preparo do solo, devido a desestruturação dos agregados, principalmente no preparo convencional I (Tabela 3), divergindo de Gomes et al. (1994) e Prado e Centurion (2001).

Tabela 3. Argila dispersa em água (ADA) e índice de floculação (IF) de um Latossolo Vermelho distrófico, relacionados a diferentes preparos do solo.

Tratamentos ¹	Argila Dispersa em Água (g kg ⁻¹)			
	Profundidade (m)			
	0-0,10	0,11-0,20	0,21-0,30	0,31-0,40
PC I	339,00 Ba	360,60 Ba	348,40 Ba	358,20 Ba
PC II	390,40 ABa	383,90 Ba	377,80 Ba	388,40 Ba
PC III	426,30 Aa	483,00 Aa	489,30 Aa	497,10 Aa
CM	370,40 ABa	321,10 Ba	367,90 Ba	177,60 Cb
SD	385,10 ABa	395,70 Ba	424,80 ABa	414,50 ABa
	Índice de Floculação (%)			
PC I	38,07 Aa	34,14 Ba	36,96 Aa	35,30 Ba
PC II	32,31 Aa	33,13 Ba	35,69 Aa	36,45 Ba
PC III	18,37 Ba	16,97 Ca	17,97 Ba	22,86 Ba
CM	40,51 Ab	49,44 Ab	43,22 Ab	73,96 Aa
SD	27,26 ABa	29,96 BCa	30,15 ABa	32,76 Ba

¹Letra maiúscula compara os tratamentos de preparo do solo na mesma profundidade; letra minúscula compara profundidade no mesmo tratamento de preparo do solo; médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao índice de floculação verificou-se no cultivo mínimo o maior valor, diferenciando-se do restante dos tipos de preparo em questão (Tabela 3). O índice de floculação não diferenciou entre as profundidades com a utilização do PC I e PC II, sendo o CM superior aos demais sistemas de preparo do solo em todas as camadas estudadas.

No tratamento PC II, PC III e CM houve aumento do índice de floculação na camada 0,31-0,40 m e para a SD o aumento foi obtido em todas as camadas (Tabela 3), dado pela condição de estruturação do solo e sua alta permeabilidade, diferenciando de estudos realizados por Prado e Natale (2003) e concordando com resultados encontrados com cana-de-açúcar por Carvalho Filho et al. (2009), onde mesmo tendo baixos teores de matéria orgânica em subsuperfície, apresentaram alto índice de floculação, possivelmente por causa da maior estabilidade dos microagregados, devido a pouca exposição a agentes desagregantes físicos, além do equilíbrio e a formação contínua de ácidos húmicos.

Os atributos físicos do solo, densidade de solo, porosidade total, umidade e resistência à penetração apresentaram comportamentos diferenciados entre os sistemas de preparos do solo após o primeiro e segundo ciclo de crescimento da cana-de-açúcar (Tabela 4). No final do ciclo de cana planta (2008/2009), a densidade do solo não diferiu entre os tratamentos para a camada superficial (0,20 m), no entanto constatou-se na profundidade de 0,21 - 0,40 m valores de densidade elevados na SD, onde não houve revolvimento do solo nesta camada. Os valores de densidade para os sistemas de preparo convencional apresentaram semelhança, onde o PC II, PC I e PC III, com valores de 1,47, 1,46 e 1,44 Mg m⁻³, respectivamente. Já o tratamento CM apresentou o menor valor para a variável densidade do solo, quando tratado individualmente.

No final da primeira soqueira (2009/2010) houve aumento da densidade do solo nas duas profundidades (Tabela 4), sendo o CM o que apresentou menor valor quando comparado ao PCI, PCII, PCIII e SD, na camada 0-0,20 m. O aumento

da densidade do solo na cana soca, possivelmente ocorreu em virtude da época da colheita realizada na cana planta, pois no ano de 2009 a pluviosidade no Estado foi superior em 1.000 mm da média anual. A colheita nestas condições pode ter provocado compactação do solo, principalmente num solo com valores de argila acima de 600 g kg⁻¹

no perfil. Certamente que a colheita não deve ser recomendada nestas condições de intensa pluviosidade, mas em virtude das metas estabelecidas pelo setor e da expansão de cana-de-açúcar no estado de MS, a usina obriga-se a trabalhar nestas circunstâncias.

Tabela 4. Atributos físicos do solo, em dois anos agrícolas, para os diferentes sistemas de preparo do solo.

Tratamentos	2008/2009		2009/2010	
	0-0,20 m	0,21-0,40 m	0-0,20 m	0,21-0,40 m
Densidade do solo (Mg m⁻³)				
PC I	1,36 a	1,46 abc	1,56 a	1,50 bc
PC II	1,37 a	1,47 ab	1,59 a	1,55 ab
PC III	1,29 a	1,44 bc	1,62 a	1,62 a
CM	1,31 a	1,38 c	1,38 b	1,45 c
SD	1,41 a	1,55 a	1,55 a	1,57 ab
Média	1,34	1,46	1,54	1,54
F	1,26	7,34	6,29	11,40
CV (%)	6,96 ^{ns}	3,46*	5,28*	2,81*
D.M.S	0,17	0,09	0,15	0,08
Porosidade total (%)				
PC I	48,75 a	44,92 abc	41,16 b	43,28 ab
PC II	48,17 a	44,27 bc	40,08 b	41,39 bc
PC III	51,12 a	45,50 ab	38,90 b	38,97 c
CM	50,35 a	47,91 a	47,76 a	45,36 a
SD	46,64 a	41,50 c	41,66 b	40,69 bc
Média	46,0	44,82	41,91	41,94
F	1,26	7,35	6,29	11,40
CV (%)	7,24 ^{ns}	4,25*	7,32*	3,89*
D.M.S	6,71	3,60	5,80	3,08
Teor de água no solo (m³ m⁻³)				
PC I	0,32 a	0,37 a	0,31 a	0,32 a
PC II	0,34 a	0,38 a	0,29 ab	0,32 a
PC III	0,31 a	0,36 a	0,30 ab	0,30 a
CM	0,34 a	0,39 a	0,28 ab	0,30 a
SD	0,37 a	0,39 a	0,27 b	0,29 a
Média	0,33	0,38	0,29	0,30
F	1,37	1,00	4,40	3,60
CV (%)	13,45 ^{ns}	8,58 ^{ns}	5,41*	4,83 ^{ns}
D.M.S	0,08	0,06	0,02	0,02
Resistência do solo à penetração (MPa)				
PC I	3,02 b	7,00 a	3,59 a	3,00 b
PC II	2,91 b	6,68 a	3,49 a	3,42 ab
PC III	2,91 b	7,78 a	3,90 a	3,18 ab
CM	3,70 ab	6,96 a	3,00 a	2,85 b
SD	5,12 a	7,55 a	4,04 a	3,64 a
Média	3,53	7,19	3,60	3,22
F	7,30	1,76	1,28	5,21
CV (%)	22,15*	10,60 ^{ns}	22,30 ^{ns}	9,66*
D.M.S	1,48	1,44	1,52	0,58

^{ns} não significativo. * Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Nota-se também que apesar da sulcação direta (SD) não ter um custo operacional significativo de preparo de solo, pois é realizada somente a sulcação, este tratamento apresentou os menores valores de tonelada de colmo por hectare (TCH), e de tonelada de pol por hectare (TPH) (Tabela 5), o que pode ser explicado à sua elevada densidade do solo e a baixa porosidade, sendo sua

média nos dois anos agrícolas de 1,48 Mg m⁻³ em 0-0,20 m e 1,56 Mg m⁻³ em 0,21-0,40 m para densidade do solo e 44,15% em 0-0,20 m e 41,10% em 0,21-0,40 m para porosidade total. Tal fato pode ser explicado pela ausência quase que completa do preparo por longo tempo, o que reduz a porosidade (principalmente macroporos) e eleva a densidade do solo (BERTOL et al., 2001).

Tabela 5. Produção de colmos (TCH), açúcar (TPH) e atributos tecnológicos da cana planta e cana soca (AP, FIBRA e ATR), em função de diferentes sistemas de preparo do solo.

Tratamentos	Safrá 2008/2009				
	AP	FIBRA	ATR	TCH	TPH
	----- % -----		kg t ⁻¹	----- Mg ha ⁻¹ -----	
PC I	13,10 ab	10,21 b	127,05 ab	150,19 a	19,68 ab
PC II	13,60 a	10,28 b	131,43 a	147,50 b	20,06 a
PC III	12,87 b	11,20 a	124,50 b	149,12 ab	19,19 ab
CM	12,93 b	10,01 b	125,16 b	147,25 bc	19,05 b
SD	12,00 c	10,16 b	117,57 c	145,05 c	17,41 c
F	16,89	6,75	18,03	13,59	26,14
CV (%)	2,44*	3,92*	2,11*	0,80*	2,73*
D.M.S	0,61	0,78	5,12	2,30	0,89
	Safrá 2009/2010				
PC I	16,64 a	11,58 a	162,79 a	80,35 ab	13,37 ab
PC II	16,53 a	11,44 a	161,52 a	86,42 a	14,27 a
PC III	16,48 a	11,76 a	161,01 a	78,56 ab	12,92 ab
CM	16,10 a	11,56 a	157,63 a	85,99 a	13,87 a
SD	16,35 a	11,62 a	159,82 a	65,89 b	10,76 b
F	0,76	0,28	0,76	4,39	4,66
CV (%)	3,25 ^{ns}	4,22 ^{ns}	3,11 ^{ns}	11,18*	10,89*
D.M.S	1,03	0,94	9,68	17,20	2,74

^{ns} não significativo. *, ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente, pela teste F. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na camada subsuperficial (0,21-0,40 m) a densidade foi menor com a utilização do CM e PC I, em contra partida o PC III, apresentou individualmente o maior valor com 1,62 Mg m⁻³. Neste contexto, é possível evidenciar que a operação de subsolagem utilizada nos tratamentos PC I e CM na profundidade de 0,45 m influenciou diretamente na redução do valor da densidade do solo. Estes resultados possivelmente estão associados à mobilização estrutural da superfície do solo ao implantar a cultura, devido a ação mecânica dos implementos, promovendo maiores níveis de densidade na subsuperfície, o que corrobora com resultados encontrados por Tormena et al. (2004), que verificaram no plantio direto valores mais elevados em comparação ao preparo convencional.

Segundo estudos realizados por Carvalho Filho et al. (2007) ao compararem diferentes preparos de solo na cultura do milho, verificaram maiores valores de densidade aos sistemas que promoveram o mínimo revolvimento do solo, de

modo semelhante ao tratamento SD do presente estudo, onde no mesmo sentido não houve revolvimento do solo.

Para a porosidade total, os resultados de cana planta mostraram não haver influencia do sistema de preparo na camada superficial, enquanto que para a camada 0,21-0,40 m, o SD, PC I e PC II apresentaram os menores valores (Tabela 4) e com os maiores valores, apresentaram os tratamentos CM e PC III. Com relação à porosidade total da cana soca, na camada 0-0,20 m o CM foi significativamente superior aos demais sistemas de preparo do solo. Já na profundidade 0,21-0,40 m, o CM apresentou-se estatisticamente igual aos valores do tratamento PC I e PC III, sendo este último o qual apresentou menor valor.

A maior porosidade com a utilização do CM demonstrou conformidade da subsolagem com o desimpedimento da compactação do solo. A mesma subsolagem utilizada no PC I, porém com a utilização de gradagem niveladora na sequência,

proporcionou diminuição da porosidade total do solo.

A grade aradora utilizada nos preparos convencionais II e III (Tabela 4) por ocasionar revolvimento no solo mostrou individualmente a maior presença de porosidade. A presença de maiores valores de porosidade total, apresentados conforme o maior revolvimento do solo, em função grande mobilização, aliado ao número total de poros drenáveis (WATANABE, 2001), cria melhores condições de aeração, de armazenamento e aproveitamento da disponibilidade hídrica, o que favorece a absorção de nutrientes pelas plantas.

Os valores de porosidade total estão relacionados aos resultados de densidade do solo (Tabela 4), obtendo maiores valores de densidade quando há menor valor de porosidade total, corroborando com resultados de Da Ros (1997). Tanto para as profundidades 0-0,20 e 0,21-0,40 m, o sistema de sulcação direta está relacionado com os resultados para os fatores densidade e porosidade total do solo (Tabela 4), exibindo maior compactação em relação aos demais sistemas de preparo, o que se assemelha aos estudos realizados por Stone e Silveira (2001), pelo fato da menor mobilização do solo.

A resistência do solo à penetração na camada 0,21-0,40 m na cana planta e na camada 0-0,20 m na cana soca não apresentaram diferença significativa. Houve reduções de até 3,97 MPa na profundidade de 0,21-0,40 m, entre a cana planta e cana soca (Tabela 4). Possivelmente, essa redução verificada deve-se ao crescimento radicular da cana na soqueira, uma vez que Paulino et al. (2004) mostram que mesmo havendo certa compactação do solo ($1,57 \text{ Mg m}^{-3}$), não restringe o desenvolvimento da cana soca, chegando até 300,64 cm de comprimento de raízes. Mesmo com teores de umidade diferentes nas épocas de amostragem da resistência à penetração, os valores entre os anos/safra apresentam discrepância entre eles, podendo assim levar em consideração tais diferenças.

Para os efeitos do tipo de preparo de solo na resistência à penetração, verificou-se após o ciclo de cana planta que o tratamento de SD proporcionou o maior impedimento de penetração

O efeito do preparo do solo na cana soca foi semelhante para TCH e TPH, sendo mais pronunciado na produção de colmo, ao se constatar na SD redução média de 20 Mg ha^{-1} , quando comparado com os tratamentos PC II e CM, enquanto que no açúcar a redução entre os mesmos tratamentos foi em média de 3 Mg ha^{-1} (Tabela 5). A redução de TCH nos dois anos agrícolas do

na camada superficial do solo, apresentando valor significativo de 5,12 MPa (Tabela 4). Os demais tratamentos não diferiram entre eles, obtendo valores médios de 3,14 MPa. Na subsuperfície os diferentes preparos não afetaram na resistência a penetração, verificando-se médias de 7,19 MPa, valores esses elevados quando comparados aos observados na camada superficial e os obtidos após o segundo ciclo de crescimento da cana de açúcar. Neste último ciclo, a resistência à penetração na profundidade de 0,21-0,40 m a SD proporcionou o maior impedimento com valor de 3,64 MPa, diferenciando-se do sistema PC I e CM. De acordo com Arshad et al. (1996), os valores de resistência à penetração encontrados no presente estudo, estão entre as classes alta e muito alta.

Com relação ainda aos valores de resistência à penetração, nota-se que no último ano houve diminuição em todos os tratamentos, o que favorece não só os aspectos físicos do solo, mas também o desenvolvimento da planta, evidenciando que em qualquer tipo de preparo, após determinado período, ocorre à reestruturação e reorganização das partículas, favorecendo o desenvolvimento de culturas (SOARES et al., 2005; PEREIRA NETO et al., 2007; CAVALIERI et al., 2009).

Para todas as variáveis agroindustriais houve diferença significativa na safra 2008/2009, e apenas para tonelada de colmo por hectare (TCH), tonelada de pol por hectare (TPH) na safra 2009/2010. A produção de colmos (TCH) e de açúcar (TPH) apresentaram diferença com o tipo de preparo de solo nos dois ciclos de crescimento da cana-de-açúcar (Tabela 5). Na cana planta os tratamentos PC I e SD proporcionaram a maior e a menor produção de colmos, respectivamente, verificando-se diferença de 6 Mg ha^{-1} entre os tratamentos. Para os demais preparos de solo não se constatou efeito dos tratamentos, sendo observado produção média menor de 2 Mg ha^{-1} em comparação ao PC I. Para a produção de açúcar, o PC II, seguido do PC I, PC III não apresentou diferença e obteve as maiores produções, apresentando ganho médio de 2 Mg ha^{-1} de açúcar quando comparado com SD que obteve as menores produções. O cultivo mínimo apresentou para TPH valores estatisticamente iguais ao PC I e PC III. tratamento SD, está relacionada ao aumento de densidade do solo e resistência a penetração, observado na Tabela 4. Estes fatores limitaram o crescimento do sistema radicular, pois ocorreu menor revolvimento do solo no plantio e mesmo sendo área anteriormente cultivada com grãos, não foi suficiente para garantir boa produtividade. Vale ressaltar que nestas condições de chuva acima da

média anual e solo argiloso, o tratamento sem revolvimento do solo não conseguiu evitar a compactação proporcionada pela colheita mecanizada em condições inadequadas.

Para os valores de TCH (Tabela 5), em todos os tratamentos utilizados, houve decréscimo da cana planta para a cana soca, que no caso é considerada normal, pelo fato do gasto de energia ocasionado na rebrota. No entanto, observa-se grande discrepância entre os valores de TCH da safra 2008/2009 para a 2009/2010, provavelmente pela queda na precipitação nos meses de janeiro e fevereiro do ano de 2009 (Figura 1), período em que a cana-de-açúcar desenvolve a sua parte aérea.

Verifica-se ainda na tabela 5, que as médias dos valores de TCH, TPH e dos atributos tecnológicos não possuem uma variação significativa entre os tratamentos, com exceção da sulcação direta (SD), mas mesmo assim o PCII acaba por obter os maiores resultados quando comparado. No entanto, quando comparado com demais pode ser elevado, considerando o maior número de operações.

Neste caso a tomada de decisão deve ser feita com base no custo unitário e no tempo para a execução do tratamento, ou seja, a opção menos onerosa e mais rápida principalmente quando devem ser preparadas grandes áreas e a longas distâncias. Assim sendo, os resultados do tratamento CM, podem ser mais vantajosos, se comparado aos demais tratamentos, pela baixa densidade do solo, elevada porosidade o que acarreta em elevado TCH e TPH.

Para os atributos tecnológicos, os resultados da cana planta apresentam diferença entre os tipos de preparo do solo, no entanto, para a cana soca os tratamentos não afetaram o AP, ATR

e Fibra (Tabela 5). Nesse contexto, o PC II e PC I obtiveram os maiores valores de pol % (AP) e ATR, apresentando, respectivamente, 1,3% e 11,6 kg t⁻¹ de açúcar a mais quando comparado ao SD que obteve os menores valores. Os tratamentos PC I, PC III e CM não apresentaram diferença para AP e ATR, verificando-se valores médios de 13,3% e 125,5 kg t⁻¹, sendo considerados baixos em todo o período de colheita da cana segundo Ripoli e Ripoli (2004), onde atribui valor recomendado para essa variável maior que 14%.

O teor de fibra na safra 2008/2009 mostrou-se significativo entre os tipos de preparo do solo, não ocorrendo o mesmo na safra 2009/2010, onde se tem a cana soca (Tabela 5). Na cana planta, o valor médio de fibra foi de 10,37%, permanecendo na faixa ideal (8-16%) para Bernardes e Câmara (2001) e pouco abaixo (11-16%) conforme descrito por Có Júnior et al. (2008). Para cana soca (safra 2009/2010) todos os resultados de teores de fibra ficaram na faixa ideal.

CONCLUSÕES

Houve alteração dos atributos físicos do solo, provocando redução da produtividade na safra 2009/2010, quando comparada com a safra 2008/2009.

O PC I apresentou melhor resultado de TCH na safra de 2008/2009, enquanto o PC II e o CM apresentaram melhores resultados nas safras de 2009/2010.

A SD apresentou maior densidade do solo e resistência à penetração de raízes, consequentemente menor produtividade da cana-de-açúcar na cana soca, com diferença de 20,53 Mg ha⁻¹, quando comparado ao PC II.

ABSTRACT: The tillage comprises on average 25% of the cost of deploying a reed, so this cost reduction measures are desirable since they do not compromise the quality of the operation and longevity of sugarcane. The objective was to evaluate the effect of different tillage systems in Acrustox, correlating soil physical properties and characteristics of sugarcane agroindustrial plant cane and ratoon cane. We used five types of soil tillage, over experimental design in blocks with five replications. The particle size was measured every 0.1 m to 0.4 m depth, through deformed soil samples collected at the end of the first growth cycle of the culture. For other soil physical properties: bulk density, total porosity and water content, assessments were performed at the end of each cycle, collecting soil samples in layers of 0-0.20 to 0.21-0.40 m, in addition to performing the penetration resistance, using a penetrometer impact. The response of sugarcane depending on the types of tillage was determined from the evaluation of productivity per hectare of stem (TCH), sugar (TPH), the values of pol % cane (AP), sugar total recoverable (ATR) and fiber samples collected at harvest stalk of sugarcane plant and ratoon cane. In the tillage studied, there was a change of the physical attributes of the soil, causing reduced productivity in 2009/2010 crop, compared with the 2008/2009 season. In tillage system of furrowing direct lowest result was observed for TCH, especially in 2009/2010 crop, when the difference with conventional tillage was 20.53 Mg ha⁻¹.

KEYWORDS: Technological aspects. Soil conservation. Bulk density. Total porosity. Penetration resistance. *Saccharum* spp.

REFERÊNCIAS

- ARSHAD, M. A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. *In*: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 123-141. (SSSA Special Publication, 49).
- BERNARDES, M. S.; CÂMARA, G. M. S. **Cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, Dep. Produção Vegetal, 2001. 20 p.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 58, n. 3, p. 555-560, 2001.
- CARVALHO FILHO, A.; CARVALHO, L. C. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; CORTEZ, J. W.; RIBON, A. A. Qualidade física de um Latossolo Vermelho férrico sob sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, Uberlândia-MG, v. 25, n. 06, p. 43-51, 2009.
- CARVALHO FILHO, A.; SILVEIRA, M. E. G.; SILVA, R. P.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho acriférrico cultivado com milho. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon-PR, v. 06, n. 01-02, p. 31-39, 2007.
- CAVALIERI, K. M. V.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P.; DEXTER, A. R.; HÅKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 103, p. 158-164, 2009.
- CAVALIERI, K. M. V.; TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; COSTA, A. C. S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, n. 01, p. 137-147, 2006.
- CEDDIA, M. B.; ANJOS, L. H. C.; LIMA, E.; SILVA, L. A.; RAVELLI NETO, A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 34, n. 08, p. 1467-1473, 1999.
- CÓ JÚNIOR, C.; MARQUES, M. O.; TASSO JÚNIOR, L. C. Efeito residual de quatro aplicações anuais de lodo de esgoto e vinhaça na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 28, n. 01, p. 196-203, 2008.
- D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos Cerrados no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 26, n. 04, p. 1047-1054, 2002.
- DA ROS, C. O. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 21, n. 02, p. 241-247, 1997.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 2006. 306 p.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar**. 2ed. 2003. 240 p.
- FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. *In*: Quirijn de Jong van Lier. (Org.). **Física do Solo**. 1ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, v. 01, p. 1-27.
- GÓES, G. B.; GREGGO, T. C.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ANDRIOLI, I. Efeito do cultivo da cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e na condutividade hidráulica do solo. **Irriga**, Botucatu-SP, v. 10, n. 02, p. 116-122, 2005.

- GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com o grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York-NY, v. 01, n. 01, p. 277-294, 1985.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2005. 335 p.
- PAULINO, A. F.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; SILVEIRA, K. R. P.; TREVISAN, A. A.; MURATA, I. M. Escarificação de um Latossolo Vermelho na pós-colheita de soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 28, n. 05, p. 911-917, 2004.
- PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F.; RALISCH, R.; FONSECA, I. C. B. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 11, n. 05, p. 489-496, 2007.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 13 ed. Piracicaba: Nobel, 1990.467p.
- PRADO, R. M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 36, n. 01, p. 197-203, 2001.
- PRADO, R. M.; NATALE, W. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum**, Maringá-PR, v. 25, n. 01, p. 45-52, 2003.
- PRADO, R. M.; ROQUE, C. G.; SOUZA, Z. M. Sistemas de preparo e resistência à penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 37, n. 12, p. 1795-1801, 2002.
- RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Ed. Barros & Marques Editoração Eletrônica, 2004. 302 p.
- SAS – Statistical Analysis System Institute. **SAS/STAT Procedure guide for personal computers**. 5ed. Cary, NC: SAS Inst. 1999. 334 p.
- SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2003.
- SILVA, J. A. G. Comparação entre métodos expedidos para a estimativa de peso de parcelas em ensaios com cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Copersucar**, Piracicaba, n. 45, p. 11-13, 1989.
- SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; ROSA, J. D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 30, n. 02, p. 329-337, 2006.
- SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v. 35, n. 02, p. 353-359, 2005.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 15, n. 02, p. 229-35, 1991.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 25, n. 02, p. 395-401, 2001.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 59, n. 04, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; GONÇALVES, A. C. A.; ARAÚJO, M. A.; PINTRO, J. C. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 08, n. 01, p. 65-71, 2004.

WATANABE, S. H. **Caracterização da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo**. 2001. 69 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2001.