

INDICADORES MACRO E MICROMORFOLÓGICOS DA QUALIDADE FÍSICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO CULTIVADO COM CANA-DE-AÇÚCAR

macro and micromorphologic indicators of physical clayey red latosol cultivated with sugarcane

Adriana Aparecida Silva *
Selma Simões de Castro **

Resumo

O sudoeste do estado de Goiás se destaca no processo de expansão recente do cultivo da cana-de-açúcar, em especial a microrregião de Quirinópolis, onde inicialmente foram substituídas áreas de cultura anual, sobretudo soja, e em seguida áreas de pastagem, sobre Latossolo Vermelho distroférico argiloso (LVdf), que apresenta alto potencial de compactação. O objetivo desse trabalho foi avaliar o processo de compactação de tais solos cultivados com cana-de-açúcar, considerando que os perfis selecionados foram descompactados, corrigidos e fertilizados antes do plantio da cana. Tais perfis apresentam diversas formas de usos anteriores à cana (soja/cana, pasto/cana e sucessão pasto/soja/cana), além do manejo com e sem fertirrigação com vinhaça, e tiveram como referência área remanescentes de vegetação natural. Foram avaliados indicadores macro e micromorfológicos, ensaios de resistência mecânica à penetração e análises físico-hídricas em laboratório. Os resultados indicaram compactação superficial e subsuperficial dos perfis estudados, independente dos usos anteriores, sendo os principais indicadores a presença de estrutura tendendo a laminar pouco porosa nos níveis compactados, além de aumento da densidade do solo e da resistência mecânica à penetração.

Palavras-chave: Saccharum spp; Estrutura; Compactação; Micromorfologia.

Abstract

The southwest of Goiás stands out in the process of the recent expansion of sugarcane plantation, especially in micro-region of Quirinópolis, where previously areas of annual crops were replaced, especially soybeans, and then pasture areas on clayey dystroferric Red Latosol (LVdf) which has a high potential for compaction. The aim of this work was to evaluate the process of compaction such soils cultivated with sugarcane, considering the selected profiles were decompressed, corrected and fertilized before planting sugarcane. Such profiles have along with the current use of sugarcane varying in relation to previous use (soybean/sugarcane, pasture/sugarcane and pasture succession/soybean/sugarcane), and the management with and without fertigation with vinasse, and an area of remaining natural vegetation as control. Macro and micromorphological indicators, followed by tests evaluated in laboratory as penetration resistance and physic-hydric analysis. The results indicated surface and subsurface compaction of the soil profile studied, regardless of previous uses, being the main indicators the presence of structure tending to laminar few porous in compaction levels, and increased of soil density and of penetration resistance.

Key words: Saccharum spp; Structure; Compaction; Micromorphology.

Resumen

El sudoeste del estado de Goiás se destacó en la reciente expansión del cultivo de caña-de-azúcar, en particular la microrregión del Quirinópolis donde fueron sustituidos áreas de cultivos anuales, sobre todo soja, y luego áreas de pastoreo, en los Oxisol distrófico arcilloso (LVdf), que tiene un alto potencial para la compactación. El objetivo de este estudio fue conocer el proceso de compresión de tales suelos cultivados con caña-de-azúcar, mientras que los perfiles seleccionados fueran descomprimidos, corregidos y fertilizados antes de lo plantio de caña. Estos perfiles presentan diversas formas de uso antes de la caña de (soja/caña, pasto/caña y sucesión pasto/soja/caña), y el manejo con y sin fertirrigación con vinaza, y se basaron en área de vegetación natural. Se evaluaron indicadores macro y micromorfológicos, pruebas de la resistencia mecánica a penetración y análisis físico-hidro del laboratorio. Los resultados indicaron compactación superficial y subsuperficial de los perfiles estudiados, independientemente de los usos anteriores, los principales indicadores la presencia de estructura tendiendo a laminares y ligeramente porosa en los niveles comprimidos y el aumento de la densidad aparente del suelo y de la resistencia a la penetración.

Palabras clave: Saccharum spp; Estructura; Compresión; Micromorfología.

(*) Prof^a Dr^a do Programa de Pós-Graduação em Territórios e Expressões Culturais no Cerrado da Universidade Estadual de Goiás - Av. Juscelino Kubitschek, 146, CEP: 75.110-390. Anápolis (GO), Brasil. Tel.: (+55 62) 3328 - 1128 - ueg.adriana@gmail.com

(**) Prof^a Dr^a do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás e Bolsista Produtividade do CNPq - Av. Esperança, s/n, CEP: 74.690-900. Tel.: (+55 62) 3521-1184 - selma@iesa.ufg.br

INTRODUÇÃO

O processo de expansão da cana-de-açúcar vem se intensificando no estado de Goiás desde final da década de 1990, alcançando em 2012 uma área plantada de cerca de 730 mil ha, bastante concentrada na porção centro/sul do Estado, em particular na sua região sudoeste de planejamento (SEPLAN, 2006). Nesta encontra-se a Microrregião de Quirinópolis (MRQ), que se destaca por apresentar três dos dez municípios com grandes áreas de produção de cana-de-açúcar do estado: Quirinópolis com 48.233 ha, Gouvelândia com 23.245 ha e Caçu com 20.261 ha, respectivamente primeiro, sexto e décimo no ranking (CANASAT, 2012).

O plantio da cana-de-açúcar na MRQ teve início em 2004, induzido pela implantação de duas grandes usinas na região (São Francisco e Boa Vista). A primeira safra foi colhida em 2006/2007 relativa a uma área plantada de 5.688 ha, área essa que se expandiu rapidamente chegando a 125.896 mil ha na safra 2011/2012 (CANASAT, 2012). O plantio inicial deu-se sobre o melhor solo da região, o Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) de textura argilosa, cultivado até então com grãos, em especial soja e milho, para em seguida substituir áreas de pastagem, passando, em alguns casos, por sucessão pasto/soja/cana, objetivando a recuperação do solo degradado pela pastagem. Entretanto, como a área com LVdf é relativamente pequena na região e concentrada principalmente a nordeste, sobre terrenos basálticos, onde os grãos eram cultivados, foi rapidamente ocupada pela cana-de-açúcar, e a cultura passou a se expandir sobre os demais solos, dentre eles o Latossolo Vermelho distrófico que ocupa maior área rumo ao centro da MRQ e se desenvolve sobre arenitos, resultando em texturas com menos argila, por isso destinadas às pastagens na região (SILVA; CASTRO, 2011).

O LVdf se caracteriza por apresentar perfil homogêneo, textura argilosa a muito argilosa e estar associado a um relevo plano a suave ondulado, sendo, por isso, considerado de elevada aptidão agrícola para cultivos intensivos, ainda que passíveis de correção e adubação. Solos argilosos são altamente suscetíveis à compactação (DIAS JÚNIOR, 2000; REICHERT, et al. 2007.; TRINDADE et al., 2008), a qual é potencialmente maximizada quando associada a um manejo tecnificado, com uso de maquinário pesado, como no caso do cultivo da cana-de-açúcar na MRQ. Assim, há a necessidade de adoção de critérios para avaliar as condições atuais da qualidade destes solos, em especial considerando o potencial de compactação e o fato da expansão do cultivo de cana-de-açúcar ser recente nessa área.

A qualidade do solo (QS) é entendida como sendo a capacidade do solo em exercer suas funções dentro dos limites de capacidade de uso da terra, não considerando o solo apenas como um fator de produção, mas, como parâmetro de qualidade ambiental (DORAM; PARKIN, 1994). A compactação prejudica a qualidade do solo na medida em que reduz a macroporosidade, aumenta a densidade e a resistência do solo, o que dificulta a penetração das raízes e sua adequada respiração e nutrição mineral (REICHERT et al., 2007).

Nesse estudo propõe-se a avaliação da qualidade física do LVdf com destaque para a estrutura, uma vez que do ponto de vista do uso agrícola esta é considerada a mais importante das propriedades dos solos, por condicionar a porosidade e o suprimento de água e ar para as plantas (SCHNEIDER et al., 2007; PEDROTTI; MÉLLO JÚNIOR, 2009). Segundo Soares et al. (2005a) as práticas mecânicas que mais afetam a estrutura dos solos, resultam do tráfego de máquinas pesadas e do uso intenso de implementos agrícolas que modificam o tamanho dos agregados e reduzem sua macroporosidade, promovendo um aumento na proporção de poros pequenos (microporos) em relação aos grandes (macroporos), além modificar suas formas e conectividade (morfoporosidade). Diversos autores



destacam que essas transformações afetam em particular a monocultura de cana-de-açúcar, devido à maquinaria pesada, promovendo deformações na estrutura (de agregada para laminar), aumento da densidade do solo e na resistência mecânica a penetração de raízes (OLIVEIRA et al., 2003; SEVERIANO et al., 2008; OTTO et al., 2011; PACHECO; CANTALICE, 2011).

O objetivo deste artigo é apresentar os indicadores macro e micromorfológicos de qualidade física dos LVdf na MRQ, cultivados com cana-de-açúcar, relacionados ao manejo (fertilizado e não fertilizado com vinhaça) e aos seus usos anteriores, com vistas a caracterizar e discutir comparativamente os processos de compactação. Para tanto, o estudo desenvolveu-se em seis áreas especialmente selecionadas, representando usos anteriores (sucessões soja/cana, pasto/cana e pasto/soja/cana) e manejo atual com e sem fertilização com vinhaça, tendo para fins de controle uma área com vegetação natural.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A MRQ possui uma área total de 16.068 km² equivalentes a 1.606.803 ha, localizada na região de planejamento denominada de Sudoeste de Goiás (SEPLAN, 2006), sendo composta por nove municípios, dentre eles Quirinópolis e Gouvelândia, onde se concentram grandes áreas contínuas de cultivo da cana-de-açúcar. Antes da chegada dessa monocultura, em 2004, predominava o uso pastagem extensiva, ocupando 72,6% da área, seguida da vegetação natural com 15,4% e culturas anuais com 9,3%, os demais usos somavam menos de 3% (SILVA; CASTRO, 2011). Segundo esses mesmos autores, em 2010 a cana-de-açúcar já ocupava 7,23% da área, tendo substituído inicialmente áreas de cultura anual (grãos) e, posteriormente, áreas de pastagem, as quais reduziram para 57,63%. A cultura anual, sobretudo soja, apesar de ter sido a área-alvo principal, apresentou um aumento em área cultivada passando a 16,68%, uma vez que foi deslocada para áreas de pastagem, como assinalado por Castro et al. (2010), ou mesmo, foi plantada apenas por um ciclo de cultivo, com o fim de recuperar áreas de pastagens degradadas destinadas posteriormente ao plantio da cana, ou seja, implementação da sucessão pasto/soja/cana, prática bastante comum no preparo dos solos nessa microrregião (SILVA; CASTRO, 2011).

Os LVdf, nos quais se encontravam as culturas anuais, são considerados os solos de maior aptidão agrícola na MRQ e de todo o Sul Goiano, além disso, seu preparo inicial foi facilitado pelo fato de que já estavam ali culturas de ciclo curto ou intensivo e em geral rotacionado (soja/milho), logo as terras já estavam previamente bem preparadas para o cultivo da cana. Tais solos se localizam, sobretudo, a nordeste da MRQ, sendo dos basaltos da Formação Serra Geral/Grupo São Bento, que lhe garantem melhor condição de textura e fertilidade (SOUZA JÚNIOR, 1983). Em relação ao relevo, essa área integra a Superfície Regional de Aplainamento IVB, com cotas entre 400 e 550 m, associadas a baixos declives e dissecação fraca, além de bem servida de canais de drenagem e presença de sistemas lacustres (LATRUBESSE; CARVALHO, 2006). Portanto, além dos solos, o relevo é também altamente favorável ao cultivo da cana e há abundância de oferta hídrica superficial.

Foram selecionadas seis áreas amostrais homogêneas em termos ambientais, sendo cinco áreas com uso atual cana-de-açúcar, as quais foram submetidas ao mesmo preparo inicial descompactante e químico de fertilidade, representativas do processo de substituição de culturas (soja/cana, pasto/cana e pasto/soja/cana) (quadro 1), além de uma área de controle, com vegetação natural preservada.



Quadro 1 - Preparo do solo utilizado na região de Quirinópolis, Goiás

Uso anterior/cana	Preparo e conservação do solo				
	Nº do perfil	Atividade	Quantidade	Período/ano	
soja/cana 1A		Construção de terraços	-	Ago/2006	
		Subsolagem	-	Ago/2006	
		Grade pesada	-	Ago/2006	
		Calagem	3 t/ha	Set/2006 - Jun/2009	
		Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 - Jun/2009	
	1B		Fosfatagem	0,23 t/ha	Set/2006
			Grade leve	-	Set/2006
	pasto/cana 2A		Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Out/2006
			Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Nov/2006
			Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Nov/2006
		Quebra lombo	-	Fev/2007	
2B		Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008- Jun/2009	
		Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 - Jun/2009	
pasto/soja/cana 6B					
soja/cana fertirrigada/1A		Fertirrigação (vinhaça)	150 m ³ /ha	Jun/2008	
pasto/cana fertirrigada/2A					

Número seguido de letra A manejo fertirrigado; número seguido de letra B manejo não fertirrigado.

Metodologia

As descrições morfológicas e coletas foram feitas em trincheiras convencionais, com base em Santos et al. (2005), enfatizando-se a espessura, textura, estrutura, consistência, porosidade, a presença de estruturas de compactação, suas características e efeitos. Foram realizadas coletas de amostras informadas e deformadas para rotinas analíticas físicas e de fertilidade. Nestas, além dos anéis volumétricos para densidade, foram coletadas caixas retangulares de papel-cartão branco tamanho 12x7x6 cm para coleta de monólitos dos horizontes de solo com estrutura de campo preservada, para estudo micromorfológico.

Ao lado das trincheiras, a uma distância de 2 m em nível, procedeu-se ao teste de resistência mecânica à penetração do solo (RP) que simula a penetração das raízes nos solos, feita por meio do penetrômetro vertical de impacto (60 cm), modelo IAA/Planalçucar (STOLF, 1983). A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em valores de RP foi obtida pela equação abaixo, em que para a conversão de kgf/cm² para MPa, multiplicou-se o resultado obtido na equação pela constante 0,0981 (STOLF, 1991).

$$R(\text{kgf/cm}^2) = 5,6 + 6,89N$$

Onde: R = resistência do solo ou índice do cone e N = penetração unitária por um impacto.

Em laboratório as amostras foram encaminhadas para análises, sendo que as amostras deformadas destinaram-se a análise textural (em água e NaOH + Hexametáfosfato de Na pelo método do

densímetro), argila dispersa em água, grau de floculação, umidade gravimétrica e teor de matéria orgânica (Dicromato de Na) (EMBRAPA, 1997). Já as amostras indeformadas, coletadas em anéis volumétricos, serviram à determinação da densidade do solo (método do anel volumétrico), densidade de partículas (método do balão volumétrico) e cálculo da porosidade total (EMBRAPA, 1997). As amostras indeformadas dos monólitos foram encaminhadas para laboratório onde foram secas em estufa a 40°C e impregnadas sob vácuo com resina de poliéster para posteriormente serem cortadas, coladas e polidas até alcançarem a espessura de 25 µm (CASTRO et al., 2003). Os parâmetros micromorfológicos observados foram: trama, fundo matricial, microestrutura, porosidade e feições pedológicas dominantes. As descrições foram feitas conforme instruções de Stoops (2003), com auxílio de microscópio petrográfico binocular da Olympus BX40, no qual foi acoplada a máquina digital para tomada de fotomicrografias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Atributos macromorfológicos

Os resultados apresentados no quadro 2 mostram que nos perfis 1A (sucessão soja/cana fertirrigada), 1B (soja/cana não fertirrigada), 2A (pasto/cana fertirrigada) e 6B (pasto/soja/cana não fertirrigada) desenvolveu-se estrutura em blocos subangulares pequenos a médios nos horizontes superficiais (A, AB e BA), em contraste com a estrutura granular pequena a muito pequena, típica de Latossolos Vermelho, dos horizontes subsuperficiais Bw1 e Bw2. No 2B (pasto/cana não fertirrigada) a estrutura já se apresenta laminar grande nos horizontes A e AB, em blocos subangulares no Bw1 e granular apenas no Bw2. O perfil 7C (vegetação natural) apresenta estrutura granular a grumosa no horizonte A e granular pequena a muito pequena nos AB, BA e Bw. Tais estruturas permitem constatar que, no geral, há predominância de estruturas em blocos médios a pequenos nos horizontes superficiais dos perfis com cana-de-açúcar, cuja consistência é em geral dura quando seca, mas friável a muito friável quando úmida e não indicativa de compactação, exceto no perfil 2B que continua mais consistente (muito firme), indicando compactação. Contudo, os blocos indicam mudança da estrutura granular original, o que pode indicar pequena compressão que não chega a promover limitações ao crescimento das raízes.

A consistência quando se apresenta firme torna-se friável a muito friável nos horizontes subsuperficiais, com exceção para o horizonte AB do perfil 2B, onde a consistência continua muito firme, indicando provável efeito do tipo pé-de-grade. A plasticidade e pegajosidade, relativas à consistência molhada, indicam que se trata de solos muito plásticos e pegajosos quando manejados próximo à capacidade de campo, permitindo avaliar que se trata de alto potencial de compactação, como é o caso dos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigada), 1A (soja/cana fertirrigada) e 1B (soja/cana não fertirrigada).

No geral, as características morfológicas apresentadas sugerem que já ocorre degradação estrutural, embora incipiente, compatível com compactação dos solos, pela presença de blocos desenvolvidos a partir da estrutura granular, típica desses solos, que evolui para laminar, além da consistência seca dura a muito dura e muito firme quando úmida no perfil 2B, o que já indica compactação. Kertzman (1996), estudando solos similares, definiu as consistências dura a muito dura, quando no estado seco, como indicadoras de médio a alto grau de compactação. Aplicando essa interpretação nos perfis ora estudados, a maior alteração estrutural observada é no perfil 2B, relativo à substituição pasto/cana não fertirrigada, devido presença de estrutura laminar muito dura nos horizontes A e AB e firme a muito firme no estado úmido, contudo, nos demais perfis a presença de consistência dura já indicaria compactação. Tais características foram atribuídas ao manejo motomecanizado intensivo da cana-de-açúcar em solos argilosos e muito plástico, além do caso do perfil 2B, onde o preparo do solo ocorreu em período úmido, conforme relato do manejo disponibilizado pela Usina São Francisco.



Quadro 2 - Atributos morfológicos do Latossolo Vermelho distroférrico

Horiz. cm	Estrutura	Consistência			Transição
		seco	úmido	molhado	
Perfil 1A- soja/cana fertirrigada					
A 0 – 13	Blocos subangulares pequenos	D	FI	PPL, PPE	G, O
AB 13 – 50	Blocos subangulares médios a pequenos	LD	FI	PL, MPE	D, O
BA 50 – 90	Blocos subangulares pequenos	D	FR	PL, MPE	C, O
Bw1 90 – 110	Granular pequena	LD	FR	PL, MPE	D, O
Bw2 110 – 150+	Granular pequena	M	MFR	PL, PE	
Perfil 1B- soja/cana não fertirrigada					
A 0 – 23	Blocos subangulares médios	D	FI	PPL, PPE	G, O
AB 23 – 65	Blocos subangulares médios a pequenos	MD	FI	PL, PE	D, P
BA 65 – 88	Blocos subangulares pequenos	MD	FI	PL, MPE	D, P
Bw1 88 – 116	Blocos subangulares pequenos	LD	FR	PL, MPE	D, O
Bw2 116 – 150+	Granular pequena	M	MFR	PL, MPE	
Perfil 2A- pasto/cana fertirrigada					
A 0 – 33	Blocos subangulares pequenos	M	MFR	PL, LPE	G, P
AB 33 – 47	Blocos subangulares médios a pequenos	LD	FR	PL, PE	C, P
BA 47 – 77	Blocos subangulares pequenos	LD	FR	PL, PE	G, I
Bw1 77 – 115	Granular pequena	M	FR	LPL, LPE	D, P
Bw2 115 – 150+	Granular pequena	M	MFR	LPA, LPE	
Perfil 2B- pasto/cana não fertirrigada					
A 0 – 15 (20)	Laminar grande	MD	MFI	LPL, LPE	D, O
AB 15 – 53	Laminar grande	MD	MFI	LPL, PPE	D, P
(65)	Laminar grande	MD	MFI	LPL, PPE	D, P
Bw1 53 – 102	Blocos subangulares médios	LD	MFR	LPL, MPE	G, O
Bw2 102 – 150+	Granular pequena	LD	MFR	MPL, MPE	
Perfil 6B – sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada					
A 0 – 28	Blocos subangulares pequenos	LD	FR	NPL, LPE	C, O
AB 28 – 56	Blocos subangulares pequenos	LD	FR	LPL, LPE	A, P
Bw1 56 – 90	Blocos subangulares pequenos	LD	MFR	LPL, LPE	A, P
Bw2 90 – 150+	Granular pequena	M	MFR	LPL, LPE	
Perfil 7C- vegetação natural					
A 0 – 20	Granular pequena a grumosa	D	MFR	MPL, PE	G, P
AB 20 – 53	Granular pequena	LD	MFR	PL, PE	G, P
BA 53 – 90	Blocos angulares grandes que desfazem em grânulos pequenos	LD	MFR	LPL, PE	C, O
Bw1 90 – 130	Blocos angulares médios que desfazem em grânulos pequenos	M	MFR	PPL, PPE	C, P
Bw2 130 – 150+	Blocos angulares pequenos	M	MFR	PL, PE	

Consistência seca: M = macia, LD = ligeiramente dura, D=dura, MD=muito dura; Consistência úmida: MFR = muito friável, FR = friável, FI = firme; MFI = muito firme; Consistência molhada: NPL = não plástica, PPL = pouco plástica, LPA = ligeiramente plástica, PL = plástica, MPL = muito plástica; PPE = pouco pegajosa; LPE = ligeiramente pegajosa, PE = pegajosa, MPE = muito pegajosa; Transição: A = abrupta, C = clara, G = gradual, D = difusa; P = plana; O = ondulada, I = irregular, D = descontínua.

Considerando os seis perfis comparativamente, o perfil 7C é o único que não estaria compactado, como esperado. Dentre os manejados o menos degradado foi o perfil 2A (pasto/cana fertirrigada) que apresenta estrutura em blocos pequenos com consistência macia no horizonte A e Bw1 e Bw2 e ligeiramente dura no AB e BA, porém muito friável a friável no estado úmido. Pode-se dizer que os perfis 1A, 1B, 2A e 6B apresentam compactação fraca e o perfil 2B apresenta compactação forte nos horizontes superficiais. Em nenhum deles o horizonte Bw foi afetado, no máximo o BA, logo se trata de compactação superficial.

Mesmo tendo passado pelo mesmo processo de preparo mecânico descompactador (subsolação, grade pesada e grade leve, conforme quadro 1), o qual teria reduzido bastante ou mesmo eliminado compactação herdada dos cultivos e manejos anteriores, pode-se constatar que o comportamento atual dos solos cultivados com cana-de-açúcar não é uniforme entre os perfis. Considerando-se que as operações de preparo com uso de maquinário pesado tendem a deformar a estrutura do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997; DIAS JUNIOR, 2000), desde 2006 na área em estudo já foram realizadas três colheitas mecanizadas (junho/2008, maio/2009 e maio/2010), com uso de maquinário pesado. Casagrande (2002) alerta que uma carregadeira de cana pode causar compactação em até 10 cm de profundidade, já um sistema de transporte via bminhão, em que as carrocerias podem levar até 30 toneladas cada uma quando cheia, podem chegar a até 30 cm de compactação.

Atributos físico-hídricos e teor de matéria orgânica

A tabela 1 apresenta os resultados analíticos relativos à textura, argila dispersa em água (ADA), densidades do solo (DS), densidade de partículas (DP), porosidade total (PT) e teor de matéria orgânica (MO) dos solos estudados. Corroborando às observações de campo, a textura é argilosa para todos os perfis estudados com relativamente baixa dispersão da argila em água (ADA). Esta pode ser explicada pelos altos teores de óxidos de Fe, característica comum de solos originados de rochas basálticas como o LVdf. Os teores mais elevados de ADA ocorrem apenas no horizonte A dos perfis 1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada), mas curiosamente também no 7C (vegetação) o que pode indicar que o próprio solo já teria essa característica.

Em todo caso, nos demais horizontes deste perfil 7C e nos demais, a dispersão é muito baixa (< 4%), sendo zero em todos os horizontes do perfil 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada). Alguns autores consideram que a vinhaça melhora a agregação dos solos o que permitiria uma maior infiltração da água e diminuição da ADA, variando em relação à sua constituição, quantidade de MO e de cátions K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ (RIBEIRO et al., 1983). Porém, não se observa diferença notável entre perfis fertirrigados e não fertirrigados. Há que se assinalar que se trata da MO total, a qual corrigida para o C orgânico indicaria baixos teores, exceto para os horizontes A e AB, como esperado, provavelmente devido ao cultivo na palhada da cana.

Inversamente proporcional à ADA, o grau de floculação (GF) apresenta valores maiores nos horizontes subsuperficiais em relação aos superficiais, como era esperado, por estarem pouco afetados pelo manejo. O perfil 6B apresentou todos os horizontes com argila 100% floculada, como é próprio desse tipo de solo.

Os dados relativos aos atributos físico/hídricos e de MO, quando comparados os perfis com cana-de-açúcar com os da área de controle, indicam que ocorreram alterações na qualidade física dos solos. Como parâmetros foram considerados os índices apresentados por Kertzman (1996) para solos com mesmas características, onde os valores de DS entre 1,2 e 1,39 g cm⁻³ sendo indicativos de compactação média e valores superiores a 1,40 de alta compactação, valor este considerado crítico por Reynolds et al. (2002). Nos perfis analisados, valores compatíveis com compactação alta foram encontrados nos horizontes A e AB do perfil 2B (pasto/cana não fertirrigada) e média para o perfil 1B (soja/cana não fertirrigada). Em relação à PT, ainda segundo esses mesmos autores, valores menores que 54% são indicativos de alta compactação, como os encontrados nos horizontes A e AB dos perfis 2B, 1B e 6B todos relativos ao manejo não fertirrigado (figura 1).

Tabela 1 - Atributos físicos e teor de matéria orgânica do Latossolo Vermelho distroférrico

Perfil/Horizonte Prof. em cm	Textura g kg ⁻¹			Classe textural	ADA	GF	Densidade		PT %	MO g dm ⁻³
	Areia	Silte	Argila		Solo	Part.				
(Perfil 1A) soja/cana fertirrigada										
A 0-13	420	110	470	Argilosa	10	81	1,08	2,78	61	17
AB 13-50	400	100	500	Argilosa	4	93	1,07	2,64	59	10
BA 50-90	370	120	510	Argilosa	4	93	0,91	2,77	67	6
Bw1 90-110	500	100	400	Argilo arenosa	0	100	0,94	2,70	65	3
Bw2 110-150+	570	90	340	Argilo arenosa	2	96	1,03	3,14	67	2
(Perfil 1B) soja/cana não fertirrigada										
A 0-23	470	110	420	Argilo arenosa	2	96	1,28	2,60	50	22
AB 23-65	450	110	440	Argilosa	2	97	1,28	2,70	53	11
BA 65-88	390	110	500	Argilosa	0	100	1,13	2,79	59	6
Bw1 88-116	370	120	510	Argilosa	2	96	1,11	2,78	60	3
Bw2 116-150+	420	110	470	Argilosa	0	100	1,06	2,77	62	2
(Perfil 2A) pasto/cana fertirrigada										
A 0-33	540	90	370	Argilo arenosa	10	79	1,15	2,88	60	18
AB 33-47	470	110	420	Argilo arenosa	0	100	1,05	2,64	60	10
BA 47-77	460	110	430	Argilo arenosa	4	92	1,03	3,11	67	6
Bw1 77-115	570	90	340	Argilo arenosa	0	100	1,03	3,11	67	2
Bw2 115-150+	690	70	240	Franco argilo arenosa	0	100	1,06	2,63	60	2



(Perfil 2B) pasto/cana não fertilrigada										
A 0-15 (20)	300	130	570	Argilosa	2	95	1,50	3,08	51	17
AB 15-53 (65)	350	120	530	Argilosa	2	96	1,29	2,24	42	10
Bw1 53-102	450	110	440	Argilosa	2	96	1,10	2,65	59	7
Bw2 102-150+	500	100	400	Argilo arenosa	2	96	1,05	2,58	59	2
(Perfil 6B) sucessão pasto/soja/cana não fertilrigada										
A 0-28	470	110	420	Argilo arenosa	0	100	1,22	2,25	33	10
AB 28-56	400	120	480	Argilosa	0	100	1,36	2,46	45	7
Bw1 56-90	420	110	470	Argilosa	0	100	1,27	2,27	44	6
Bw2 90-150+	420	110	470	Argilosa	0	100	1,15	2,30	50	7
(Perfil 7C) vegetação natural										
A 0-20	500	100	400	Argilo arenosa	8	88	1,16	2,70	57	29
AB 20-53	470	110	420	Argilo arenosa	10	83	1,03	2,48	58	11
BA 53-90	370	120	510	Argilosa	4	94	1,00	2,78	64	7
Bw1 90-130	360	120	520	Argilosa	4	92	1,01	2,77	63	3
Bw2 130-150+	390	110	500	Argilosa	0	100	0,98	3,13	69	2

ADA= argila dispersa em água; GF = grau de floculação; PT = porosidade total; MO = matéria orgânica.

Considerando o cultivo da cana-de-açúcar na palhada, que fornece MO aos solos, todos os horizontes A dos perfis 1A, 1B, 2A e 2B apresentam valores altos de MO, mas, ainda assim, inferiores ao perfil referência 7C. O mesmo não ocorre no perfil 6B, bem mais baixo, cujo manejo é tradicional, sem resíduos, fator que também responde aos baixos valores de PT encontrados. Observa-se que a fertilrigação com vinhaça ainda não elevou notavelmente o teor de MO nos perfis 1A e 2A, o pelo fato da vinhaça ter sido aplicada apenas uma vez (150 m³/ha) e abaixo do volume permitido 700 m³/ha ano. No entanto, observou-se relação dentre a fertilrigação e os menores valores de DS e maiores de PT dos perfis fertilrigados em relação aos demais, o que já se explicaria pela fertilrigação devido a capacidade da vinhaça em contribuir com MO e assim melhorar a agregação do solo e a dimensão dos agregados, conferindo-lhe maior estabilidade estrutural e porosidade (macro e micro). Tais resultados confirma o observado em solos similares por Silva et al. (2007) e Carvalho et al. (2010).

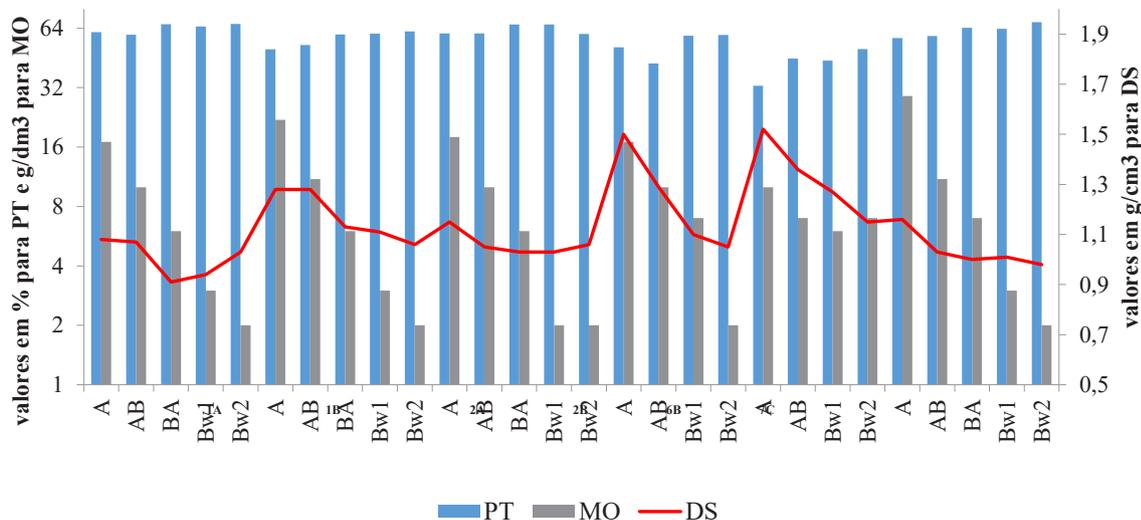


Figura 1 - Distribuição dos valores de DS, PT e MO nos perfis de Latossolo Vermelho distroférrico. DS= densidade do solo; MO = matéria orgânica; PT = porosidade total.

Chama a atenção as DP elevadas, às vezes superiores a 3, indicando presença de minerais pesados, ou também pelo teor elevado de nódulos de ferro, como esperado para esses solos. Já o fato das DS serem todas < 1, inclusive no perfil 7C, com destaque para os perfis 2B e 6B, e secundariamente 2^a é característica indicadora de compactação, esta, contudo, ainda não se revela muito severa após seis anos de cultivo. Apenas dois perfis o 2B e 6B, inspiram mais cuidados e secundariamente o 1A e 2A, que já começam a se destacar. Portanto, a ADA e o GF ainda apresentam valores relativamente satisfatórios, embora em superfície já revelem mudanças estruturais. A vinhaça, mesmo tendo sido aplicada uma única vez, parece ter trazido benefícios ainda que pequenos para a estrutura e a PT dos perfis fertilrigados.

Resistência mecânica à penetração do LVdf

Os resultados dos ensaios de resistência à penetração (RP), apresentados na figura 2, revelam maiores valores em subsuperfície, com destaque para os perfis 1B (soja/cana não fertirrigada) com ~15 a 25 MPa, 2B (pasto/cana não fertirrigada) com ~15 a 20 MPa e 1A (soja/cana fertirrigada) relativo a cerca de 15 MPa, ambos entre 15 e 20/25 cm de profundidade. O perfil 2A (pasto/cana fertirrigada) se diferencia dos anteriores por apresentar maiores resistências em superfície, entre 0 e 20 cm (~12 MPa) de profundidade. O perfil 7C (vegetação) apresentou os menores valores de RP, conforme esperado. O perfil 6B foi desconsiderado nesta análise comparada, pelo fato do campo ter ocorrido em período úmido (início de novembro) período distinto dos demais perfis com campo no período seco (início de setembro).

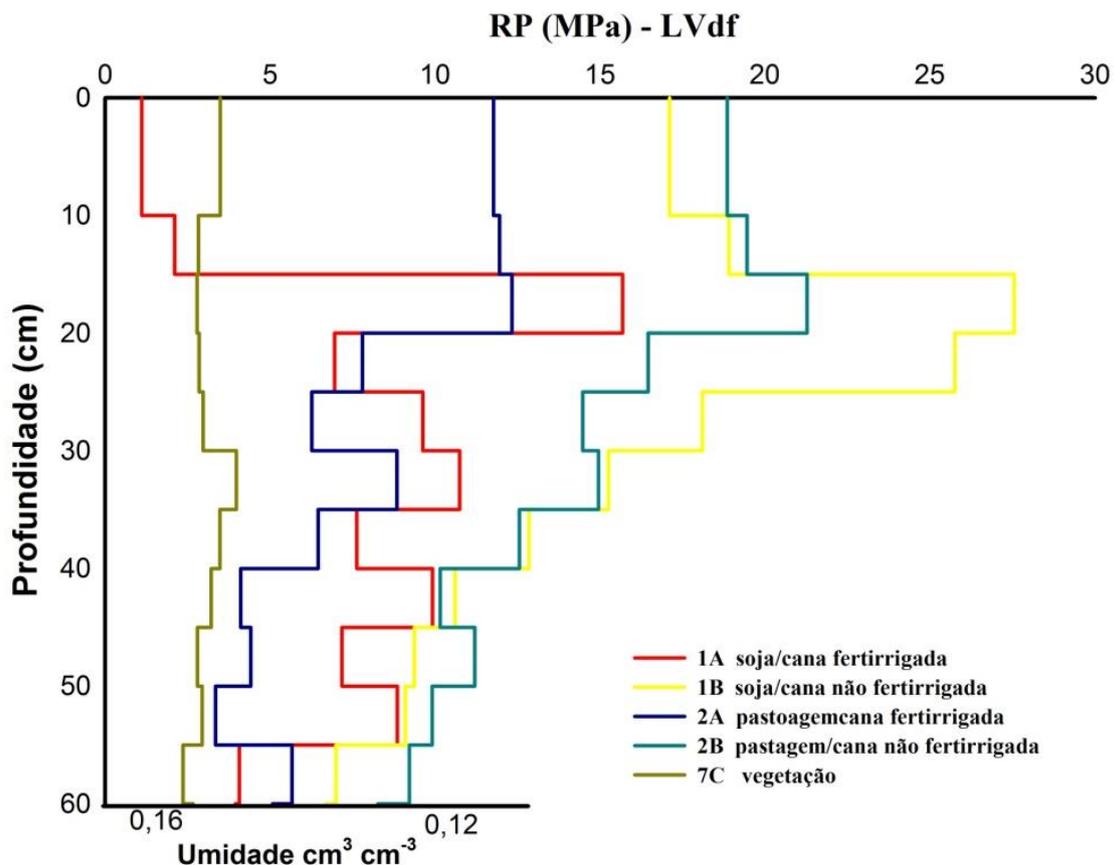


Figura 2 - Valores de RP em profundidade dos solos Latossolo Vermelho distroféricos.

Esses valores poderiam ser considerados altos e indicativos de compactação extremamente alta, não fosse o fato da coleta de dados ter sido realizada em estação seca, quando a umidade gravimétrica variou entre ~0,12 a ~0,16 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, sem alterações significativas entre os perfis. Segundo Kertzman (1996) quando a umidade se encontra abaixo da capacidade de campo, em função do tipo de solo e do período de coleta, um aumento de 5% na umidade aumenta de 3 a 4 vezes os valores de RP. Vaz et al. (2002) também encontraram para um LVdf valores de resistência variando de 15 MPa para umidade de 0,2 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ até < 5 MPa para valores de umidade 0,4 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Tais dados que evidenciam a dependência entre umidade e RP explicando as altas resistências encontradas, pois que os valores de umidade obtidos foram bem inferiores aos detectados por esses autores. Procedendo-se a uma correção nos valores, mesmo assim chama a atenção o fato das RP serem relativamente elevadas, alcançando profundidades de até 60 cm, sobretudo entre 40 e 60 cm, o que preocupa devido a baixa retenção de umidade desses solos, onde as raízes estariam dependentes dela.



Outros fatores que influenciam os resultados da RP são conteúdo de MO, a DS e a textura, uma vez que a fração argila aumenta a coesão entre as partículas do solo e favorece a agregação. Além disso, quanto maior o teor de argila, menor o tamanho dos poros e maior a resistência em uma dada densidade (REICHERT et al., 2010). As maiores RP foram observadas entre 0 e 25 cm, sendo mais representativa entre e 15 e 25 cm, relativas aos perfis 1B (soja/cana) e 2B (pasto/cana), ambos não fertirrigados, justamente onde as DS são mais elevadas em todos os perfis.

Em todo caso, de um modo geral foi observada redução na qualidade física dos solos, com leve desvantagem para os perfis onde não ocorre o manejo com fertirrigação de vinhaça, especialmente no perfil 2B, que foi preparado durante estação chuvosa, período de elevada umidade e deformação máxima, como já exposto. Tal processo é compatível com níveis alto a moderado de compactação dos solos, nos horizontes superficiais (tipo compactação rasa), os quais se pode considerar como consequência do tráfego de maquinaria pesada, típico do manejo de cana-de-açúcar tecnificada.

Tais dados reforçam ainda a ideia de alteração inicial nas condições de qualidade física dos solos observadas na MRQ após 6 anos de cultivo e antes da primeira reforma do canavial. Está evidente que se associa ao uso atual com cana-de-açúcar conforme resultados semelhantes encontrados por Silva e Cabeda (2006), Silva et al. (2009), Severiano (2010) e por Pacheco e Cantalice (2011), dentre outros, para solos cultivados há mais tempo, o que indica a intensidade do processo na MRQ. Quanto aos perfis com manejo fertirrigado com vinhaça, estes apresentaram comportamento ligeiramente melhor em relação à qualidade física, especificamente com relação aos indicadores estruturais, DS, PT e RP, ainda que não tenham elevado substancialmente o teor de MO no solo.

Caracterização micromorfológica do LVdf

A caracterização micromorfológica é apresentada na tabela 2 e permite constatar que os perfis estudados apresentam matriz do solo composta predominantemente por material fino argilo-ferruginoso formados por agregados arredondados (estrutura granular) pequenos e, as vezes, pequenos blocos subarredondados, ambos separados por poros de amontoamento interagregados nos horizontes subsuperficiais Bw, como esperado. Já nos horizontes superficiais percebe-se aumento dos blocos pequenos a médios, também constituídos por material fino argilo-ferruginoso, porém cimentando grãos grosseiros separados por poros fissurais, em geral finos. Percebe-se, no entanto, a pouca contribuição de material grosseiro (areia, silte), porém a presença de minerais ferruginosos opacos (tipo magnetita) e de nódulos ferruginosos hematíticos abundantes que se encontram nessa função de material grosseiro. Tais características são típicas do LVdf (EMBRAPA, 2006).

Em todos os perfis atualmente com cana-de-açúcar o material fino ocupa maior área nas lâminas, como nos horizontes A e AB, correspondendo a cerca de 80% nos perfis 1A (soja/cana fertirrigada), 1B (soja/cana não fertirrigada) e 2B (pasto/cana não fertirrigada). Nos perfis 2A (parto/cana fertirrigada) e 6B (sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada) representam cerca de 60%. Esses valores decrescem em profundidade para até a média de 50% para os horizontes BA, Bw1 e Bw2 nos perfis 1A e 1B, fato associado ao aumento da porosidade. Nos perfis 2A e 6B essa redução é menos expressiva, mesmo assim ficando entre 50 a 55%.

Os poros visíveis nas lâminas apresentam participação reduzida nos horizontes superficiais nos perfil 1A, 1B e 2B, de cerca de 15%, dobrando nos perfis 2A e 6B para 30%. A porosidade é crescente em profundidade, representando 30% em área das lâminas nos horizontes Bw do perfil 2B e 40% nos perfis 1A, 1B, 2A e 6B. O perfil de referência 7C (vegetação) apresenta maior porosidade quando comparado aos perfis com cultivo de cana-de-açúcar, embora também com menores valores em superfície (A, AB) (~50%) e maiores em subsuperfície (BA, Bw1, Bw2) (~65%). Nesse perfil, o material fino é reduzido, passando de <50% na superfície a cerca de 20% em profundidade. No conjunto de perfis o material grosseiro é igualmente distribuído e representa aproximadamente 10% da área total da lâmina de cada horizonte de todos os perfis. A figura 3 sintetiza o exposto.

Tabela 2 - Caracterização micromorfológicos do Latossolo Vermelho distroférrico

Hor cm	Microestrutura/ pedalidade	Porosidade (dominante):tipo e dimensão	Feições: tipos (%)
PERFIL 1A- soja/cana fertirrigada			
A 0-13	BSAN mm, F a M	IA, F a MF; Ca e Cv mm	NFe (18) e Nca mm (5); Capmph (28)
AB 13-50	BSAN mm, F a M	IA, F a Me; Ca e Fi mm	NFe (15) e Nca mm (8); Capmph (45)
BA 50-90	BSA e BSAN mm, F a M	IA, F a MF; Ca mm	NFe (10) e Nca mm (5); Capmph (50)
Bw1 90-110	BSA e s BSAN mm, F	IA, Me a F; Ca e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (3); Capmph (45)
Bw2 110- 150+	BSA mm, F	IA, Me a F; Ca mm	NFe (8) e Nca mm (2); Capmph (46)
PERFIL 1B- soja/cana não fertirrigada			
A 0-23	BSA mm, FR	IA, F a MF; Fi mm	NFe (20) e Nca mm (10); Capmph (2)
AB 23-65	BSAN mm, M a FR	IA, F a Me; Ca e Cv mm	NFe (10) e Nca mm (5); Capmph (20)
BA 65-88	BSAN mm, M a F	IA, F a Me; Ca e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (3); Capmph (40)
Bw1 88-116	BSAN e BSA mm, F	IA, F a MF; Ca e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (2); Capmph (18)
Bw2 116- 150+	BSAN e BSA mm, F	IA, Me a F; Cm e Cv mm	NFe (8) e Nca mm (2); Capmph (26)
PERFIL 2A – pasto/cana fertirrigada			
A 0-33	BSAN mm, F a M	IA, F a MF; Ca e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (8); Capmph (30)
AB 33-47	BSA mm, F a M	IA, F a MF; Cv mm	NFe (10) e Nca mm (8); Capmph (23)
BA 47-77	BSAN mm, F a M	IA, F a MF; Ca e Cv mm	NFe (10) e Nca mm (8); Capmph (22)
Bw1 77- 115	BSA e BSAN mm, F	IA, F a MF; Cv mm	NFe (10) e Nca mm (8); Capmph (32)
Bw2 115- 150+	BSA e BSAN mm, F	IA, F a MF; Ca e Cv mm	NFe (8) e Nca mm (5); Capmph (27)
PERFIL 2B – pasto/cana não fertirrigada			
A 0-15 (20)	BSAN mm, M a FR	IA pouca, F; Fi mm	NFe (10) e Nca mm (7); Capmph (5)
AB 15-53	BSAN mm, FR	IA , pouca, F; Cv e Fi mm	NFe (8) e Nca mm (5); Capmph e (12)
Bw1 53-102	BSAN mm, F a M	IA, F; Ca, Cm e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (5); Capmph (45)
Bw2 102- 150+	BSAN e BSA mm, F	IA, F; Fi, Ca e Cv mm	NFe (10) e Nca mm (3); Capmph (43)
PERFIL 6B – sucessão pasto/soja/cana não fertirrigada			
A 0-28	BSA mm, F a M	IA, F a MF; Ca e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (3); Capmph e (13)
AB 28-56	BSA mm, F	IA, F a MF; Cv e Fi mm	NFe (10) e Nca mm (3); Capmph (42)
Bw1 56-90	BSAN e BSA mm, F	IA, F a Me; Ca e Cv mm	NFe (8) e Nca mm (3); Capmph (35)
Bw2 90-150+	BSA mm, F a M	IA, Me a F; Ca e Cv mm	NFe (8) e Nca mm (5); Capmph (23)
PERFIL 7C –vegetação natural			
A 0-20	BSA mm, F a FR	IA, Me; Ca, Cv e Fi mm	NFe (15) e Nca mm (8); Capmph (50)
AB 20-53	BSA mm, F a M	IA, Me a F; Ca e Cv mm	NFe (15) e Nca mm (8); Capmph (60)
BA 53-90	BSA mm, F a M	IA, Me a F; Cm mm	NFe (10) e Nca mm (8); Capmph (55)
Bw1 90-130	BSA mm, F a M	IA, Me a F; Ca e Cv mm	NFe (10) e Nca mm (5); Capmph (48)
Bw2 130- 150+	BSA mm, F	IA, F a MF; Ca e Cm mm	NFe (8) e Nca mm (3); Capmph (37)

Microestrutura/Pedalidade: BSA = blocos subarredondados, BSAN = blocos subangulares, F = forte, M = moderada, FR = fraca; Porosidade: IA = interagregados, Me = média, Fi = fina, MF = muito fina, Ca = canais, Cv = cavidades, Cm = câmaras, Fi = fissuras; Feições: NFe = nódulos ferruginosos, Nca = nódulos de carvão, Capmph = canais preenchidos com material do próprio horizonte, Ex = excrementos



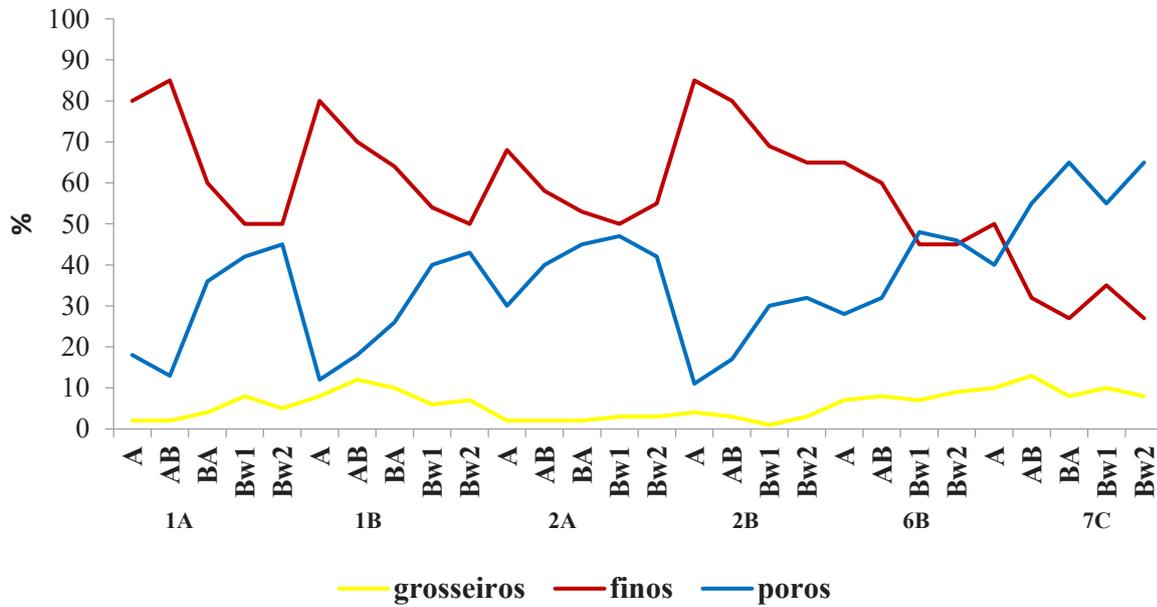


Figura 3 - Distribuição dos tamanhos dos componentes grosseiros e finos do fundo matricial e poros nas lâminas delgadas dos perfis de Latossolo Vermelho distroférico (LVdf).

Ocorrem dois tipos de distribuição relativa, a enáulica e a porfírica. O perfil 7C (vegetação) apresentou distribuição relativa enáulica dominante em todos os horizontes (cerca de 80%), com pequenas zonas adensadas porfíricas bem distribuídas, correspondentes a cerca de 20% da área da lâmina, como esperado para LVdf. Já nos demais perfis 1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada) também predomina a distribuição relativa contínua enáulica nos horizontes superficiais A, AB e BA, compondo cerca de 60% da área das lâminas. As zonas adensadas que correspondem à distribuição porfírica representam nestes perfis cerca de 30% da área da lâmina nos horizontes superficiais, decrescendo para cerca de 20% nos horizontes Bw, reduzindo, portanto, notavelmente em profundidade. Merecem destaque os perfis 1B e 2B que apresentam nos horizontes A e AB predomínio da distribuição relativa do tipo porfírica (~90%), mas nos horizontes BA e Bw retomam ao predomínio da distribuição relativa enáulica (~80%). A figura 4 ilustra o exposto.

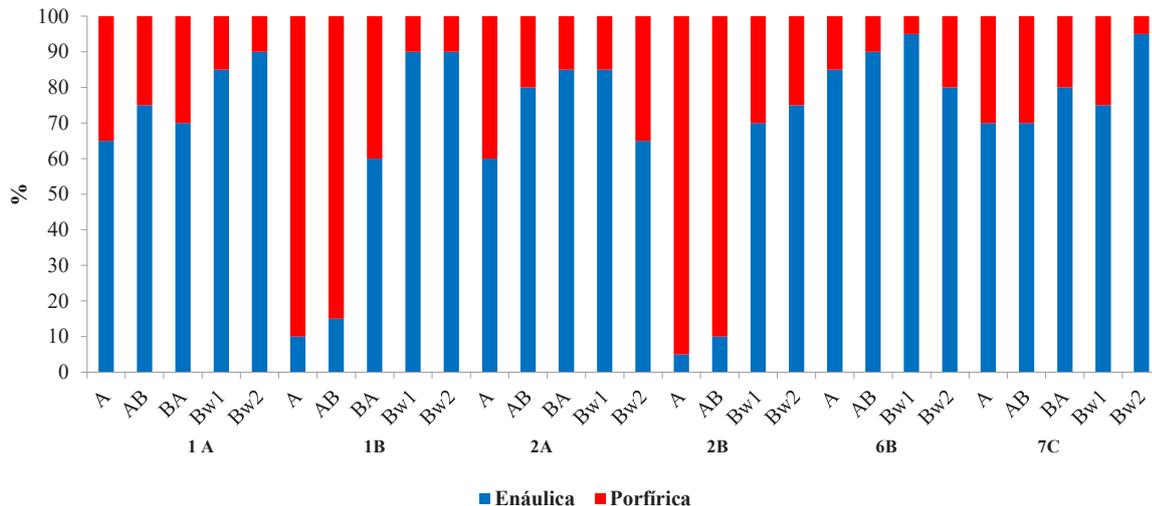


Figura 4 - Distribuição relativa dos horizontes do LVdf.

No geral, a figura 4 permite constatar o predomínio da distribuição enáulica com percentuais menores de porfíricas, estas, no entanto, indicadoras de compactação. Entretanto, como as porfíricas não se apresentam de forma contínua nos horizontes de todos os perfis, com exceção dos horizontes A e AB dos perfis 1B (soja/cana não fertirrigada) e 2B (pasto/cana não fertirrigado), na qual predominam, na prática indicam compactação fraca ou ainda incipiente. O que corrobora com a característica da estrutura observada em campo em blocos e não laminar, exceto para o perfil 2B.

A distribuição enáulica se apresenta muito pequena a pequena, subarredondada, com pedalidade forte a moderada (indicadora de microagregação), em que o material fino caulínico-ferruginoso se encontra dissociado do material grosseiro quartzoso fino, com macroporosidade interagregada de empilhamento média a fina. Os horizontes Bw são similares aos anteriormente descritos, onde dominam a distribuição enáulica e porosidade intergranular fina, além de canais e/ou cavidades milimétricas. Os perfis apresentam ainda feições de preenchimento por material do próprio horizonte (tabela 2).

Os perfis 1B (soja/cana não fertirrigado) e 2B (pasto/cana não fertirrigado) apresentam os horizontes A e AB com blocos subangulares e subarredondados grandes, relacionados à distribuição porfírica, com pedalidade fraca a moderada, constituída por uma associação entre a fração fina caulínico-ferruginosa e o a fração grosseira quartzosa média e predomino de porosidade fissurada fina a muito fina. Nos horizontes BA e Bw domina a distribuição enáulica, pedalidade forte (microagregada), com pequenas zonas adensadas porfíricas em blocos subarredondados pequenos. Predomina a macroporosidade intergranular de empilhamento, com canais, cavidades e/ou câmaras milimétricas associadas à mesofauna, além, de feições de preenchimento com material do próprio horizonte.

O perfil 7C (vegetação) também apresenta fração caulínico-ferruginosa, com distribuição enáulica dominante e bem desenvolvida em todo o perfil. Apresenta poros intergranulares e interagregados médios a finos, e presença de inúmeros canais, cavidades e câmaras milimétricas a subcentimétricas indicativas de boa atividade biológica (raízes e mesofauna) em todo o perfil. Raízes fasciculadas finas ocorrem nos poros maiores, em vários estágios de decomposição. Este perfil também apresenta feições de preenchimento com material do próprio horizonte (tabela 2).

O estudo micromorfológico revelou que a distribuição enáulica domina nos horizontes Bw de todos os perfis, independentemente do uso com cana-de-açúcar e em todos os horizontes do perfil 7C (vegetação). Tal distribuição relativa é típica dos Latossolos em geral e em particular dos LVdf, com elevado teor de ferro. Revelou também que essa distribuição muda para porfírica, compondo pequenas zonas adensadas, nos horizontes superficiais, principalmente dos solos com cana-de-açúcar, destacando-se os perfis 1A (soja/cana fertirrigada) e 2A (pasto/cana fertirrigada), associadas a blocos pequenos a médios, o que é compatível com processo de compactação, conforme observado por Silva et al. (1998) e por Soares et al. (2005b). Nesses perfis, a compactação foi interpretada como moderada devido à descontinuidade dessas zonas compactadas.

Nos perfis 2B (pasto/cana não fertirrigada) e 1B (soja/cana não fertirrigada) a estrutura porfírica predomina, sendo mais contínua nos horizontes superficiais A e AB, indicando forte compactação superficial. O perfil 7C não apresenta sinais de compactação, como esperado. Tais tipos de estruturas são denominadas por Bullock et al. (1985) como estruturas complexas (enáulicas) e estruturas em blocos subangulares (porfírica). A figura 5 ilustra as distribuições relativas, a porosidade e as feições de preenchimento, observadas nos diferentes perfis estudados.

Em síntese, as modificações na microestrutura dos solos afetaram principalmente os horizontes superficiais, corroborando observações de campo, além dos dados analíticos e ensaios de resistência dos perfis estudados, como exposto. Neles os efeitos de compressão direta do maquinário pesado são os responsáveis pela redução da porosidade e sua mudança de intergranular para fissurada, bem como pela mudança nesses mesmos horizontes da distribuição relativa enáulica (microagregada) para a porfírica, embora na maior parte dos perfis ainda descontínua, exceto no 2B, corroborando o observado por outros autores, como Kertzman (1996) e Silva et al. (1998).



Observa-se que os LVdf já se encontram em início do processo de compactação após 6 anos de cultivo e, antes mesmo da primeira reforma do canavial. Trata-se de compactação incipiente, descontínua e superficial associada claramente ao manejo fortemente mecanizado dos solos, típico da cana-de-açúcar, entretanto com menor degradação quando associado ao uso de fertirrigação com vinhaça. Não se constatou diferenças atribuíveis aos usos anteriores (soja e pasto) entre os perfis.

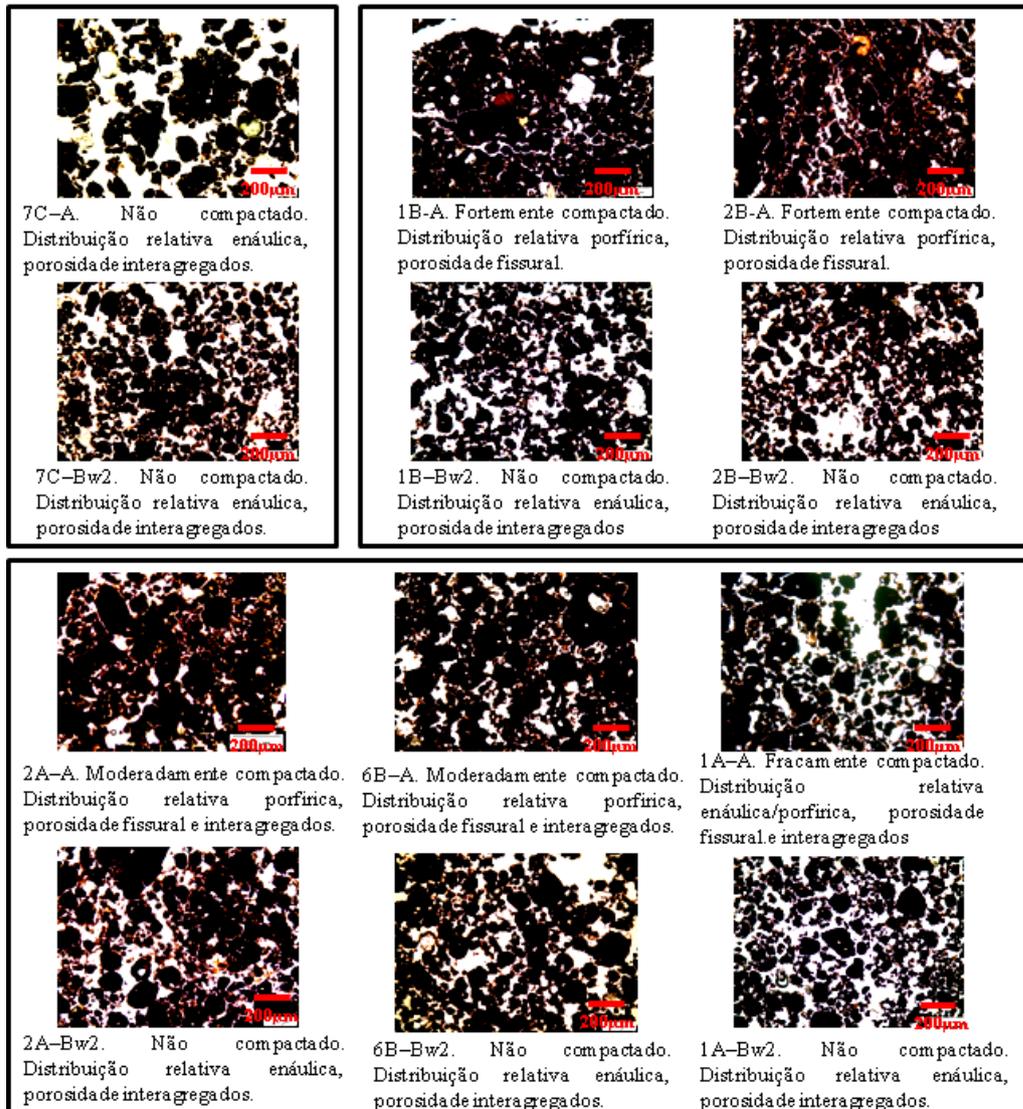


Figura 5 - Fotomicrografias das lâminas delgadas dos horizontes representativos dos perfis de LVdf. Note-se que a fase sólida corresponde à cor escura e os poros à clara (esbranquiçada).

Convém observar que não se constatou diferenças visíveis nas plantas em campo, nem depósitos dos gestores da Usina que revelassem preocupação com o fenômeno, apesar do monitoramento do solo praticado regularmente, como é de praxe. Igualmente não se observou indícios de processos erosivos ou outros decorrentes da compactação. Assim, o processo ainda não se revela preocupante do ponto de vista da produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Os indicadores macromorfológicos e analíticos que melhor ilustraram o processo de compactação foram: a estrutura, a consistência seca, a densidade do solo e a resistência mecânica à penetração. Já o indicador micromorfológico mais eficiente foi a presença de microestrutura porfírica,

associada à compactação incipiente dos solos com blocos subangulares em campo, contrariamente às tramas enáulicas (microagregadas) que indicam não compactação, típicas dos horizontes Bw, associada a estrutura granular em campo. Os valores indicativos de compactação foram: DS ~ 1,50 g cm⁻³; DP > 3,08 g cm⁻³; RP > 15 MPa; PT < 50%.

2. Os perfis fertirrigados com vinhaça apresentaram melhor qualidade física, com menores valores de DS (~1,10 g cm⁻³) e RP (< 5 MPa), relativa aos horizontes superficiais, além de apresentarem melhor preservação da estrutura granular (microagregada) e macroporosidade.

3. A compactação observada foi associada ao manejo fortemente tecnificado da cana-de-açúcar, com uso de maquinário pesado em todas as fases do processo de cultivo. Resultado que independe do uso anterior, ainda que perfis com uso anterior pastagem tenham apresentado mais evidências de compactação, especialmente o perfil 2B, quando comparados com perfis antes cultivados com soja, o que foi explicado pelo preparo inadequado do solo antes do plantio.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa Científica pelo financiamento de programa de pesquisa. A FAPEG - Fundação de Amparo à Pesquisa em Goiás, pela bolsa de formação.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T. **Handbook for soil the section description**. Waine research publications, 1985.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba: 1997.
- CANASAT – **Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra**. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/canasat/>> Acesso em 17 jan. 2012.
- CARVALHO, J. M. de; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; NUNES, M. C. M.; SILVA, W. M. da; MAGALHÃES, W. de A.; SANTOS, A. D. Análise micromorfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Agrarian**, v. 3, n. 10 p. 275-285, 2010.
- CASAGRANDE, A. A. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. In: MORAES, M. H.; MULLER, M.; M. L.; FOLONI, J. S. S. (Coord). **Qualidade física do solo: métodos de estudo – sistema de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p. 150 – 197.
- CASTRO, S. S. de; ADBALA, K.; SILVA, A. A.; BORGES, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, V.30, nº 1. p. 171 – 191, jan/jun, 2010.
- CASTRO, S. S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C. P. VIDAL TORRADO. Micromorfologia do solo: Bases e Aplicações. **Tópicos de Ciências do Solo**, 3: p.107-164. 2003.
- DIAS JUNIOR, M. de S. Compactação do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v.1, p.55-94. 2000.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. SSSAJ, Madison, (Publication Number 35), 1994. p.3-22.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997.
- KERTZMAN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocadas pela compactação**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, 1996. p.152
- LATRUBESSE, M. E.; CARVALHO, M. T. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Secretaria da Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração Goiânia, 2006.



- OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.
- OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil & Tillage Research**, n. 117, p. 201–210, 2011.
- PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 403-415, 2011.
- PEDROTTI, A.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Avanços em ciência do solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental**. São Cristovão, 2009.
- REICHERT, J.M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência Solo**, v.5 p.49-134, 2007.
- REICHERT, J. M.; REINERT, J. D.; SUZIKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: LIER, Q. J. V. (editor) **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 29 – 102.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S. & LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, 110:131-146, 2002.
- RIBEIRO, A. C.; NOVAIS, R. F. de. BAHIA FILHO, A. F. de C. Efeitos da vinhaça sobre a dispersão de argila de amostras de Latossolos. **Revista Ceres**. Ceres, v.30, n.167, p.12-18, 1983.
- SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. EMBRAPA. 5ª Ed. Viçosa, 2005.
- SCHNEIDER, P.; KLAMT, E. GIASSON, E. **Morfologia do solo: subsídio para caracterização e interpretação de solos a campo**. Guaíba: Agrolivros, 2007.
- SEPLAN, Secretaria de Planejamento do Estado de Goiás. **Regiões de planejamento do Estado de Goiás**. Goiânia: SEPLAN, 2006.
- SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JÚNIOR, M. de S.; CASTRO, M. B. de; OLIVEIRA, L. F. V. de. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: I modelagem e quantificação da compactação adicional após as operações de colheita. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.404-413, maio/jun. 2010.
- SEVERIANO, E. da C.; OLIVEIRA, G. C. de; DIAS JÚNIOR, M. de S. OLIVEIRA, L. F. C. de; CASTRO, M. B. de Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo com indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e de um Cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v.32, p.1419-1427, 2008.
- SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). **Transformações no Cerrado: progresso, consumo e natureza**. Goiânia: Ed. Da PUC Goiás, 2011. p. 155-170.
- SILVA, A. J. N. RIBEIRO, M. R. MERMUT, A. R. BENKE, M. B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em latossolos amarelos coesas do Estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:515-525, 1998.
- SILVA, R. B.; LANÇAS, K. P.; MIRANDA, E. E. V.; SILVA, F. A. M.; BAIO, F. H. R. Estimation and evaluation of dynamic properties as indicators of changes on soil structure in sugarcane fields of São Paulo state – Brasil. **Soil & Tillage Reserch**. V. 103 p. 265-270, 2009.
- SILVA, A. J. N. DA; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. n. 30 p. 921-930, 2006.
- SILVA, M. A. S. da; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.11, n.1, p.108–114, 2007.
- SOARES, J. L. N.; ESPÍNDOLA, C. R.O; CASTRO, S. S. de. Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29. p. 1005-1014, 2005 (a).

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, v. 35, n.2, p. 353-359, 2005 (b).

SOUZA JUNIOR, J. J. Mapa de Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**, 31. Folha SE.22. Rio de Janeiro: 1983.

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**, Campinas, v.15, n.2, p.229-35, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J. & FURLANI NETO, V. **Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf. R. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, 1:18-23, 1983.

STOOPS, G. Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section. **Soil Science Society of America**. Madison, Wisconsin, 2003.

TRINDADE, T. P. da; CARVALHO, C. A. B. de; LIMA, D. C. de; BARBOSA, P. S. de A.; SILVA, C. H. de C.; MACHADO, C. C. **Compactação dos solos: fundamentos teóricos e práticos**. Viçosa: Ed. UFV, 2008. 95 p.

VAZ, C. M. P.; PRIMAVESI, O.; PATRIZZI, V. C.; IOSSI, M. de F. **Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto**. Comunicado técnico 51. MAPA. São Paulo, 2002.

Trabalho enviado em setembro de 2015

Trabalho aceito em outubro de 2015

