ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Qualidade física de solos arenosos submetidos a diferentes usos da terra

Edvania Aparecida Corrêa¹, Isabel Cristina Moraes¹, Sergio dos Anjos Ferreira Pinto²

¹Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, IGCE/UNESP/Rio Claro, autor correspondente: e-mail: edvania.correa86@gmail.com, bel.moraes@gmail.com; ² Professor Titular do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento da Universidade Estadual Paulista, IGCE/UNESP/Rio Claro, sanjos@rc.unesp.br

Artigo recebido em 05/08/2016 e aceito em 27/08/2016

RESUMO

Nos últimos 30 anos tem-se verificado no cenário nacional a expansão dos cultivos de cana-de-açúcar especialmente em áreas antes ocupadas por pastagens. No geral, a modificação dos usos da terra ocasiona impactos nos atributos físicos dos solos, restringindo o pleno desenvolvimento radicular e favorecendo o aumento dos processos erosivos e a degradação dos solos. Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar as características físicas dos solos arenosos submetidos ao uso com cana-de-açúcar, pastagens e mata nativa secundária. Foram coletadas amostras de solos na bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande, Ipeúna/São Paulo. Foram realizadas análises granulométricas e obtidos os valores de densidade do solo e porosidade total. Também foram obtidos os valores de resistência mecânica do solo à penetração (RMP) e taxas de infiltração. A análise granulométrica demonstrou que os solos possuem elevada proporção de areia fina, denotando maior susceptibilidade aos processos erosivos. Quando da comparação com as áreas de mata nativa secundária, a maior parte das áreas com pastagens apresentaram RMP superior a 3 MPa, aumento da compactação em subsuperfície com consequente aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total. No entanto, o cultivo com cana-de-açúcar realizado há oito anos causou maiores modificações nos atributos físicos dos solos que o uso realizado há mais de quarenta anos com pastagens. Considerando a expansão da cultura de cana-de-açúcar e os impactos deste uso nos atributos físicos dos solos, torna-se necessária a adoção de um adequado planejamento do uso da terra que considere as limitações físicas de cada paisagem.

Palavras chave: cana-de-açúcar, pastagem, degradação dos solos, resistência mecânica à penetração.

Physical quality of sandy soils subjected to different land uses

ABSTRACT

In the last thirty years is checked the expansion of sugarcane crop especially in areas previously occupied by pastures. Overall, the change of land use causes impacts on the soil physical attributes, restricting ROOT DEVELOPMENT and favoring the increase in erosion and soil degradation. In this sense, the present study aimed to evaluate the physical characteristics of sandy soils used with sugarcane, pasture and secondary native forest. Soil samples were collected in the basin of the stream Monjolo Grande, Ipeúna / São Paulo. We perform size analysis and obtain the bulk density and total porosity. Also there were obtained the values of soil strength (SS) and infiltration rates. The grain size analysis showed that the soils have a high proportion of fine sand, showing increased susceptibility to erosion. When compared to the areas of secondary native forest, most of the areas with pasture presented SS greater than 3 MPa, increased soil compaction in the subsurface with a consequent increase in bulk density and decrease in total porosity. However, the cultivation of sugarcane carried out eight years ago caused major changes in the soil physical properties that the use with pastures held for more than forty years. Considering the expansion of sugarcane culture and the impact of this use on the soil physical attributes, it is necessary to adopt an appropriate planning of land use that consider the physical limitations of each landscape.

Key words: sugarcane, pasture, soil degradation, soil strength

Introdução

A retirada da cobertura vegetal natural pela ação antrópica ocasiona impactos no meio

ambiente, que muitas vezes são difíceis de solucionar ou mesmo contornar. Dentre muitos impactos, destacam-se as modificações nos

atributos físicos dos solos e o consequente aumento da erosão hídrica e degradação dos solos.

Nos últimos 30 anos tem-se verificado no cenário nacional um elevado crescimento na utilização das terras pelas atividades agropecuárias. Conforme IBGE (2006), em 1970 as áreas destinadas à lavoura totalizavam 11,5% e em 2006, 26% da área total nacional. As áreas destinadas a pastagens ocupavam, em 1970, 52,4% e em 2006, 58,6% do território nacional. No estado de São Paulo, constata-se que a maior parte da produção de carne e leite é realizada quase exclusivamente a pasto (Peres et al., 2011) denotando a utilização de extensas áreas para a pecuária. Ainda, somente no estado de São Paulo, a cultura de cana-de-açúcar tem apresentado um aumento, em 10 anos, de 94% de área plantada, correspondendo a 5.172.611 ha em 2012 (UNICA, 2015). Considerando a expansão da cultura da cana-de-açúcar, bem como a importância da pecuária no cenário nacional, torna-se necessária a avaliação dos impactos oriundos destas atividades nas características físicas dos solos.

Dentre os principais indicadores da degradação dos solos, tem-se a resistência mecânica dos solos à penetração (RMP), a qual é utilizada na identificação de camadas compactadas do solo. A compactação é definida, conforme Camargo (1983), como sendo a redução dos índices de vazios do solo oriundos da ação mecânica imposta, sendo que tal modificação é devida principalmente à reorganização das partículas do solo quando submetido a uma força de compressão. Ela é ocasionada pelas máquinas e implementos agrícolas quando do plantio e colheita e pelo pisoteio bovino (Casagrande, 2001).

Conforme Copersucar (1982), a compactação ocasiona o aumento da erodibilidade na medida em que há aumento do deflúvio derivado da redução nas taxas de infiltração do solo e da condutibilidade hidráulica da camada compactada. Com o aumento do deflúvio e consequentemente das perdas das camadas superficiais de solo, há declínio da fertilidade. Além do aumento da erodibilidade, a redução do volume infiltrado de água promove o declínio do suprimento de água disponível no perfil do solo (Collares et al., 2008; Ralisch et al., 2008). A compactação também ocasiona modificações nas propriedades físicas dos solos, com o decréscimo da porosidade e aumento na densidade do solo. Tais características promovem impedimento físico ao pleno desenvolvimento do sistema radicular das

plantas (Bergamim et al., 2010; Ribeiro et al., 2010). Assim, a ação protetora da vegetação frente os processos erosivos também é afetada na medida em que há restrições ao pleno desenvolvimento das plantas.

Visando avaliar os impactos do uso da terra nos atributos físicos dos solos, Reis (2010) e Moraes (2010) identificaram que em áreas de pastagens e cana-de-açúcar localizadas em Argissolo Vermelho Amarelo, textura média houve alterações da densidade do solo e da porosidade quando da comparação com áreas de vegetação nativa. Rossetti et al. (2012) observaram que maior foi a redução da porosidade total, densidade e RMP em locais sem ou com nenhuma cobertura vegetal condicionados a utilização de implementos agrícolas. Da comparação entre áreas de pastagens e vegetação nativa, Trein et al. (1991) e Bertol et al. (1998) constataram aumento da densidade do solo e da RMP em áreas de pastagens. Também Silva et al. (1986) e Oliveira et al. (2004) verificaram modificações da retenção de água do solo em virtude da alteração da porosidade e dos teores de matéria orgânica em solos cultivados comparados àqueles em condições naturais. Assim, quando da análise conjunta da resistência dos solos à penetração, densidade dos solos e condutibilidade hidráulica, é possível inferir sobre as características de estrutura dos solos, permitindo prever o grau de impacto do manejo realizado e a consequência deste nos processos erosivos (Doran e Parkin, 1994).

Tendo em vista que as alterações do uso da terra ocasionam modificações nos atributos físicos dos solos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as características físicas dos solos arenosos submetidos ao uso com cana-de-açúcar, pastagens e mata nativa secundária, considerando que as modificações nas condições físicas favorecem a maior susceptibilidade aos processos erosivos.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande localizada no município de Ipeúna, centro leste do Estado de São Paulo, Brasil (figura 1). A área de estudo é tributária do rio Passa Cinco, pertencente à bacia do rio Corumbataí, compreendendo área aproximada de 28 km².

Figura 1. Localização da área de estudo.

O clima da área de estudo está enquadrado no tipo climático Cwa, conforme a classificação zonal de Köppen, podendo ser associado ao clima subtropical, com inverno seco e verão chuvoso.

A área de estudo está inserida na transição entre a província geomorfológica denominada Depressão Periférica e as áreas de relevo de Cuestas arenítico-basálticas, correspondendo a um relevo muito diversificado, erodido e com estruturas resistentes em claros ressaltos topográficos. Apresenta relevo predominantemente

formado por colinas, com altitudes variando de 550m a 600m e áreas de alta declividade (figura 2a) drenagem densa e entalhada. Também exibe algumas formas de relevo residual as quais se apresentam como pequenos maciços residuais de front da cuesta arenito-basáltica, com altitudes alcançando a cota de 900 metros, localizadas na porção noroeste da bacia (Almeida, 1964).

Figuras 2a, 2b e 2c. Classes de declividade, solos e uso da terra no cenário de 2013 da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande.

Tem-se o predomínio de Neossolos Quartzarênicos ocorrentes nas áreas de interflúvios e de Argissolo Vermelho Amarelo nas médias e baixas vertentes, com declividades de até 20% (figura 2b). Nas áreas localizadas próximas ao *front* das cuestas arenito basáltica e nos locais de maiores declividades localizados ao longo dos canais de 1º ordem, tem-se a ocorrência de Neossolos Litólicos e Cambissolos (Corrêa, 2016; Moraes, 2016). Todos os solos desta área apresentam textura variando de média a arenosa, os quais são originados predominantemente dos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia.

Como em todo o estado de São Paulo, a área de estudo vem sendo submetida à intensa ocupação antrópica, particularmente resultante da expansão do cultivo da cana-de-açúcar e de áreas de pastagens, como indicado em Koffler (1993) e Pereira e Pinto (2007). Em 2013, Couto Junior (2014) verificou que 40% da área era ocupada por vegetação nativa florestal, 48% por pastagens e 10% com cultura de cana-de-açúcar (Figura 2c). Corrêa et al. (2015) identificaram, no período de 1988 a 2013, expansão de 80% da cultura de cana-de-açúcar na área de estudo em áreas não adequadas a culturas anuais e de maior susceptibilidade a erosão hídrica do solo.

Coleta de amostras e análise dos dados

Foram selecionados oito pontos amostrais alocados em áreas com cana-de-açúcar, pastagem e mata nativa secundária (mata galeria).

Em áreas com mata nativa secundária foram coletadas amostras junto aos pontos M1 e M2, ambos apresentando declives variando de 12 a 20%. O ponto M1 foi alocado em Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico, textura franco arenosa e o ponto M2 em Neossolo Quartzarênico

órtico, distrófico. Ambos os pontos estavam localizados na baixa vertente, correspondendo às áreas de mata nativa localizadas nas adjacências dos cursos d'água.

Os demais pontos com pastagens e cana-de-açúcar estavam inseridos na média vertente.

Sob cultivo de cana-de-açúcar foram alocados os pontos C1 e C2, sendo que ambas as áreas apresentaram Cambissolo Háplico, Ta eutrófico, típico, A moderado, textura franco arenosa. O ponto C1 está localizado em declividade variando de 6 a 12%, sendo o cultivo com cana-de-açúcar realizado desde 2007 sob preparo convencional. O ponto C2 está localizado em declive variando de 12 a 20% cujo uso com cana-de-açúcar é realizado desde 2013 também sob preparo convencional. É válido destacar que, quando da coleta das amostras, o ponto C2 havia sido recém transformado para o cultivo com cana-de-açúcar. O uso anterior era com pastagens. Em ambos os pontos, as práticas conservacionistas adotadas foram o plantio em nível, terraceamento e direcionamento da água dos caminhos para os terraços.

Já sob as áreas de pastagens extensivas realizadas há aproximadamente 40 anos foram alocados os pontos P1, P2, P3 e P4. Os pontos P2, P2 e P3 foram alocados em relevo com declive variando de 12 a 20%. Nos pontos P1 e P2 tem-se a ocorrência de Cambissolo Háplico, Ta eutrófico, típico, A moderado, textura franco arenosa e no ponto P3 de Neossolo Quartzarênico órtico, distrófico. O ponto P4 foi alocado em relevo com declive variando de 20 a 45% e em Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, textura franco arenosa. Em todos os pontos foram construídas curvas de níveis há 14 anos, sendo aplicado o controle de taxa de lotação.

Em junho de 2013 foram realizadas coleta de amostras de solo conforme Embrapa (2013) nas profundidades de 0 a 60 cm nos Cambissolo e de 0 a 100 cm junto aos Argissolos Vermelho Amarelo e aos Neossolos Quatzarênicos. Foram realizadas análises granulométricas pelo método da Pipeta utilizando como dispersante NaOH 1 mol L⁻¹ e agitação lenta por 16 horas (EMBRAPA, 1997). Também foram realizadas análises físicas em amostras indeformadas localizadas entre 10 e 20 cm, sendo obtidos os valores de densidade do solo pelo método do torrão parafinado, densidade das partículas e posterior determinação da porosidade total (EMBRAPA, 1997).

Os valores de resistência dos solos à penetração foram obtidos a partir do uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf, com peso de 7 Kg e curso de queda livre de 40 cm. A resistência do solo à penetração é tida, conforme Baver et al. (1972), como um índice que agrega informações referentes as condições de compactação do solo, textura, umidade e tipo de mineral de argila.

Considerando a importância das condições de resistência mecânica nas camadas superficiais e subsuperficiais no que tange aos processos de infiltração e escoamento superficial, procurou-se para cada ponto amostral, atingir a profundidade mínima de 50 cm. Para cada ponto, foram realizadas 3 repetições do procedimento visando verificar a existência de discrepâncias nos dados (Barbosa, 2010). Por fim, obteve-se o índice de penetração (IP), o qual pode ser utilizado como uma medida relativa de resistência mecânica dos solos:

$$IP = n_i/p \quad (1)$$

sendo:

IP = índice de penetração (número impacto/dm);

n_i = número de impactos;

p = profundidade (dm).

Posteriormente os dados foram transformados para MPa por meio da equação:

$$RMP = (5,6 + 6,98IP) \times 0,098 \quad (2)$$

Onde:

RMP = resistência mecânica do solo a penetração (mPa);

IP = índice de penetração (número impacto/dm).

A capacidade de infiltração foi realizada conforme os procedimentos técnicos descritos por Guerra (2005), utilizando o infiltrômetro cilíndrico proposto por Hills (1970). Tal infiltrômetro é composto por um tubo de PVC com 15 cm de altura por 10 cm de diâmetro. No interior foi fixado uma escala com 10 cm. O equipamento foi fixado no solo, ficando 5 cm enterrado. O mesmo foi abastecido com água e demarcado, com base na escala, o nível de água registrado a cada 30 segundos (nos primeiros dois minutos) e a cada minuto (nos 28 minutos restantes) (Barbosa, 2010). Após os registros, foi calculado, para cada minuto, o volume de água infiltrada ($V = \pi \cdot r^2 \cdot h$), onde r é o raio e h é a diferença entre altura do nível de água registrado a ser calculado e a altura registrada no minuto anterior. Após o cálculo do volume de água infiltrada por minuto foi calculada a taxa de infiltração média, conforme segue:

$$TI = Vol/t \quad (3)$$

Onde:

TI = taxa de infiltração média dada em mm/m;

Vol = volume total infiltrado em 30 minutos;

t = tempo (em minutos) de duração do experimento.

Resultados e discussão

Os solos amostrados em todos os pontos apresentaram valores superiores a 70% de areia total e 34% de areia fina (tabela 1). Devido à textura arenosa e franco arenosa, estes solos possuem estrutura granular, pouca ou nenhuma coesão entre as partículas, pequena capacidade de retenção de água, nutrientes e matéria orgânica, sendo assim considerados como solos bem aerados, soltos, inférteis e propensos à seca (Brady e Weill, 2012).

Tabela 1. Análise granulométrica dos pontos amostrados.

Pontos	Solos	Prof.	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
		cm	-----%-----			
M1	PVA	0-20	22,8	55,4	2,9	18,9
		20-40	22,7	52,8	7,0	17,5
		40-60	22,6	49,8	4,7	22,8
		60-80	42,2	34,8	17,1	5,8
		80-100	35,9	42,7	11,7	9,7
M2	RQ	0-20	38,1	53,8	1,2	6,9
		20-40	44,3	48,6	2,0	5,1
		40-60	40,1	53,1	5,5	1,4
		60-80	44,2	49,4	1,2	5,1
		80-100	46,9	47,8	3,6	1,6
P1	CX	0-20	25,1	54,1	1,6	19,3
		20-40	33,5	46,5	2,4	17,7
		40-60	32,8	47,5	2,9	16,8
P2	CX	0-20	19,6	55,7	1,2	23,5
		20-40	17,3	56,0	8,1	18,6
		40-60	14,8	58,3	9,5	17,4
P3	RQ	0-20	39,4	35,5	22,4	2,7
		20-40	29,6	53,8	14,7	1,9
		40-60	26,0	53,7	9,1	11,2
		60-80	24,1	55,9	13,2	6,8
		80-100	26,7	53,7	13,2	6,5
P4	PVA	0-20	38,9	34,8	21,0	5,3
		20-40	40,0	35,3	15,5	9,2
		40-60	46,7	31,6	10,6	11,1
		60-80	39,1	38,5	11,0	11,4
C1	CX	0-20	23,4	55,2	5,5	16,0
		20-40	25,2	52,2	4,5	18,2
		40-60	26,3	48,7	4,2	20,8
C2	CX	0-20	10,6	80,3	5,2	4,0
		20-40	8,5	66,1	2,4	23,0
		40-60	8,9	63,4	3,4	24,3

A elevada quantidade de frações de areia fina, especialmente nos solos dos pontos M1, M2, P1, P2, C1 e C2 onde os valores são superiores a 53%, condiciona elevada susceptibilidade frente aos processos erosivos. Isto se deve ao fato de que as frações silte e areia fina são as partículas que possuem menor capacidade de agregação quando comparadas às partículas de argilas e são mais leves quando comparadas às partículas de areia grossa (Knapen et al., 2007). Neste sentido, solos que apresentam elevadas quantidades de frações silte e areia fina devem ser manejados adequadamente visando a sua proteção frente aos processos de destacamento e transporte de

partículas. Assim, maior atenção deve ser dada aos solos presentes nos pontos C1 e C2 visto que a maior susceptibilidade erosiva e menor profundidade efetiva dos Cambissolos associadas aos períodos de entressafra onde a superfície do solo fica temporariamente exposta ocasiona degradação dos solos.

Os valores de RMP variaram de 1,28 a 3,75 MPa (tabela 2) demonstrando que alguns pontos apresentam restrições ao pleno crescimento das plantas. Lapen et al. (2004), Blainski et al. (2008) e USDA (1993) apontam que o limite crítico ao pleno desenvolvimento radicular vegetal é de 2,0 MPa. Também Camargo e Alleoni (1997) e Hamza

e Anderson (2005) afirmam que valores entre 2 MPa e 3 MPa são considerados limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas. Os valores de RMP inferiores a 2,0 MPa foram registradas junto às áreas com mata nativa secundária e também junto ao ponto C2 e P4. A baixa RMP do ponto C2 se deve a recente modificação do uso da terra, com realização de aração para o preparo da área para o plantio da

cana-de-açúcar. Já os maiores valores de RMP foram observados junto ao ponto C1 onde o cultivo com cana-de-açúcar estava sendo realizado há oito anos. Também foram observados valores superiores a 3,0 MPa junto aos pontos P1, P2 e P3 o que se deve ao pisoteio animal efetuado há aproximadamente quarenta anos.

Tabela 2. Atributos físicos dos solos dos pontos amostrados

Pontos	RMP MPa	Densidade do solo kg/dm ³	Porosidade total dm ³ /dm ³	Taxa de infiltração cm ³ /s
M1	1,81	1,33	0,53	0,17
M2	1,28	1,27	0,52	7,13
P1	3,01	1,34	0,47	0,18
P2	3,12	1,44	0,45	0,12
P3	3,6	1,43	0,48	0,09
P4	1,96	1,43	0,47	0,13
C1	3,75	1,51	0,42	0,13
C2	1,67	1,49	0,45	0,55

Quando avaliada a RMP em profundidade, todos os pontos apresentaram os menores valores de RMP nos primeiros 10 cm, o que se deve à presença de matéria orgânica e de raízes, as quais proporcionam menor grau de compactação no horizonte superficial (figura 3).

Os pontos C1, P1, P2 e P3 apresentaram maior compactação em profundidade (de 20 a 50 cm) o que se deve aos efeitos do pisoteio animal e aos efeitos dos implementos agrícolas durante oito anos no ponto C1.

Figura 3. Resistência mecânica à penetração.

A densidade do solo é alterada por meio de pressão mecânica exercida sobre a superfície do solo (Baver et al., 1972). Esta modificação pode ser provocada pelo pisoteio animal (Gradwell, 1966;) e pelo preparo inadequado e/ou excessivo do solo (Bertol e Santos, 1995). Os valores de densidade do solo para todos os pontos foram inferiores a 1,51 kg/dm³. Reichert et al. (2003) indicaram o limite de 1,3 a 1,4 kg/dm³ para solos argilosos e de 1,7 a 1,8 kg/dm³ para os franco-arenosos. Também Kiehl (1979) afirma que valores de densidade entre 1,7 a 1,8 g/cm³ são considerados impeditivos à penetração de raízes. Corsini e Ferraudo (1999) demonstraram que para solos arenosos o limite crítico é de 1,75 kg/dm³. Apesar dos valores observados serem inferiores aos limites estabelecidos por muitos autores, se observa que há um incremento dos valores de densidade do solo em áreas destinadas a pastagem e cultura de cana-de-açúcar. Assim, o ponto C1 apresentou os maiores valores de densidade do solo e RMP (tabela 2). Devido à maior compactação causada pelos implementos agrícolas ao longo dos oito anos de cultivo sob preparo convencional, os solos apresentaram maior compactação ao longo de todo

o perfil e menor porosidade total (figura 3, tabela 2).

A porosidade total dos solos consiste na quantidade de espaços vazios existentes entre as partículas e entre os agregados. Nos processos de degradação dos solos, onde se tem o aumento da resistência mecânica à penetração e da densidade do solo, verifica-se a diminuição da porosidade total do solo e consequentemente do arejamento e da condutividade hidráulica. Em solos arenosos, os quais apresentam poros grandes, a porosidade total tende a ser próxima de 40-50 dm^3/dm^3 (Prado, 2013).

Os pontos M1 e M2 foram os que apresentaram maior porosidade total, sendo esta superior a 50 dm^3/dm^3 . Como resultado das condições de maior porosidade total, menor RMP e densidade do solo, foi observado maior

capacidade de infiltração (tabela 2). Destaca-se o ponto M2 o qual apresentou taxa de infiltração de 7,13 cm^3/s (figura 4b). Estes resultados indicam a importância da preservação da vegetação natural visto a manutenção das condições físicas ideais dos solos e a consequente capacidade de infiltração. Estes resultados também indicam a importância da manutenção das Áreas de Proteção Permanente (APPs) ao longo dos cursos d'água as quais promovem a manutenção da permeabilidade dos solos e do regime hídrico, evitando e prevenindo processos de assoreamentos dos rios. Neste sentido, foi observada nas proximidades do ponto M2 uma extensa área de deposição de sedimentos na adjacência do canal de drenagem, sendo este um exemplo da capacidade da vegetação natural de prevenir os processos de assoreamento.

Figura 4a e 4b. Taxas de infiltração junto aos pontos amostrais

infiltração, valores estes que associados aos dados de RMP e densidade do solo indicam um processo de degradação dos solos ocasionado pelo

Figura 5. Deposição de sedimentos em APP mantida com mata nativa secundária.

Em contrapartida, o ponto C1 apresentou a menor porosidade total e uma das menores taxas de

cultivo de cana-de-açúcar. Corrêa (2016), por meio da instalação de parcelas de monitoramento de erosão hídrica do solo, obteve perdas de solo superiores a 49 $\text{t ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em locais próximos ao ponto C1 e em condições de tempo de cultivo e manejo similares. Assim as elevadas taxas de perdas associadas às modificações dos atributos físicos dos solos demonstram que o curto período de utilização destas áreas para o cultivo de cana-de-açúcar foi suficiente para promover a degradação destes solos.

O ponto C2, quando da comparação com o ponto C1 e os demais utilizados com pastagem, apresentou taxa de infiltração elevada (0,55 cm^3/s) o que se deve ao recente revolvimento do solo para o plantio da cana-de-açúcar. Corrêa (2016) também quantificou as perdas de solo nas proximidades do ponto C2 e em condições de tempo de cultivo e

manejo similares. A autora concluiu que as perdas de solo em áreas recém transformadas para o cultivo com cana-de-açúcar localizadas em solos arenosos foi superior a $80 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Apesar de algumas características físicas dos solos presentes no ponto C2 serem similares às áreas com mata nativa secundária, a comparação dos resultados indica que estes solos, quando recém exposto e mantidos temporariamente descobertos, são altamente susceptíveis aos processos erosivos.

Consequências do uso com cana-de-açúcar e da modificação dos atributos físicos dos solos foram observadas em campo. Conforme apresentado nas figuras 6a e 6b, tem-se, respectivamente, o segmento convexo e côncavo da vertente amostrada no ponto C1. Na figura 4a é

possível observar a formação de feições erosivas junto às linhas de plantio. Devido à característica de elevada susceptibilidade erosiva dos solos amostrados juntamente com a formação de uma camada de maior impedimento a infiltração da água da chuva, tem-se o aumento do escoamento superficial e o início da formação de feições erosivas lineares. Devido a maior quantidade de água e sedimentos transportados, tem-se no segmento côncavo da vertente, maior concentração do escoamento superficial e o aprofundamento das feições erosivas lineares, como apresentado na figura 4b. Já nas áreas adjacentes ao ponto C2 não foram observadas feições erosivas lineares, mas sim processos erosivos laminares de grande expressão.

Figuras 6a, 6b e 6c. Feições erosivas lineares nas proximidades do ponto C1 e P1.

Os pontos localizados em áreas de pastagens (P1, P2, P3 e P4) apresentaram porosidade total variando de 0,45 a $0,48 \text{ dm}^3/\text{dm}^3$ e taxas de infiltração variando de 0,09 a $0,18 \text{ cm}^3/\text{s}$. As consequências do manejo inadequado realizado nas áreas de pastagens e das modificações nos atributos físicos dos solos também foram observadas em campo.

Conforme apresentado na figura 6c, foram identificadas feições erosivas lineares profundas na área próxima ao ponto P1. As feições erosivas lineares em áreas de pastagens são comuns na paisagem da bacia hidrográfica do córrego Monjolo Grande onde se tem a predisposição natural aos processos erosivos associada à ausência de práticas conservacionistas.

Conclusão

A análise granulométrica demonstrou que os solos da área de estudo possuem elevada proporção de areia fina, denotando caráter de maior susceptibilidade ao processo erosivo visto a sua

menor capacidade de agregação e facilidade de transporte junto ao escoamento superficial. Esta característica granulométrica associada à pequena profundidade efetiva dos Cambissolos e o gradiente textural dos Argissolos Vermelho Amarelos demonstram a necessidade de um manejo adequado.

Os pontos P1, P2 e P3 apresentaram RMP superior a 3 MPa e aumento da compactação em subsuperfície. Também apresentaram aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total quando da comparação com as áreas de mata nativa secundária. Da combinação das modificações dos atributos físicos dos solos e do manejo inadequado foram observadas feições erosivas próximas aos pontos amostrados. Considerando que aproximadamente 58% do território nacional são destinados a áreas de pastagens, maior atenção deve ser dada às características físicas e à capacidade de uso dos solos bem como ao manejo e adoção de práticas conservacionistas adequadas.

Os solos das áreas com mata nativa secundária apresentaram boas condições físicas. Destaca-se a elevada taxa de infiltração e capacidade de retenção de sedimentos observada em campo. Tais características demonstram a importância de preservação da vegetação nativa nas adjacências dos cursos d'água.

O cultivo com cana-de-açúcar realizado há oito anos (ponto C1), causou maiores modificações nos atributos físicos dos solos que o uso há mais de quarenta anos com pastagens. Verificou-se RMP de 3,75 MPa, aumento da densidade do solo, diminuição da porosidade total e das taxas de infiltração de água no solo quando da comparação com as áreas de mata nativa secundária. Como resultado destas modificações, foi observada a formação de feições erosivas lineares em toda a extensão da vertente. Já no ponto C2, cujo cultivo com cana-de-açúcar se iniciou no ano da coleta das amostras de solo, as características físicas dos solos foram similares às áreas com mata nativa secundária. Esta similaridade se deve a recém transformação da área para o cultivo com cana-de-açúcar. Apesar dos atributos físicos não indicarem degradação destes solos, os valores de perdas de solo quantificados por Corrêa (2016) indicam que solos naturalmente susceptíveis aos processos erosivos, recém-expostos e temporariamente mantidos descobertos são altamente vulneráveis aos processos de degradação e podem, em curto período de tempo, apresentar modificações nas suas características físicas além de feições erosivas lineares profundas na paisagem, como aquelas verificadas junto ao ponto C1.

Tendo em vista as modificações nos atributos físicos dos solos cultivados com cana-de-açúcar e considerando a expansão da cultura de cana-de-açúcar, especialmente no estado de São Paulo, torna-se necessária a adoção de um adequado planejamento do uso da terra que considere as limitações físicas de cada paisagem. Contudo, o que se verifica no cenário brasileiro, é que o cultivo de cana-de-açúcar é realizado indistintamente, não considerando as condições de fragilidade natural de cada ambiente. Tal característica de uso da terra, associada a sequência de eventos chuvosos típicos de ambientes quentes e úmidos brasileiros, favorece a ocorrência dos processos de degradação dos solos.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de doutorado concedida e pelo apoio financeiro por meio do auxílio à Pesquisa - processo Fapesp 2012/19935-7; à Prefeitura Municipal de Ipeúna e

à Coordenadoria de Assistência Técnica Integral - CATI, pelo apoio e suporte às atividades de campo e as Usinas de Açúcar e Alcool, Granelli e grupo Raízen, pelo apoio e concessão das áreas para a implantação dos experimentos.

Referências

- Almeida, F. F. M. de, 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Boletim Instituto Geográfico e Geológico 41, 169-263.
- Barbosa, C., 2010. Planejamento urbano sustentável: diretrizes de urbanização embasadas nas características geomorfológicas/pedológicas de vertentes. Dissertação (Mestrado em Geografia). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H.; Gardner, W.H., 1972. Física de suelos, 4 ed. Union Topográfica Editorial Hispano Americano, México.
- Bergamin, A. C.; Vitorino, A. C. T.; Franchini, J. C.; Souza, C. M. A.; Souza, F. R., 2010. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 681-691.
- Bertol, I.; Gomes, K. E.; Denardin, R. B. N.; Machado, A. Z.; Maraschin, G. E., 1998. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. Pesquisa Agropecuária Brasileira 33, 779- 786.
- Bertol, I.; Santos, J.C.P., 1995. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. Pesquisa Agropecuária Brasileira 30, 263-267.
- Blainski, E.; Tormena, C. A.; Fidalski, J.; Guimarães, R. M. L., 2008. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32, 975-983.
- Brady, N.C.; Weil, R.R., 2012. Elementos da natureza e propriedades dos solos, 2 ed. Bookman, Porto Alegre.
- Camargo, O.A., 1983. Compactação do solo e desenvolvimento de plantas. Fundação Cargil. Campinas.
- Camargo, O.A.; Alleoni, L.R.F., 1997. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Casagrande, A. A., 2001. Compactação e manejo do solo na cultura da cana-de-açúcar. in: Moraes, M.H.; Müller, M.M.L.; Foloni, J.S.S. (Org.) Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo. FUNEP, Jaboticabal, pp.150-97.

- Collares, G. L.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Kaiser, D. R., 2008. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32, 933-942.
- COPERSUCAR, 1982. Compactação dos Solos. in: *Anais do Seminário de tecnologia Agrônômica*, 1, Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, Piracicaba, pp. 169-177.
- Corrêa, E. A.; Pinto, S. dos A. F., Couto Junior, A., 2015. Espacialização temporal das perdas de solos em uma microbacia hidrográfica com predomínio de solos arenosos. *Geografia*, 40, 101-118.
- Corrêa, E. A., 2016. Perdas de solo e índices de vegetação: proposta metodológica para a determinação do fator C (MEUPS) em pastagens e cana-de-açúcar. Tese de Doutorado (Doutorado em Geografia). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista.
- Corsini, P.C.; Ferraud, S.A., 1999. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34, 289-298.
- Couto Junior, A. A., 2014. Erosão hídrica e transporte sedimentos na Bacia do Ribeirão Cachoeirinha (Rio Claro, SP). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista (Relatório interno).
- Doran, J.W.; Parkin, T. B., 1994. Defining and assessing soil quality. in: Doran, J.W.; Coleman, D.C.; Bezdicek, D.F.; Stewart, B.A. (Orgs.) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America Special Publication, pp.1-20.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. Manual de métodos de análise de solos. 2 ed. Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3 ed. Rio de Janeiro.
- Gradwell, M.W., 1966. Changes in the pore-space of a pasture topsoil under animal treading. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Wellington 4, 663-674. .
- Guerra, A. J. T., 2005. Processos erosivos nas encostas. in: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T. *Geomorfologia – Exercícios, Técnicas e Aplicações*, 2 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 139-155.
- Hamza, M.A.; Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* 82, 121-145.
- Hills, R. C., 1970. The determination of the infiltration capacity of fields soils using the Cylinder Infiltrometer. British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, London (UK).
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006. Censo Agropecuário. Rio de Janeiro.
- Kiehl, E.J., 1979. Manual de edafologia. Agrônômica Ceres, São Paulo.
- Koffler, N.F., 1993. Sistema de análise ambiental para planejamento agrícola. Versão 2.0. CEAPLA: Rio Claro.
- Knapen, A.; Poesen, J.; Govers, G.; Gyssels, G.; Nachtergaele, J., 2007. Resistance of soils to concentrated flow erosion: a review original research article. *Earth Science Reviews* 80, 75-109.
- Lapen, D. R.; Topp, G. C.; Gregorich, E. G.; Curnoe, W. E., 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, Canada. *Soil & Tillage Research* 78, 151-170.
- Moraes, T, P. S., 2010. Avaliação dos atributos do solo sob diferentes ocupações na microbacia hidrográfica do córrego da fazenda Gloria em Taquaritinga (SP). Tese (Doutorado em Agronomia). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.
- Moraes, I. C., 2016. Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica MEUPS e WEPP: contribuição em bacias hidrográficas. Doutorado (Doutorado em Geografia). Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Oliveira, G. C.; Dias Junior, M. S.; Resck, D. V. S.; Curi, N. 2004. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28, 327-336.
- Pereira, L. H.; Pinto, S.A.F., 2007. Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do rio Corumbataí – SP, com o suporte de sistemas de informações geográficas. In: *Anais do Simpósio Brasileira de Sensoriamento Remoto*, 13, INPE, São José dos Campos, pp. 1321-1328.
- Peres, R. M. Justo, C.L. Coutinho Filho, J. L. V. 2011. Recuperação da produtividade das pastagens no estado de São Paulo: Integração agricultura e pecuária, uma das alternativas.

- Pesquisa & Tecnologia [online] 8. Disponível em <http://goo.gl/IJULhk>. Acesso 20/10/2015.
- Prado, H., 2013. Pedologia Fácil - Aplicações em solos tropicais, 4. ed. Piracicaba.
- Ralisch, R.; Miranda, T. M.; Okumura, R. S.; Barbosa, G. M. C.; Guimarães, M. F.; Scopel, E.; Balbino, E. C. 2008. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12, 381-384.
- Ribeiro, M. A. V.; Novais, R. N.; Faquin, V.; Ferreira, M. M.; Furtini Neto, A. E.; Lima, J. M. De; Villani, E. M. A. 2010. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 34, 1157-1164.
- Reichert, J. M.; Reinert, D. J.; Braidá, J. A. 2003. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência e Ambiente 27, 29-48.
- Reis, F. C., 2010. Variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de argissolo sob diferentes usos e ocupação na Microbacia do Córrego Fazenda Glória, Taquaritinga – SP. 2010. 58 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista.
- Rossetti, K. V.; Andrioli, I.; Centurion, J. F.; Matias, S. S. R.; Nóbrega, J. C. A. 2012. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. Revista Brasileira de Ciências Agrárias 7, 426-432.
- Silva, A. P.; Libardi, P. L.; Camargo, O. A. 1986. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo 10, 91-95.
- Trein, C. R.; Cogo, N. P.; Levien, R. 1991. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 15, 105-111.
- UNICA. União dos Plantadores de Cana-de-açúcar de São Paulo, 2015. Estatísticas do Setor Sucroalcooleiro. Disponível www.unica.com.br. Acesso em 24/09/2015.
- USDA, United States Department of Agriculture, 1993. Soil survey manual, Soil Survey Division Staff, Washington.