



TEMPO DE CULTIVO CONTÍNUO DE CANA-DE-AÇÚCAR E INFLUÊNCIA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E CARBONO ORGÂNICO DE LATOSSOLOS VERMELHOS DISTRÓFICOS EM GUAÍRA/SP

Heloisa Ferreira Filizola¹ e Alfredo José Barreto Luiz²

Resumo: O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do tempo, em função do número de cortes na cana-de-açúcar, nas características físicas e carbono orgânico de LATOSSOLOS VERMELHOS Distroféricos. Foram avaliados os solos de cinco áreas ocupadas por cana-de-açúcar, sob cultivo mínimo, localizadas em Guaíra – SP, submetidas a diferentes números de corte (1, 3, 5, 7 e 8 cortes). As amostras foram coletadas em quatro trincheiras em cada área e em uma área de mata, para determinação da estabilidade de agregados, da densidade (Ds), da porosidade, do grau de flocculação e do carbono orgânico. A partir das análises realizadas, foram calculados o diâmetro médio ponderado (DMP) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA). Para a análise desses dados foi utilizado um modelo com a presença simultânea dos valores das variáveis, o seu quadrado ou a sua raiz quadrada, baseado na proposta do modelo quadrático da raiz quadrada, de Colwell, Suhet e Raji (1988). Foi utilizada a rotina Proc Reg do programa SAS para efetuar o ajuste dos modelos (SAS, 2011). O modelo de regressão foi ajustado aos dados, para cada uma das variáveis independentes (DMP, Ds, macroporos, porosidade, carbono orgânico, IEA e grau de flocculação). Foi realizada ainda a análise de correlação simples entre todas as variáveis pareadas. Os valores da correlação foram testados para significância pelo teste de correlação de Pearson (SAS, 2011). Os resultados mostraram que o tempo decorrido entre o plantio e o número de cortes interfere no processo de reconstrução dos atributos físicos do solo; que o teor de carbono orgânico, o diâmetro médio ponderado de agregados-DMP, a densidade do solo-Ds, o teor de argila e o aumento do número de cortes têm correlação complexa, provavelmente devido à classe do solo avaliado.

Palavras-chave: Agregação do solo. Matéria orgânica do solo. Porosidade do solo. Reforma do canavial.

1 Introdução

A cultura da cana-de-açúcar é considerada semiperene, pois essa gramínea, que tem alto poder de brotação, permite que seu colmo seja colhido por vários anos seguidos sem necessidade de replantio. Por causa disso, e com o advento da colheita mecânica, que pode ser feita sem necessidade da queima na pré-colheita, essa lavoura promove um importante acúmulo de restos de cultura sobre o solo ao longo dos anos entre o plantio e o replantio ou reforma.

A concepção da qualidade de um sistema de produção agrícola e sua sustentabilidade produtiva passa pela proteção do solo e pela manutenção do processo de infiltração da água no mesmo (ALMEIDA et al., 2018). O manejo adequado do solo cultivado com cana de açúcar pode melhorar a agregação, a porosidade e evitar a compactação, influenciando a aeração do solo, o desenvolvimento do sistema radicular

da cultura, as atividades biológicas e a disponibilidade de nutrientes (LUCA et al., 2018).

Assim, diferentes práticas de manejo podem afetar distintamente as propriedades de um mesmo tipo de solo, incluindo os processos de agregação (ROTH; PAVAN, 1991; CASTRO FILHO; MUZILLI; PADANOSCHI, 1998; HICKMANN; COSTA, 2012). O cultivo intensivo, aliado à alta taxa de revolvimento, é responsável pela redução do conteúdo de matéria orgânica do solo, que é um dos principais agentes de formação e estabilização dos agregados (TISDALL; OADES, 1982; CASTRO FILHO; MUZILLI; PADANOSCHI, 1998; KAMIMURA et al., 2013). Práticas conservacionistas, como plantio direto ou o cultivo mínimo, que revolvem menos os horizontes superficiais do solo, contribuem para um maior aporte de resíduos orgânicos; manter a palhada da cana sobre o solo, geralmente tem-se mostrado eficiente em aumentar a

¹E-mail: heloisa.filizola@embrapa.br
Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, km 127,5. Tanquinho Velho, CEP13918 -110.

²E-mail: Alfredo.Luiz@embrapa.br

estabilidade dos agregados e a porosidade (ALVARENGA et al., 1986; CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; BACQ-LABREUIL et al., 2018).

Os sistemas de manejo que mantêm o solo descoberto diminuem a estabilidade de agregados, causando selamento superficial, resistência à penetração de raízes, redução da infiltração de água, induzindo à enxurrada e à erosão (DERPSCH et al., 1991; ROTH; CASTRO FILHO; MEDEIROS, 1991; REICHERT; VEIGA; CABEDA, 1993; TIPPKÖTTER, 1994; SUN; LARNEY; BULLOCK, 1995; KEESSTRA et al., 2016). Segundo Angers e Mehuys (1993), tais manejos também podem provocar compactação do solo. Para Angulo (1983) e Egashira, Kaetsu e Takuma (1983) a estabilidade de agregados do solo é também o parâmetro que melhor se correlaciona com a erodibilidade, apesar de Le Bissonnais e Singer (2016) destacar que esta relação, no entanto, não se aplica a todos os solos em todas as circunstâncias. Por isso, a estabilidade de agregados tem sido usada como indicador da qualidade física do solo, pois é sensível às alterações, conforme o manejo adotado.

As características primárias do solo que podem afetar a estabilidade dos agregados e a erodibilidade, a textura e a estrutura, têm sido relativamente bem estudadas, desde os trabalhos mais antigos (YODER, 1936; HÉNIN, 1938; ELLISON, 1945), no entanto, apesar de numerosos, estes estudos têm apresentado resultados contraditórios. No estudo do efeito inicial do conteúdo de água, Gollany et al. (1991) constataram que a estabilidade dos agregados aumenta com o conteúdo de argila, mas diminui com alto conteúdo de água. No entanto, em trabalhos com maior número de solos, como o trabalho de Le Bissonnais e Singer (1993), não foi encontrada correlação significativa entre conteúdo de argila e estabilidade de agregados. Em trabalhos mais recentes como o de Avanzi et al. (2011), trabalhando sobre Oxisols, os autores concluem que a estabilidade dos agregados não apresenta uma boa relação com o conteúdo de argila ou com a matéria orgânica do solo.

A vegetação é um outro fator importante na formação de agregados (POHL et al., 2012), mediante a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante. O tipo de vegetação também interfere na estruturação dos solos, ou seja, as gramíneas são mais

eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do que as leguminosas (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990; SILVA; MIELNICZUK, 1997), por apresentarem um sistema radicular extenso e renovado constantemente (HARRIS; CHESTER; ALLEN, 1966).

São vários os agentes que causam alterações, entretanto, na maioria dos casos, é o uso intensivo de máquinas e implementos agrícolas que causa a degradação da estrutura do solo ao provocar a redução da estabilidade dos agregados, o que acaba por deixar os solos mais suscetíveis aos processos erosivos hídricos e eólicos (REICHERT; VEIGA; CABEDA, 1993; SUN; LARNEY; BULLOCK, 1995) e promover a perda das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal.

Segundo Edwards e Bremner (1967), o aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de aderir-se às partículas minerais do solo, formando ligações humicoargilometálicas. Apesar de haver divergências (ABIVEN; MENASSERI; CHENU, 2009), na literatura especializada, quanto à quantidade e qual fração da matéria orgânica teria a função agregadora, esta é considerada o mais importante agente agregador nos solos, mesmo que, em alguns casos, a estabilidade de agregados não seja afetada pela variação de conteúdos orgânicos (PANAYIOTOPOULUS; KOSTOPOULOU, 1989; AVANZI et al., 2011).

Assim, a quantidade de carbono orgânico mensurado em um solo, apesar de não ser a única medida necessária para prognosticar a estabilidade de agregados ou a possibilidade de erosão, é, de qualquer forma, aquela mais utilizada nos estudos sobre matéria orgânica no solo, os quais mostram que esta reduz a erodibilidade enquanto agente ligante entre partículas do solo (ABIVEN; MENASSERI; CHENU, 2009).

A estrutura do solo pode ser avaliada pela determinação da extensão da agregação, pela estabilidade dos agregados e a natureza do espaço poroso (DULLIEN, 1979). A agregação do solo é caracterizada experimentalmente pela distribuição do tamanho, pela quantidade e pela estabilidade dos agregados. Esses parâmetros são importantes na determinação da quantidade e da distribuição dos espaços porosos associados com os agregados. Para Reynolds et al. (2009) o volume de macroporos e sua capacidade de ar e de

água disponível às plantas são índices adequados para discriminar os solos de qualidade física "boa" e "pobre" para a produção de culturas.

Tisdall e Oades (1982) consideraram também que os microagregados são mais estáveis e menos suscetíveis a práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados. Oades (1984) propõe que raízes e hifas atuam como núcleos de formação de microagregados e, por serem ligantes temporários, ao se decomporem, formam fragmentos recobertos por mucilagens e incrustados de argilas, dando origem a novos agregados. Os microagregados estáveis desempenham um papel decisivo para a estabilização a longo prazo da matéria orgânica no solo, enquanto que os macroagregados menos estáveis fornecem apenas um mínimo de proteção física (SIX et al., 2002; 2004). A este respeito, os microagregados de tamanho do silte parecem ser de particular importância para o armazenamento de carbono (VIRTO; BARRÉ; CHENU, 2008; MONI et al., 2010).

A densidade do solo (Ds) também é considerada útil para estimar a sua qualidade. Dal Ferro et al. (2014) observaram que o comprimento das raízes, o diâmetro das mesmas e a massa radicular diminuem com o aumento da Ds. No entanto, a interpretação da Ds em relação às funções do solo depende do tipo de solo, especialmente sua textura e o seu teor de matéria orgânica. Importante destacar que a Ds ideal para o crescimento das culturas depende da textura do solo e da fisiologia da planta (KAUFMANN; TOBIAS; SCHULIN, 2010).

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar a influência do tempo decorrido sem reforma (replante com operações de revolvimento do solo), realizados em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, nas características físicas e no carbono orgânico de LATOSSOLO VERMELHOS Distroféricos.

2 Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Guairá (latitude 20°25' S, longitude 48°12' W), norte do estado de São Paulo. Essa área que ocupa 15.000 ha com produção própria ou arrendada de cana-de-açúcar, está em atividade desde 1982,

produzindo açúcar e etanol, essencialmente em sistema de cana-crua, ou seja, colhida sem queima na pré-colheita. Dentre os talhões manejados pela Usina, foram escolhidas cinco áreas de aspecto semelhante quanto às características de importância agrônômica (tipo de solo, relevo, fertilidade aparente etc.), além de uma área sob mata localizada próxima às demais. O clima da região é tropical com estação seca bem definida de abril a setembro. As áreas possuem a mesma topografia, sendo o relevo classificado como suave ondulado.

Como estratégia para avaliação da dinâmica temporal dos parâmetros físicos e do carbono do solo, utilizou-se uma cronosequência constituída por cinco áreas sobre LATOSSOLO VERMELHOS Distroféricos (LVdf), com exceção de uma área na qual o solo foi classificado como LVdf petroplíntico, plantadas com cana da variedade RB855453. Estes solos apresentam uma estrutura granular poliédrica, fina ou muito fina, microagregada (20 a 250 µm), muito estável. Em contrapartida, a macroestrutura é frágil e pouco evidente.

Foram avaliados cinco talhões comerciais, a saber: Fazenda 1, 1º corte (18 meses), Fazenda 2, 3º corte (sem queima e revolvimento há quatro anos), Fazenda 3, 5º corte (que sofreu queima criminosa pouco antes do 5º corte, sem revolvimento há sete anos), Fazenda 4, 7º corte (sem queima e revolvimento há oito anos) e Fazenda 5, 8º corte (sem queima e revolvimento há mais de nove anos). Todos os talhões avaliados tiveram o mesmo tratamento no plantio, na manutenção dos mesmos e na colheita. Para a reforma dos talhões, a soqueira da cana-de-açúcar é eliminada com o uso de herbicida e, em seguida, são feitas as operações de subsolagem, sulcação e destorroamento através da enxada rotativa.

2.2 Coleta, preparo e análise das amostras de solo

Em cada área de produção, as amostras de solo foram coletadas em 4 trincheiras alocadas lado a lado na mesma cota altimétrica, de 1,0 m de largura x 1,20 m de comprimento x 1,20 m de profundidade, totalizando 20 trincheiras. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-60; e 60-80 cm, com exceção daquelas retiradas na mata que chegaram somente a 40-60 cm, dada a

dificuldade na abertura de trincheiras. Foram retiradas amostras para a avaliação da granulometria e do grau de floculação da argila e, em triplicata, em anéis de metal com 4,9 cm de diâmetro e 5,3 cm de altura (anéis de Kopeck), para a avaliação da densidade do solo (Ds), da porosidade macro, micro e total, da estabilidade de agregados (IEA) e do carbono orgânico (CO). Na mata a coleta foi realizada em 2 trincheiras.

Para a avaliação da textura do solo e do grau de floculação da argila foi utilizado o método da pipeta (CAMARGO et al., 2009). As amostras foram secas ao ar, em seguida peneiradas para a separação da fração mais grosseira da fração mais fina (<2 mm). Em seguida foram pesadas 10 g de solo da fração fina (TFSA) que foram colocadas em garrafas de Stohmann com 50 mL da solução dispersante composta de hidróxido de sódio (NaOH) e hexametáfosfato de sódio (NaPO₃)₆ e levadas ao agitador de Wagner a 30 rpm, por 16 horas. Para a avaliação da argila dispersa em água foram pesadas 10 g de TFSA que também foram colocadas em

garrafas de Stohmann com 100 ml de água destilada e agitadas durante 16 h no agitador rotativo a 30 rpm. A suspensão foi transferida para uma proveta de 500 ml, cujo volume foi completado com água destilada. Determinado o tempo de sedimentação, segundo a lei de Stokes, foram pipetados 10 ml a uma profundidade de 5 cm. Para a avaliação do grau de floculação é feito o mesmo procedimento sem os dispersantes, já que o mesmo é a relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total, esta obtida após dispersão.

Para a avaliação da densidade e da porosidade do solo foi determinado o volume de cada anel que, em seguida, foram saturados durante 24 horas e pesados (P1). Após a saturação foram colocados na mesa de tensão até que o gotejamento terminasse (aproximadamente 12 a 16 horas). Após a retirada da mesa de tensão, foram pesados (P2) e colocados em estufa a 105°C, por 48 horas, sendo novamente pesados (P3). Para o cálculo foram utilizadas as equações 1, 2 e 3.

$$\text{Densidade do solo} = \frac{\text{Massa da amostra seca a } 105^{\circ}\text{C (P3)}}{\text{Volume do anel}} \quad (1)$$

$$\text{Micro porosidade} = \frac{((\text{peso mesa de tensão (P2)} - \text{peso seco (P3)}) \times 100)}{\text{Volume do anel}} \quad (2)$$

$$\text{Macro porosidade} = \frac{((\text{peso saturado (P1)} - \text{peso mesa de tensão (P2)}) \times 100)}{\text{Volume do anel}} \quad (3)$$

Para a quantificação dos teores de carbono no solo, as amostras foram secas a 40 °C, moídas e peneiradas a 0,106 mm e as concentrações determinadas utilizando o analisador elementar (LECO).

Foram calculados os seguintes parâmetros referentes a agregação do solo: o diâmetro médio ponderado-DMP e o índice de estabilidade de agregados-IEA da classe

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^N x_i * w_i \quad (4)$$

em que w_i = proporção de cada classe em relação ao total e
 x_i = diâmetro médio das classes (mm)

$$\text{IEA} = \frac{(\text{Peso da amostra seca} - \text{wp}_{0,106} - \text{areia}) \times 100}{(\text{Peso da amostra seca} - \text{areia})} \quad (5)$$

na qual Peso da amostra seca é a massa (em g) da amostra seca em estufa à 105°C, $\text{wp}_{0,106}$ é a massa (g) dos agregados da classe < 0,106 mm e areia é a massa (em g) de areia do solo > 2,00 mm estimada a partir da análise granulométrica, já que para Palmeira et al. (1999, segundo PERIN et al.,

< 0,106 mm. Como o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo podem ser determinados de várias formas, optou-se pela proposta de Castro Filho, Muzilli e Padanoschi (1998) para o DMP e o método adaptado por Perin et al. (2002) para o IEA, que foram obtidos segundo as equações 4 e 5.

2002) partícula unitária não é agregado.

Para cada amostra, foi determinada a distribuição das classes de agregados por meio do tamisamento úmido pelo método de Yoder (1936). Cada conjunto no tamisador era constituído por peneiras com malhas de 8,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25; e 0,106 mm de

diâmetro, inseridas a um agitador cilíndrico com oscilação vertical, contendo água, verificando-se para que a lâmina de água alcance aproximadamente a metade da altura da peneira superior, quando, em oscilação, o conjunto de peneiras estiver no nível mais baixo no equipamento agitador. As amostras foram distribuídas homogeneamente em toda a superfície da peneira superior e o conjunto de peneiras agitado durante 15 minutos, a 42 oscilações por minuto. Quantificou-se o solo retido em cada peneira e, ainda, aquele que passou através da última peneira ($< 0,106$ mm), obtendo-se 6 classes de agregados, cujos diâmetros médios ou centro da classe eram respectivamente, 5,0; 1,5; 0,75; 0,375; 0,178; e 0,053 mm. Havendo na amostra material inerte (folhas, raízes etc.), a massa correspondente foi descontada de cada respectiva classe de tamanho.

2.3 Análise estatística dos dados

Os dados são provenientes de um levantamento e não de um experimento, visto que a instalação de um experimento no qual o principal tratamento exigisse a manutenção da cultura da cana-de-açúcar em produção e sem revolvimento do solo por um, três, cinco, sete e oito anos consecutivos, extrapolaria o tempo do projeto. Além disso, pela própria natureza das análises de solo realizadas, que incluíam a abertura de trincheiras, que são em geral mais de uma por repetição de um tratamento, o espaço mínimo de cada repetição teria de ser muito grande, necessitando de uma área experimental extensa. Todos esses fatores acarretariam alto custo em tempo e em recursos financeiros. Assim, as trincheiras foram instaladas todas na mesma época, em fazendas nas quais o número de anos com corte de cana, sem queima e sem revolvimento do solo, era diferente. Para contornar o problema da impossibilidade de aleatorização dos tratamentos, como ocorreria num planejamento experimental tradicional, foram escolhidas áreas próximas, todas com o máximo de características comuns (clima, relevo, solo, cultivar, manejo etc. – exceto pelo número de anos sem revolvimento) e o teor de argila do solo serviu de covariável nas análises.

Em cada talhão nas áreas de produção foram abertas quatro trincheiras e duas foram instaladas na área de Mata. Para

cada local, foram calculadas as médias em cada camada de solo (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20, 20 a 40, 40 a 60 e 60 a 80 cm de profundidade), de todas as variáveis coletadas. O coeficiente de variação (CV) para cada variável também foi calculado para a totalidade das análises realizadas. Segundo informações dos responsáveis pela área de estudo, a mata sob a qual foram feitas as análises se encontrava em recuperação por 27 anos seguidos sem revolvimento do solo.

As fontes de variação consideradas no modelo de análise proposto foram o tempo sem revolvimento do solo (anos), a profundidade média da camada de solo amostrada (cm) e o teor de argila do solo ($g\ kg^{-1}$), além da interação entre profundidade e tempo. Um mesmo modelo de regressão foi ajustado aos dados, para cada uma das variáveis independentes (DMP, Ds, macroporos, porosidade, carbono, IEA e grau de floculação). A interação entre os fatores foi representada pela razão, direta ou inversa, entre os valores da profundidade média da camada de solo e do número de anos sem revolvimento. O uso do modelo com a presença simultânea dos valores das variáveis, o seu quadrado ou a sua raiz quadrada, é baseado na proposta do modelo quadrático da raiz quadrada, de Colwell, Suhet e Rajj (1988). Foi utilizada a rotina Proc Reg do programa SAS para efetuar o ajuste dos modelos (SAS, 2011).

Foi realizada ainda a análise de correlação simples entre todas as variáveis pareadas, ou seja, que eram provenientes do mesmo local, profundidade e repetição (trincheira). Os valores da correlação foram testados para significância pelo teste de correlação de Pearson (SAS, 2011).

3 Resultados

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios, por local (e respectivo tempo, em anos, sem revolvimento do solo, ou número de cortes da cana) e por camada de solo, do teor de argila, de carbono orgânico (CO) e o grau de floculação. Também são mostrados os valores do coeficiente de variação (CV) de cada variável, calculados sobre os 130 valores medidos de cada uma. Em termos de textura, à exceção da Fazenda 4 (7 cortes), todas as outras áreas têm solos muito argilosos, em média $550-650\ g\ kg^{-1}$ de argila, $200-250\ g\ kg^{-1}$ de areia e $100-150\ g\ kg^{-1}$ de

silte (Tabela 1). O solo da Fazenda 4 é de textura argilosa com valores de 450 a 500 g kg⁻¹ de argila, 350 a 400 g kg⁻¹ de areia e a mesma quantidade de silte (Tabela 1). É importante destacar que 80% da fração areia do solo dessa área é constituída por concreções de ferro e de magnetita de diâmetro < 2,00 mm, relíquias da petroplintita ou couraça ferruginosa de idade terciária a partir da qual esse Latossolo originou-se (TARDY, 1997). Em solos originários de basalto, a maioria das partículas com o tamanho da areia consiste de 10-20% de concreções de ferro e de 80-90% de magnetita (LARACH et al., 1984).

Os maiores teores de carbono foram encontrados nas camadas compreendidas entre 0 a 20 cm, tanto nas áreas com cana como na mata. No geral, os teores de carbono no solo aumentam com o aumento do número de cortes (3, 5, 7 e 8 cortes), mas na camada 0 a 5 cm, os teores de carbono no solo são muito similares para o corte mais antigo (8º corte) e o mais recente (1º corte).

O valor encontrado na camada 0-5 cm do 1º corte provavelmente se deve ao revolvimento do solo na época do plantio. O grau de flocculação da argila é utilizado, comumente, para estudos relacionados à agregação e à erosão, e mais recentemente como indicador de qualidade de solo, relacionado com a resistência ao destacamento do solo. Sabe-se que, quanto maior o grau de flocculação das argilas menor será a tendência à desagregação dos microagregados formados (base da cadeia hierárquica que forma os agregados) (REICHERT; NORTON, 1995). A argila flocculada é estabilizada por agentes cimentantes como matéria orgânica, óxidos de ferro e de alumínio (HILLEL, 2003). Nas áreas em estudo o grau de flocculação é alto, chegando a 100% em profundidade, e apresenta quase a mesma tendência da variação do carbono no solo, só a Fazenda 4 (7 cortes), que apesar de ter um pouco mais de carbono no solo, floccula menos que a Sta. Clara (5 cortes).

Tabela 1 - Valores médios^(a) e coeficientes de variação (CV) de argila, carbono orgânico (CO) e grau de flocculação, em diferentes profundidades de solos sob Mata e sob cana com diferentes números de cortes

Camadas (cm)	Mata ^(b) (27 anos)	Fazenda 5 (8 cortes)	Fazenda 4 ^(c) (7 cortes)	Fazenda 3 (5 cortes)	Fazenda 2 (3 cortes)	Fazenda 1 (1 corte)
Argila (g kg⁻¹) CV= 12,26%						
00-05	629,35	619,10	446,16	624,46	576,65	530,37
05-10	624,04	639,54	458,35	631,91	569,89	568,78
10-20	630,41	655,08	458,55	638,10	571,40	594,35
20-40	642,74	672,91	473,30	638,32	603,25	631,11
40-60	633,92	682,82	486,50	666,27	616,00	682,23
60-80	-	683,09	493,02	666,01	621,10	692,70
CO (g kg⁻¹) CV=78,23%						
00-05	155,68	45,46	33,00	25,79	28,17	46,43
05-10	112,68	33,84	24,93	20,96	27,26	22,78
10-20	98,35	30,38	24,74	21,48	25,81	20,81
20-40	85,00	23,17	19,62	19,14	23,70	20,30
40-60	63,26	16,17	19,69	13,55	18,19	13,52
60-80	-	13,93	15,86	11,17	15,88	10,74
Grau de Flocculação (%) CV=13,37%						
00-05	80,12	79,49	69,23	70,50	90,33	95,79
05-10	76,82	77,92	70,26	71,00	90,30	96,32
10-20	77,66	78,84	74,87	74,84	90,27	96,18
20-40	79,06	96,79	73,45	97,83	95,60	97,72
40-60	99,67	99,63	70,11	98,85	98,52	99,31

^(a) Médias de uma medida por trincheira, em quatro trincheiras nos solos sob cana e em duas trincheiras no solo sob mata. ^(b) Sob mata, na Fazenda Cruz Alta, as medidas só foram tomadas até 60 cm de profundidade.

^(c) 90% da fração areia é constituída por nódulos de ferro e magnetita < 2 mm.

Fonte: Autores (2018)

As variáveis diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), índice de estabilidade de agregados do solo

(IEA), macroporos e porosidade total, têm seus valores médios e respectivos coeficientes de variação registrados na

Tabela 2. Os cálculos dos valores apresentados seguiram a mesma lógica utilizada na tabela anterior. Tanto o DMP como o IEA podem ser usados como parâmetros para a avaliação da estrutura do solo. Cada um deles apresenta um princípio diferente: o DMP é tanto maior quanto maior for a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores, isso quer dizer que quanto maior forem os agregados, maiores serão o DMP e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão. Já o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados (KEMPER; CHEPIL, 1965).

Não há números absolutos para interpretar, por meio do DMP, quando um solo pode ser considerado com boas ou más propriedades físicas. Solos com índice de agregação ou diâmetro médio ponderado abaixo de 0,5 mm são considerados de baixa estabilidade (TISDALL; OADES, 1982). Tais solos tornam-se impermeáveis quando irrigados, formando crostas na superfície (TISDALL; OADES, 1982). Assim, solos com DMP >0,5 mm são considerados pelos autores anteriores relativamente resistentes ao esboroamento e à dispersão dos agregados e, nesse caso, a permeabilidade à água e ao ar é pouco afetada pelo manejo. De acordo com Dexter (1988), o tamanho ótimo de agregado para germinação de sementes está entre 1 e 5 mm de diâmetro. Ao se analisar a Tabela 2, constata-se que o DMP encontrado em todas as áreas estudadas está muito acima do limite crítico de 0,5 mm.

Há três conjuntos distintos de variação do DMP nas áreas estudadas, de 0 a 10 cm: a mata e os 8^o e 5^o cortes têm DMP próximos a 3 mm; os cortes mais recentes (1^o e 3^o cortes) têm DMP entre 3,5 e 4 mm; e o conjunto unitário do 7^o corte, que dadas suas características granulométricas e a mineralogia de sua fração areia, destaca-se dos demais. Em profundidade apresentam uma variação desse atributo, passando da faixa de 2 a 3 mm para 1 a 1,5 mm em profundidade, enquanto as áreas mais recentes apresentam DMP maior que 3 mm, mesmo a 80 cm de profundidade. A princípio, as camadas mais profundas das áreas mais antigas já teriam retornado ao estado original, característico dos Latossolos, ou seja, voltaram a ser microagregadas, já que

apresentam um decréscimo em profundidade, concordante com os resultados obtidos com os solos da mata próxima (Tabela 2), enquanto as áreas mais recentes, 3^o e 1^o corte, apresentam diâmetros similares em todas as profundidades.

Os maiores DMP da área de mata nativa foram verificados na camada de 0 a 10 cm, enquanto que, apesar da maior quantidade de carbono orgânico existente no solo da mata, o DMP foi menor que nas áreas de 1^o e 3^o cortes da cana, em todas as profundidades coletadas. Isto se deve, como já discutido acima, ao tipo de estrutura típica de microagregados dos LATOSSOLOS VERMELHOS, enquanto que, nas áreas citadas acima, o DMP é maior provavelmente devido aos tratamentos culturais recentes, que provocam rearranjo do solo, enquanto a área de mata intocada mantém a estrutura original.

De acordo com USDA (2014) considera-se impeditivo ao desenvolvimento de raízes valores de densidade maiores de 1,47 Mg m⁻³ para solos de textura argilosa. Camargo e Alleoni (1997) propuseram que o valor crítico relativo à densidade de um Latossolo Roxo, deve ser de 1,1 Mg m⁻³. Mazza et al. (2001), trabalhando também com Latossolo Roxo, encontraram valores em torno de 1,0 Mg m⁻³ para solos não compactados e em torno de 1,15 Mg m⁻³ para solos compactados. Para Goedert, Schermack e Freitas (2002), valores entre 0,7 e 1,0 Mg m⁻³ podem ser considerados normais em LATOSSOLO VERMELHO, propondo que 0,9 Mg m⁻³ seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de Latossolos. Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade do solo varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico.

Assim, os valores de densidade (Ds) apresentados na Tabela 2, apesar de superiores aos valores considerados críticos apresentados no parágrafo acima para os LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos, estão próximos dos mesmos. Os cortes mais antigos apresentam densidade maior. É interessante observar que a densidade do solo nas áreas mais antigas de cana se aproxima da densidade da área de mata, que aumenta entre 20 e 30 cm de profundidade, para em seguida diminuir em profundidade.

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.20, n. 2, p.21-36, jul./dez. 2018

Tabela 2 - Valores médios^(a) e coeficientes de variação (CV) do diâmetro médio ponderado (DMP), da densidade do solo (Ds), do índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), dos macroporos e da porosidade total, em diferentes profundidades de solos sob Mata e sob cana com diferentes números de corte

Camadas (cm)	Mata ^(b)	Fazenda 5 (8 cortes)	Fazenda 4 ^(c) (7 cortes)	Fazenda 3 (5 cortes)	Fazenda 2 (3 cortes)	Fazenda 1 (1 corte)
DMP (mm) CV=36,32%						
00-05	3,03	3,14	1,50	2,61	3,60	3,85
05-10	2,97	3,07	1,23	2,72	3,57	3,70
10-20	2,53	2,05	1,70	2,15	3,89	4,02
20-40	2,48	2,10	1,92	2,15	3,69	4,10
40-60	2,11	1,77	1,66	2,08	3,48	3,46
60-80	-	1,80	1,91	2,34	3,13	3,36
Ds (g cm⁻³) CV=13,13%						
00-05	0,95	1,16	1,29	1,22	1,17	1,03
05-10	0,93	1,23	1,23	1,31	1,12	1,05
10-20	1,07	1,18	1,26	1,23	1,10	1,01
20-40	1,13	1,13	1,22	1,20	1,05	0,96
40-60	1,03	1,05	1,14	1,08	0,97	0,99
60-80	-	1,03	1,09	1,04	0,94	1,00
IEA (%) CV=23,02%						
00-05	99,98	91,39	47,92	96,30	95,63	97,26
05-10	99,98	94,22	48,29	95,08	95,60	97,37
10-20	99,98	96,21	46,79	92,61	95,13	98,42
20-40	99,98	92,12	46,41	92,74	95,88	98,53
40-60	99,98	96,55	48,01	89,83	96,24	96,57
60-80	-	89,59	46,19	89,35	95,78	97,65
Macroporos (m³ m⁻³) CV=34,27%						
00-05	0,34	0,12	0,10	0,09	0,13	0,12
05-10	0,29	0,12	0,11	0,09	0,12	0,13
10-20	0,27	0,13	0,10	0,12	0,12	0,15
20-40	0,24	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13
40-60	0,24	0,14	0,13	0,14	0,15	0,13
60-80	-	0,14	0,15	0,16	0,13	0,13
Porosidade total (m³ m⁻³) CV=8,99%						
00-05	0,64	0,54	0,42	0,50	0,53	0,54
05-10	0,61	0,56	0,46	0,51	0,52	0,60
10-20	0,59	0,56	0,47	0,53	0,49	0,56
20-40	0,58	0,54	0,49	0,55	0,53	0,54
40-60	0,59	0,58	0,49	0,58	0,55	0,58

^(a) Médias de três medidas por trincheira, em quatro trincheiras nos solos sob cana e em duas trincheiras no solo sob mata. ^(b) Sob mata as medidas só foram tomadas até 60 cm de profundidade e o solo está a 27 anos sem revolvimento. ^(c) 90% da fração areia é constituída por nódulos de ferro e magnetita < 2 mm. ^(d) Para o solo sob mata a soma se refere a 60 cm de profundidade, enquanto para os demais solos, a 80 cm.

Fonte: Autores (2018)

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.20, n. 2, p.21-36, jul./dez. 2018

Como o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados, quanto menor a quantidade de agregados < 0,106 mm, maior será o IEA. A área com mata foi a que apresentou os maiores valores devido à adição constante de resíduos vegetais, assim como ao não revolvimento do solo, o que repercutiu também no aumento dos teores de carbono em relação às demais áreas, semelhante aos resultados obtidos por Calegari et al. (2006) para o mesmo tipo de solo. Nas cinco áreas estudadas, quanto maiores os teores de carbono obtidos, maiores foram os IEA do solo.

As áreas de mata e as de cana apresentam porosidade total muito próximas, variando de 50 a 60%, à exceção da Fazenda 4. Quando se observa os valores encontrados para a macroporosidade, ou seja, a porosidade funcional, percebe-se que a quantidade de macroporos diminui de duas a quatro vezes, dependendo da área e da profundidade, em relação à mata (Tabela 2).

Esta última tem macroporosidade entre 20 e 30%, com redução de 30% da mesma entre os horizontes superiores e os mais profundos. A porosidade total é estável na mata, não apresentando redução significativa, como no caso da macroporosidade. Algumas áreas alcançam valores próximos ou menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, limite definido por Grable e Siemer (1968) e Spera et al. (2009) como porosidade de aeração mínima, para que a difusão de oxigênio atenda à demanda do sistema radicular.

Os resultados da análise de regressão entre as variáveis dependentes e as causas de variação são apresentadas na Tabela 3. Foi ajustado o mesmo modelo para todas as variáveis, entretanto, apenas os parâmetros cuja inclusão no modelo resultou em um valor significativo pelo teste de t a 1% (probabilidade > |t|, < 0,01) foram mantidos no modelo. Todos os modelos ajustados foram altamente significativos pelo teste de F (a probabilidade > F foi < 0,0001).

Tabela 3 - Modelos de regressão ajustados para as variáveis de solo dependentes em função do tempo sem revolvimento do solo, da profundidade média da amostra analisada, do teor de argila na amostra e da interação entre tempo e profundidade; são apresentados os valores dos parâmetros significativos pelo teste de t a 1%⁽¹⁾, os demais foram considerados não significativos (ns)

Variável	Valores dos Parâmetros							Estatísticas do modelo	
	Intercepto	Argila	Anos	Anos ²	Prof (cm)	Prof ^{1/2} (cm ^{1/2})	Interação	F	R ²
DMP	2,72569	0,00275	-0,30645	ns	ns	ns	-0,01560 ⁽²⁾	38,50	0,4860
Ds	0,89246	ns	0,11217	-0,00811	-0,00414	ns	0,00378 ⁽²⁾	27,51	0,4712
Macroporos	15,02688	ns	-1,57449	0,12769	0,07406	ns	-0,08532 ⁽²⁾	16,63	0,3445
Porosidade	37,93253	0,04177	-4,34996	0,37475	0,08808	ns	-0,22461 ⁽²⁾	48,47	0,6660
CO	31,71385	-0,00676	-5,44914	0,52427	-0,11998	ns	1,80215 ⁽³⁾	157,07	0,8677
IEA	14,83807	0,19364	-14,42043	1,10066	ns	-1,34320	-0,42778 ⁽²⁾	96,94	0,8012

⁽¹⁾ Exceto o valor do intercepto do modelo ajustado para IEA, que foi significativo pelo teste de t a 6%. ⁽²⁾ A interação é dada por Prof/Anos. ⁽³⁾ A interação é dada por Anos/Prof.

Fonte: Autores (2018)

A análise de regressão do DMP mostra que as variáveis significativamente influentes no modelo foram o teor de argila, o número de anos sem revolvimento do solo e a interação entre profundidade e tempo sem revolvimento do solo, representada nesse caso pela razão direta entre profundidade média da camada do solo e anos sem revolvimento. Embora o coeficiente de

determinação (R²) indique que menos da metade da variação observada na DMP, na Ds e nos macroporos possa ser associada às variáveis influentes do modelo (R² = 0,49, 0,47 e 0,34, respectivamente), no caso da porosidade, do CO e do IEA a influência se mostrou bem maior (R² = 0,67, 0,87 e 0,80, respectivamente). Além disso, tanto o modelo como os parâmetros estimados

foram altamente significativos (<0,01% e 1% respectivamente).

O DMP pode ser avaliado pela equação 6.

$$\text{DMP} = 2,72569 + [0,00275 \times (\text{teor de argila})] - [0,30645 \times (\text{anos})] - [0,01560 \times (\text{Prof/Anos})] \quad (6)$$

O coeficiente de determinação ajustado dessa regressão (R^2) foi de 0,4860, o que pode ser explicado da seguinte forma: aproximadamente 48,6% da variação observada no valor de DMP pode ser atribuída à variação do número de cortes (anos), teor de argila e a interação entre profundidade e tempo. É possível também afirmar que o valor de DMP diminuiu com o aumento no número de cortes e com a interação entre tempo e profundidade, e

aumentou com o incremento no teor de argila.

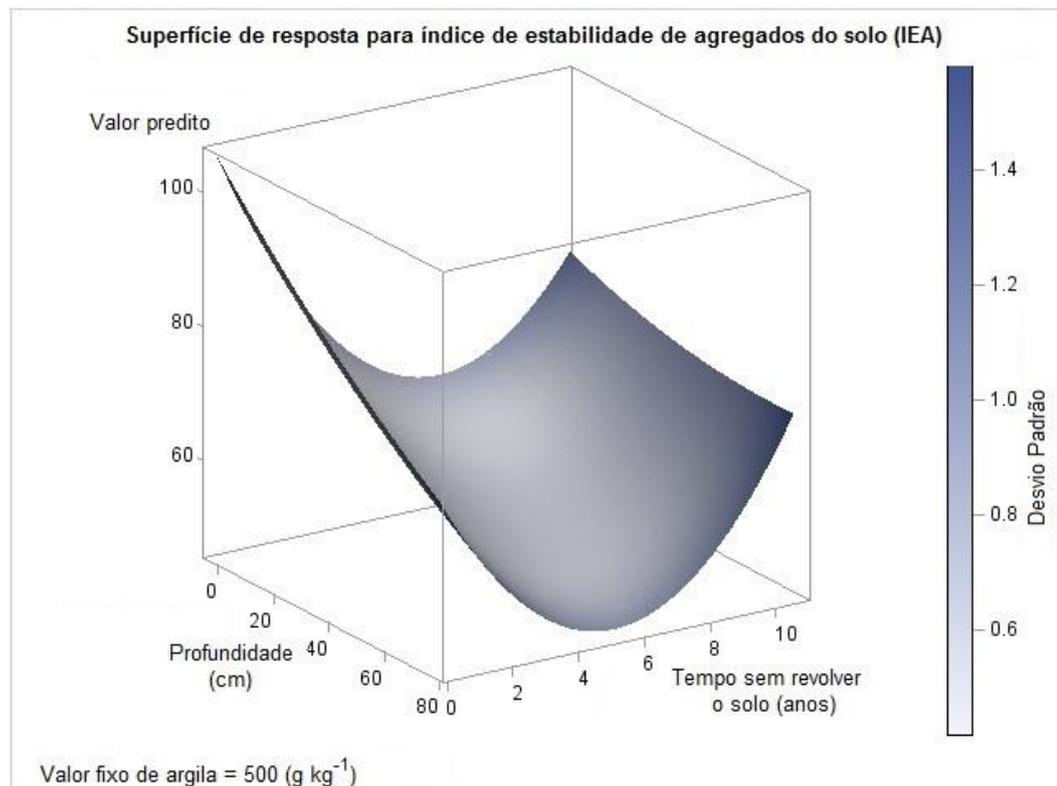
Os modelos ajustados para as demais variáveis constantes na Tabela 3 podem ser analisados da mesma maneira que para a DMP. No caso do carbono orgânico (CO), que apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,8677$, explicando cerca de 86,77% da variação de CO encontrada nas amostras), ficaria como na equação 7.

$$\text{CO} = 31,71385 - [0,00676 \times (\text{teor de argila})] - [5,44914 \times (\text{anos})] + [0,52427 \times (\text{anos}^2)] - [0,11998 \times (\text{Prof})] + [1,80215 \times (\text{Anos/Prof})] \quad (7)$$

Para visualizar, tanto o efeito quadrático do tempo sem revolvimento do solo como o da interação entre anos e profundidade, fixou-se o valor de argila em 500 g kg⁻¹ e construiu-se a superfície de resposta correspondente à equação ajustada para CO, conforme apresentado na Figura 1. É possível observar que o carbono orgânico

do solo sempre sofre uma redução inicial com o revolvimento do solo, mas que é superada com a permanência do sistema de corte sem queima por vários anos. Também se nota que o efeito é semelhante em todas as profundidades, mas mais rápido nas primeiras camadas do solo (Figura 1).

Figura 1 - Superfície de resposta para carbono orgânico (CO) estimada em função do tempo sem revolvimento do solo, em anos, e profundidade média da camada de solo (em cm), quando o teor de argila é fixado em 500 g kg⁻¹



Fonte: Autores (2018)

No caso do índice de estabilidade de agregados (IEA), que apresentou o segundo maior coeficiente de determinação

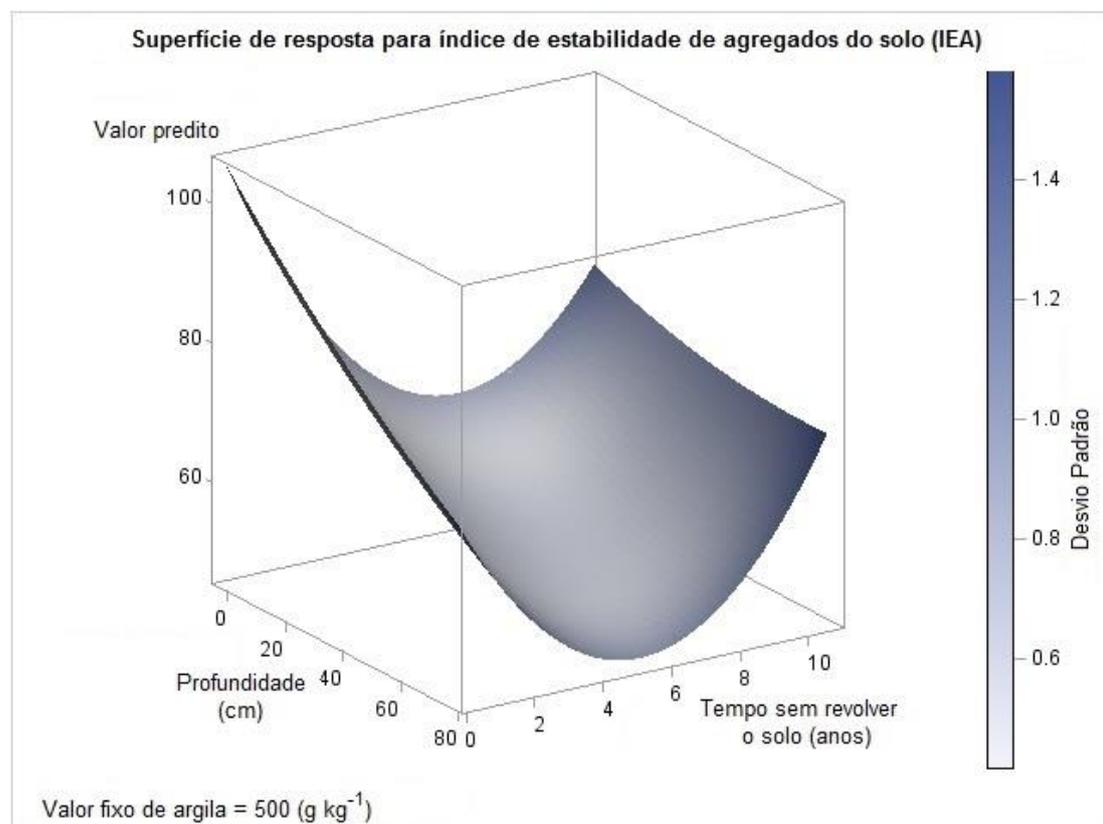
($R^2=0,8012$, explicando cerca de 80,12% da variação de IEA encontrada nas amostras), ficaria como na equação 8.

$$IEA = 14,83807 + [0,19364 \times (\text{teor de argila})] - [14,42043 \times (\text{anos})] + [1,10066 \times (\text{anos}^2)] - [1,34320 \times (\text{Prof}/2)] - [0,42778 \times (\text{Prof}/\text{Anos})] \quad (8)$$

Para visualizar, tanto o efeito linear e quadrático do tempo sem revolvimento do solo, o da raiz quadrada da profundidade, bem como o da interação entre profundidade e anos, fixou-se o valor de argila em 500 g kg⁻¹ e construiu-se a superfície de resposta correspondente à equação ajustada para IEA, conforme apresentado na Figura 2. É

possível observar que o IEA sempre sofre uma redução inicial com o revolvimento do solo, mas essa tendência é revertida com a permanência do sistema de corte sem queima por vários anos. Também se nota que o efeito é semelhante em todas as profundidades, mas a redução é mais rápida nas camadas superficiais do solo (Figura 2).

Figura 2 - Superfície de resposta para o índice de estabilidade de agregados (IEA) estimada em função do tempo sem revolvimento do solo, em anos, e profundidade média da camada de solo (em cm), quando o teor de argila é fixado em 500 g kg⁻¹



Fonte: Autores (2018)

Foi feita a análise de correlação linear entre todas as variáveis de solo, por local, e os resultados que foram significativos para pelo menos um local são apresentados na Tabela 4. As correlações negativas indicam que se uma variável aumenta, a outra tende a diminuir. Assim, no presente caso, se o teor de argila aumenta, o DMP diminui significativamente nas áreas sob 1 e

8 cortes, nas demais áreas a correlação não é estatisticamente significativa. O resultado da correlação entre teor de argila e DMP dá uma ideia imprecisa da influência do teor de argila no diâmetro médio dos agregados nos LATOSSOLOS VERMELHOS provenientes da alteração de rochas básicas, pois, a menos que esses solos apresentassem grau de floculação muito baixo, o que não é o

caso (Tabela 1). Assim sendo, a correlação negativa poderia ser verdadeira. Além disso, a Tabela 1 mostra que, com exceção dos cortes 1 e 3, há uma diminuição do DMP em profundidade, já discutido acima (solos microagregados). Os resultados encontrados contrariam aqueles verificados por Salton et al. (2008) em lavouras anuais e pastagens, no mesmo tipo de solo, para o qual o efeito do teor de argila na agregação do solo foi positivo. Os coeficientes de correlação (Tabela 4) também mostram que há uma

forte dependência negativa entre o teor de argila e o DMP para a área com 8 cortes, mas é fraca no caso da mata, já que o controle do tamanho dos agregados nesta última é principalmente biológico, relacionado à presença das raízes, hifas e exsudatos (OADES,1984), que somados a resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre DMP, CO, Ds, macroporos e a argila, por local

Local	Coeficiente de correlação linear de Pearson entre:			
	CO e DMP	CO e Ds	Argila e DMP	Ds e Macroporos
Mata	0,74*	-0,34 ns	-0,51 ns	-0,86*
8 cortes	0,80***	0,56**	-0,81**	-0,82**
7 cortes	-0,15 ns	0,48*	0,24 ns	-0,97**
5 cortes	-0,14 ns	0,70**	0,16 ns	-0,78***
3 cortes	0,29 ns	0,48*	-0,32 ns	-0,54*
1 corte	0,38 ns	0,17 ns	-0,48*	-0,34 ns

ns = não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1%.

Fonte: Autores (2018)

No modelo de Tisdall e Oades (1982), as partículas primárias livres e agregados de tamanho de silte são unidos por agentes ligantes persistentes, como matéria orgânica humificada ou complexos com cátions polivalentes, óxidos e aluminossilicatos, formando microagregados (20 a 250 μm). Esses microagregados estáveis são unidos por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microrganismos ou plantas), resultando em macroagregados (> 250 μm). Segundo Oades and Waters (1991), citados por Six et al. (2004), esta ordem hierárquica, responsável pela formação de micro e macroagregado, foi identificada em solos onde a matéria orgânica era o principal agente de ligação, mas não podia ser encontrada em solos ricos em óxidos, como os Latossolos (Oxisols).

Os coeficientes de correlação altos (Tabela 4) entre o DMP e argila, no solo sob 8 cortes de cana, e em especial entre o DMP e o teor de carbono, nesse mesmo local e sob mata, evidenciam o papel das raízes e o teor de C no solo na formação de agregados, conforme demonstrado em vários trabalhos, como o de Silva e Mielniczuk (1997), Bronick e Lal (2005) e Salton et al. (2008). Estes

últimos, que trabalharam em solos com teores de argila variando de 360 a 650 g kg^{-1} , têm como uma de suas conclusões que a estabilidade dos macroagregados está relacionada ao teor de C orgânico no solo e ao crescimento do sistema radicular, mesmo tendo evidenciado o efeito do teor de argila na agregação do solo.

Se não houve influência da quantidade de CO na agregação no primeiro corte (Tabela 4), então, a agregação existente decorreu de outros fatores, atuando ou não em conjunto com a matéria orgânica, tais como: teor de argila, natureza dos cátions presentes e seu poder de floculação, que é especialmente alto no primeiro e terceiro cortes (Tabela 1), mineralogia do solo, ácidos orgânicos presentes e seus respectivos valores de pKa, interação de cátions polivalentes com argila e matéria orgânica humificada, atividade microbiológica e tipo de microrganismos presentes, e, ainda, ao comportamento do alumínio dependente do pH da solução do solo, como já exposto por Castro Filho, Muzilli e Padanoschi (1998).

A correlação entre densidade e macroporosidade (Tabela 4) é alta e negativa para as áreas de maior número de cortes, o que já era esperado, pois o aumento da

densidade provoca diminuição dos macroporos (SILVA; LIBARDI; CAMARGO, 1986; MICHELON et al., 2009), já que a compactação provocada pelo uso agrícola normalmente ocasiona uma drástica redução na macroporosidade, enquanto o volume dos microporos pode permanecer estável (KUNCORO et al., 2014). Em solos não cultivados, a densidade aparente do solo geralmente apresenta variações decorrentes basicamente das diferenças na estrutura do solo, mais especificamente, da macro e microporosidade, que por sua vez são função da textura, do teor de carbono orgânico e da mineralogia do solo (FERREIRA et al., 2007).

4 Conclusões

A análise geral mostra que as variáveis significativamente influentes no diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) foram o teor de argila e o número de anos sem revolvimento do solo. Além disso, o efeito do tempo sem revolvimento do solo sobre o DMP se manifesta de forma diferente conforme a profundidade do solo, como mostra a significância da interação entre profundidade e tempo.

A alta correlação positiva entre o DMP e o teor de carbono orgânico, assim como alta correlação negativa entre DMP e a argila, encontradas na área com 8 anos sem revolvimento, se deve, provavelmente, à

estrutura microagregada original do solo daquele talhão.

A relação encontrada entre teor de argila e o DMP dá uma ideia imprecisa da influência da argila no DMP dos agregados nos LATOSSOLOS VERMELHOS provenientes da alteração de rochas básicas. Provavelmente porque, por serem microagregados, independem do teor de argila para a estabilidade de sua microagregação, sendo os óxidos de ferro e alumínio os elementos agregadores.

O teor de carbono orgânico e o índice de estabilidade de agregados (IEA), apesar de sofrerem uma redução nos primeiros anos após o replantio, provavelmente causada pelo revolvimento do solo, têm essa tendência revertida com a permanência do sistema de corte sem queima (e sem revolvimento) por aproximadamente oito anos após o replantio.

De modo geral, os valores da densidade do solo, que diminuem com o tempo, indicam que o número de anos sem revolvimento do terreno para replantio permitido pelo manejo da cana-de-açúcar colhida sem queima, é suficiente para alterar suas condições físicas.

O ajuste de um mesmo modelo de regressão na análise de todas as variáveis investigadas permitiu uma comparação mais direta dos efeitos dos tratamentos em cada uma delas, tanto em relação à significância quanto ao sentido, positivo ou negativo, da influência de cada uma.

5 Continuous cultivation time of sugarcane and influence on physical and organic carbon characteristics of dystrophic Red Latosols in Guaíra / SP

Abstract: *The objective of this work was to verify the influence of time, as a function of the number of cuts in sugarcane, physical characteristics and organic carbon of Distroferric Red Latosols. (Oxisol). The soils of five areas under sugarcane, under minimum cultivation, located in Guaíra - SP, were submitted to different cut numbers (1, 3, 5, 7 and 8 cuts). The samples were collected in four trenches in each area and in a forest area to determine the stability of aggregates, density, porosity, flocculation degree and organic carbon. From the analyzes performed, the weighted mean diameter (WMD) and the aggregate stability index (AEI) were calculated. For the analysis of these data, a model was used with the simultaneous presence of the values of the variables, its square or its square root, based on the proposal of the quadratic square root model, by Colwell, Suhet e Rajj (1988). The SAS program's Proc Reg routine was used to perform the model adjustment (SAS, 2011). The regression model was adjusted to the data for each of the independent variables. It also performed the simple correlation analysis between all paired variables. The correlation values were tested for significance by the Pearson correlation test (SAS, 2011). The results showed that the elapsed time between planting and the number of cuts interferes in the process of reconstruction of the physical attributes of the soil; that the organic carbon content, WMD-weighted average diameter, Ds-bulk soil density, clay content and increasing number of cuts have a complex correlation, probably due to the evaluated soil class.*

Keywords: Soil aggregation; Soil carbon; Soil porosity; Sugarcane crop reform.

6 Referências

- ABIVEN, S., MENASSERI, S., CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, n. 41, p. 1-12, 2009.
- ALMEIDA, W.S.de, PANACHUKI, E., OLIVEIRA, P.T.S. de, MENEZES, R. da S., TEODORICO ALVES SOBRINHO, T., CARVALHO, D.F. de Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil & Tillage Research**, n. 175, p. 130-138, 2018.
- ALVARENGA, R. C.; FERNANDES, B.; SILVA, T. C. A.; RESENDE, M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo e de manejo da palhada do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 3, p. 273-277, 1986.
- ANGERS, D. A.; MEHUY, G. R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M. R. (Ed.) Chapter 61. **Soil sampling and methods of analysis** (p. 651-657). CRC Press, 1993.
- ANGULO, J. R. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. Curitiba: UFRPR, 1983. Dissertação (Mestrado em Conservação do Solo) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.
- AVANZI, J. C.; NORTON, L. D.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A. Aggregate stability in soils cultivated with eucalyptus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.89-96, 2011
- BACQ-LABREUIL, A.; CRAWFORD, J.; MOONEY, S.J.; NEAL, A.L.; AKKARI, E.; MCAULIFFE, C.; ZHANG, X.; REDMILE-GORDON, M.; RITZ, K. Effects of cropping systems upon the three-dimensional architecture of soil systems are modulated by texture. **Geoderma**, v. 332, p. 73-83, 2018.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C. DE; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Ciência Agrícola de Londrina**, v. 27, n. 2, p. 147-158, 2006.
- CAMARGO, O. A. DE; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspar, 1997. 132 p.
- CAMARGO, O. A. DE; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, n. 1, p. 99-105, 1990.
- CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O.; PADANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.
- COLWELL, J. D.; SUHET, A. R.; RAIJ, B. van. Statistical procedures for developing general soil fertility models for variable regions. Australia: CSIRO, 1988. 68p. (CSIRO. Division of Soils. Divisional Report, 93).
- DAL FERRO, N., SARTORI, L., SIMONETTI, G., BERTI, A., MORARI, F. Soil macro- and microstructure as affected by different tillage systems and their effects on maize root growth. **Soil and Tillage Research**, v. 140, p. 55-65, 2014.
- DERPSCH, R.; ROTH, N.; SIDIRAS, E.; KOPKE, V. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 272 p.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 11, n. 3-4, p. 199-238. 1988
- DULLIEN, F. A. L. **Porous media: Fluid transport and Pore structure**. San Diego: Academic Press, 1979. 379 p.
- EDWARDS, A. P.; BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 18, n. 1, p. 64-73, 1967.
- EGASHIRA, K.; KAETSU, Y.; TAKUMA, K. Aggregate stability as an index of erodibility of Andosols. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 29, n. 4, p. 473-481, 1983.
- ELLISON, W. D. Some effects of raindrops and surface flow on soil erosion and infiltration. **Transactions of the American Geophysical Union**, v. 26, n. 3, p. 415-429. 1945.

- FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Carbono orgânico, óxidos de ferro e distribuição de agregados em dois solos derivados de basalto no Rio Grande do Sul – Brasil. **Ciência Rural**, v.37, p.381-388, 2007.
- GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.
- GOLLANY, H. T.; SCHUMACHER, T. E.; EVENSON, P. D.; LINDSTROM, M. J.; LEMME, G. D. Aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 3, p. 811-816, 1991.
- GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, n. 2, p.180-186, 1968. DOI 10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x.
- HARRIS, R. F.; CHESTER, G.; ALLEN, O. N. Dynamics of soil aggregation. **Advances in Agronomy**, v. 18, n. 1, p. 107-169, 1966.
- HÉNIN, S. **Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres**. Paris: Imprimerie Nationale, 1938. 69 p.
- HICKMANN, C.; COSTA, L. M. Estoque de carbono no solo e agregados em Argissolo sob diferentes manejos de longa duração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.10, p.1055–1061, 2012.
- HILLEL, D. **Introduction to Environmental Soil Physics**. Academic Press.2003.
- KAMIMURA, K. M.; SANTOS, G. R.; OLIVEIRA, M. S.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, T. G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 877-888, 2013.
- KAUFMANN, M.; TOBIAS, S.; SCHULIN, R. Comparison of critical limits for crop plant growth based on different indicators for the state of soil compaction. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p. 573–583. 2010.
- KEESSTRA, S.; PEREIRA, P.; NOVARA, A.; BREVIK, E.C.; AZORIN-MOLINA, C.; PARRAS-ALCÁNTARA, L.; JORDÁN, A.; CERDÁ, A. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. **Science of the Total Environment**, v. 551-552, p. 357-366, 2016.
- KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLAKE, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Eds.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling** (p.499-510). Madison: American Society of Agronomy, 1965.
- KUNCORO, P.H.; KOGA, K.; SATTA, N.; MUTO, Y. A study on the effect of compaction on transport properties of soil gas and water. II: soil pore structure indices. **Soil and Tillage Research**, v. 143, p. 180–187, 2014.
- LARACH, J. O. I.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. de; HOCHMÜLLER, D. P.; MARTINS, J. S.; RAUEN, M. de J.; FASOLO, P. J.; PÖTTER, R. O. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR; Curitiba: EMBRAPA-SNLCS, 1984. 2 t. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de pesquisa, n. 27; IAPAR-Projeto Especial Levantamento de Solos. Boletim técnico, n. 16).
- LE BISSONNAIS, Y.; SINGER, M. J. Seal formation, runoff and interrill erosion from 17 California soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 1, p. 224–229. 1993.
- LUCA, E.F.; CHAPLOT, V.; MUTEMA, M.; FELLER, C.; FERREIRA, M.L.; CERRI, C.C.; COUTO, H.T.Z. Effect of conversion from sugarcane preharvest burning to residues green-trashing on SOC stocks and soil fertility status: Results from different soil conditions in Brazil. **Geoderma**, n.310, p. 238-248, 2018.
- MAZZA, J. A.; SILVA, M. M.; PRATA, P. N.; SAMAIA, A. O manejo racional dos solos e a sustentabilidade na cafeicultura irrigada. **Informações Agronômicas**, n. 94, p. 1-16, 2001. Encarte Técnico.
- MICHELON, C.J.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; MELO, G.L.; SPOHR, R.B.; ANDRADE, J.G. de. Qualidade física dos solos irrigados de algumas regiões do Brasil central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.39-45, 2009.
- MONI, C.; RUMPEL, C.; VIRTO, I.; CHABBI, A.; CHENU, C., 2010. Relative importance of sorption versus aggregation for organic matter storage in subsoil horizons of two contrasting soils. **European Journal of Soil Science**. 61, p. 958–969, 2010.
- OADES, J. M. Soil organic-matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v. 76, n. 1-3, p. 319-337, 1984.
- PANAYIOTOPOULUS, K. P.; KOSTOPOULOU S.

Aggregate stability dependence on size, cultivation and various soil constituents in Red Mediterranean soils (Alfisols). **Soil Technology**, v. 2, n.1, p. 79-89, 1989.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 713-720, 2002.

POHL, M.; GRAF, F.; BUTTLER, A.; RIXEN, C. The relationship between plant species richness and soil aggregate stability can depend on disturbance. **Plant Soil**, v. 355, p.87–102, 2012.

REICHERT, J. M.; NORTON, L. D. Surface seal micromorphology as affected by fluidized bed combustion botton-ash. **Soil Technology**, n. 7, p. 303-317, 1995.

REICHERT, J. M.; VEIGA, M. DA; CABEDA, M. S. V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com características e parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, n. 2, p. 283-290, 1993.

REYNOLDS, W.D., DRURY, C.F., TAN, C.S., FOX, C.A., YANG, X.M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v. 152, p. 252–263, 2009.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C. de; MEDEIROS, G. B. de. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p. 241-248, 1991.

ROTH, C. H.; PAVAN, M. A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. **Geoderma**, v.48, n. 3-4, p. 351-361, 1991.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.1, p. 11-21, 2008.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.3 User's Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2011.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, n. 241, p. 155–176, 2002;

SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S., DENEFF, K.

A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, 79, 7–31. 2004.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 2, p. 91-95, 1986.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura, pecuária, os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 129-136, 2009.

SUN, H.; LARNEY, F. J.; BULLOCK, M. S. Soil amendments and water-stable aggregation of a desurfaced Dark Brown Chernozem. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 75, n. 3, p. 319-325, 1995.

TARDY, Y. **Petrology of Laterites and Tropical Soils**. Rotterdam: Balkema, 1997. 408 p.

TIPPKÖTTER, R. The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates (60-200 µm). **Zeitschrift fuer Pflanzenernährung und Bodenkunde**, v. 157, n. 2, p. 99-104, 1994.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141-163, 1982.

USDA/NRCS. **Soil Health – Bulk Density/Moisture/Aeration**. Guides for Educators, 2014. 11p. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_050936.pdf. Acesso em 26 out. 2017.

VIRTO, I.; BARRÉ, P.; CHENU, C. Microaggregation and organic matter storage at the silt-size scale. **Geoderma**, v. 146, p. 326–335, 2008.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337-351, 1936.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem à Usina Açucareira Guaira pela permissão de trabalhar em suas terras e pelo apoio recebido.