

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AGREGAÇÃO DE SOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-
AÇÚCAR E MATA NATIVA**

**Edson José de Castro Júnior
Engenheiro Agrônomo**

2020

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**AGREGAÇÃO DE SOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-
AÇÚCAR E MATA NATIVA**

Discente: Edson José de Castro Júnior

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

2020

C355a

Castro Júnior, Edson José de

Agregação de solos sob cultivo de cana-de-açúcar e mata nativa /
Edson José de Castro Júnior. -- Jaboticabal, 2020

26 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Carolina Fernandes

1. Solo Agregação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AGREGAÇÃO DE SOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR E MATA NATIVA

AUTOR: EDSON JOSÉ DE CASTRO JÚNIOR

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pós-doutorando LEANDRO ANTUNES MENDES
Departamento de Química-UFTM / Uberaba/MG


Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 10 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Edson José de Castro Júnior – nascido em 13 de junho de 1990 na cidade de Cuiabá/MT, cursou o ensino médio no Colégio Isaac Newton, em sua cidade natal de 2005 a 2007. Em agosto de 2008, ingressou no curso de Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá – Bela Vista, finalizando-o em 2011. Em março de 2009, ingresso em Agronomia na Universidade Federal de Mato Grosso de Cuiabá e realizou intercâmbio pelo Ciência Sem Fronteiras na Universidade de Wisconsin em River Falls, nos Estados Unidos de agosto de 2013 a dezembro de 2014, finalizando o curso de Agronomia em outubro de 2016. Em março de 2017, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Universidade Estadual Paulista na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV) em Jaboticabal/SP, onde foi bolsista da CAPES até julho de 2018. Em agosto de 2018, iniciou um programa de Trainee na Delta Sucreenergia, se desligando da empresa um ano depois. Atualmente trabalha como Consultor Técnico Comercial da Wolf Sementes desde agosto de 2019. No dia 02 de dezembro de 2019, submeteu a banca examinadora para a defesa da Dissertação para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

“Sagacidade pra viver
Lutar, cair, crescer
Sem arriar ou se render
Tem que defender”
IZA - Ginga

DEDICO

Aos meus pais **Edson José de Castro** e **Marli Maria da Costa Castro**, minhas irmãs **Edmara da Costa Castro Dallabrida** e **Mariley da Costa Castro** e ao meu tio **Ivo Aquino de Castro**, por sempre me incentivar, motivar e investir em minha educação, a esta capacitação, moverem todas suas forças para fazer com que eu chegasse até onde estou. A vocês, meu sincero e humilde agradecimento.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer minha orientadora Professora Doutora **Carolina Fernandes** que depositou sua confiança em mim no primeiro momento e, apesar de todas as adversidades que vieram no meio do caminho, continuamos nesta empreitada para poder me orientar, guiar e até mesmo motivar, mesmo com as intempéries da vida que aconteceram durante essa trajetória. Hoje, se não fosse a sua aceitação a me orientar, talvez não estaria onde estou atualmente e gostaria de agradecer imensamente por isso.

Além disso, tenho que agradecer muitas pessoas que conheci durante essa trajetória que me auxiliaram imensamente no laboratório e durante o Mestrado: **Matheus Flávio da Silva, Anderson Prates Coelho, Marielle Fernandes** e aos técnicos **Cláudia, Adauto e Mauro** por esse tempo de auxílio e companhia na FCAV.

Também, gostaria de deixar meu humilde agradecimento aos meus fiéis amigos que sempre estiveram juntos comigo nessa caminhada, mesmo que distantes: **Torrezome Junior, Jaline Monteiro, Higor Ramos, Sabrina Schmidt Correa e Sânia Lúcia Camargos.**

Apesar de distante da cidade natal, novos amigos eu fiz nessa nova caminhada e essa amizade perduram até hoje e agradeço imensamente pelo apoio e suporte para poder chegar até aqui: **Daniel Silva, Leandro Antunes, Fábio Rocha, Jean Nogueira, Raphael Bighetti, Grayce Gama, Ítalo Santana, Lucas Freitas, Frederico Figueiredo, Jheinnefer Motta e Raissa Vieira.**

Em especial, gostaria de agradecer ao meu namorado **Rafael Vieira** que, por mais difícil que toda nossa caminhada foi até estarmos juntos atualmente, nunca hesitou em poder ajudar, motivar, incentivar e de ser a minha família, em todos os momentos.

O presente trabalho foi executado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
5. CONCLUSÕES.....	19
6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

AGREGAÇÃO DE SOLOS SOB CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR E MATA NATIVA

Resumo – A colheita mecanizada da cana-de-açúcar possibilita a deposição da palhada na superfície do solo, trazendo inúmeros benefícios para a conservação do mesmo e ao sistema de produção da cultura. No entanto, o aumento no número de operações mecanizadas e o intenso tráfego de máquinas podem contribuir para a degradação, principalmente da estrutura do solo. Comparar o ambiente natural em relação à área de produção de cana-de-açúcar possibilita demonstrar o efeito benéfico da palha para a estrutura do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos físicos do solo em duas áreas com solos de granulometria semelhantes, sendo uma delas utilizada para o cultivo de cana-de-açúcar e a outra, uma área de mata nativa preservada. As camadas avaliadas foram de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,25 m considerando os atributos físicos do solo: classes de agregados do solo, diâmetro médio ponderado dos agregados, classe de agregados, o índice de estabilidade de agregados, carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais. Os valores obtidos foram submetidos a estatística descritiva, análise de fatores e variância fatorial. Os resultados demonstraram que a formação de agregado foi estatisticamente semelhante nas duas áreas, diferindo somente nas camadas avaliadas. Quanto a estabilidade de agregados, a mata nativa se mostrou superior à área com produção de cana-de-açúcar. No entanto, a camada da área da cana-de-açúcar que mais se aproxima da estabilidade de agregados da mata foi a camada superficial de 0,00-0,05 m, indicando que a manutenção da palhada no campo pode ser uma estratégia de manutenção do carbono no solo.

Palavras-chave: palha, análise de fatores, estrutura do solo.

SOIL AGGREGATION IN SOILS WITH SUGARCANE CROP AND PRESERVED AREA

Abstract – The mechanized harvesting of sugarcane allows the residue to be left on the soil surface, to benefiting soil conservation. However, the increased mechanization can contribute to soil structure. Comparing a natural environment to a sugarcane production area helps to demonstrate the beneficial effect of the residue on soil structure. The goal of this study was to evaluate the physical attributes of the soil with similar granulometry in two areas: sugarcane crop and a preserved area of a native forest. We evaluated soil layers at 0.00-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.25 m for the soil physical attributes: soil aggregate classes, aggregate diameter, aggregate stability index, particulate organic carbon, and organic carbon associated with minerals. The values obtained were submitted to a descriptive statistics, a factor analysis and a factorial variance. The results showed that the aggregate formation was similar in the two areas, only differing between the evaluated layers, decreasing the aggregate formation along the evaluated soil profile. The stability of aggregates in the native forest was superior to the sugarcane production area. However, the surface soil of sugarcane was the most closely to the situation of native forest soil stability, indicating that sugarcane residue could be a strategy of soil carbon maintenance.

Keywords: straw, factor analysis, soil structure.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar passou por diversas mudanças e uma delas foi a colheita manual para a colheita mecanizada, que foi introduzida no Brasil em 1973 (Braunbeck e Magalhães, 2010) devido a mão de obra e rigurosidade das leis trabalhistas. A colheita mecanizada da cana-de-açúcar é utilizada em grande parte das áreas de produção da cultura. A técnica foi se aprimorando e atualmente utiliza-se a colheita mecanizada da cana com a deposição residual de palha no campo.

A palha depositada no solo na colheita é degradada ao longo das safras e a atividade microbiológica no solo é lenta (Yamaguchi, 2015). Com a atividade microbiológica, este material vegetal degradado é convertido em menores frações de carbono no solo e, juntamente com o desenvolvimento radicular das plantas, pode contribuir diretamente na formação e estabilidade de agregados, processos conhecidos que influenciam na estrutura do solo. Para que forme os agregados, a ação das raízes e o carbono derivado do material vegetal degradado pela microbiota do solo pode promover a atração entre partículas. A estabilidade de agregados é promovida pelo carbono oriundo da decomposição da matéria orgânica no solo por microrganismos que fracionam a matéria orgânica, liberando exsudatos que funcionam como agentes cimentantes que favorece a coesão das partículas (Kiehl, 1979) e, sobretudo, o conjunto dos atributos pode estruturar o solo.

A estrutura do solo afeta processos no solo, como a infiltração e a retenção de água do solo, as trocas gasosas e a dinâmica da matéria orgânica e dos nutrientes. Por isso, é importante que se favoreça a agregação de partículas, que se refere à união das frações mineral e orgânica do solo, formando agregados de diferentes tamanhos e estabilidade para que o solo desenvolva essas características.

A forma que os agregados se arranjam e se estabilizam ocasiona a porosidade do solo, aeração, infiltração e retenção de água (Kiehl, 1979) e, conseqüentemente, influencia na relação solo e planta. Em uma área preservada, a estrutura do solo foi construída durante anos. Já em um solo com atividade agrícola, como a produção de cana-de-açúcar, é realizado o preparo do solo, além de diversas atividades agrícolas,

uma delas é a colheita mecanizada com deposição de palha no solo. No entanto, a intensificação de mais uma operação mecanizada pode promover alterações na qualidade física do solo, causando compactação do solo, redução da porosidade e modificação de sua estrutura (Souza, 2016).

No centro sul brasileiro, maior polo de produção de cana-de-açúcar do país, o período para safra da cana se dá entre abril a outubro (HORII, 2004), caracterizado como a época de baixa pluviosidade. Todavia, há uma tendência de redução do período da entressafra e a realização da colheita em condição de umidade no solo, causando impacto e comprometendo sua qualidade estrutural (Arantes, 2015).

Diferentes tipos de resíduos vegetais podem contribuir com a estrutura do solo, com destaque a palhada da cana-de-açúcar, de potencial para produzir de 10 a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, podendo corroborar na formação e a estabilidade de agregados no solo (Oliveira et al., 2010; Lopes et al., 2017). Com isso, é importante comparar o ambiente de produção de cana-de-açúcar com o ambiente natural, a fim de visualizar a importância da contribuição deste material vegetal e o carbono contido nele para a estrutura do solo.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar agregação do solo em dois ambientes: um solo de mata nativa e um solo com um sistema de produção de cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente, na cultura da cana-de-açúcar, o material é colhido mecanicamente e a palhada da cana, que é triturada no processo da colhedora, é depositada em campo. Esta palha pode contribuir para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, favorecendo as condições para a germinação, emergência e estabelecimento da cultura (Varella, 1999), além de apresentar benefícios na retenção da umidade do solo (Peres et al., 2010) e controle de daninhas (Silva e Monquero, 2013) a porosidade e a infiltração de água (Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

Também, de acordo com Garbiate et al., (2011), Rosin et al. (2012) e Vishi Filho et al. (2015), a palha depositada no solo na colheita mecanizada pode minimizar o efeito das operações mecânicas realizadas na área com a cana-de-açúcar. O resíduo vegetal da cultura depositado na superfície do solo, não somente contribui para minimizar o impacto das operações, como também interfere positivamente nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (Souza et al., 2014).

Em um ambiente natural, a construção do solo é realizada ao longo do histórico desta área intacta, que se iniciou com plantas de pequeno porte até as grandes plantas, com deposição de matéria orgânica por serapilheiras e estímulo da construção da estrutura do solo e bioporos pela degradação da matéria orgânica realizado pelos microrganismos do solo.

Para o estudo da estrutura do solo, a formação e a estabilidade de agregados são atributos que podem caracterizar o processo e foram descritos por Doran e Parkin (1994) como atributos alteráveis com o manejo do solo e também são indicativos de qualidade física do solo (Stefanoski et al., 2013) por meio de sua mensuração laboratorial.

Emerson (1959); Edwards e Bremner (1967) estudaram detalhadamente o processo de agregação no solo e desenvolveram um modelo que auxiliam nos dias atuais para a compreensão do processo. O primeiro autor considera que a formação de microagregados está associada entre o domínio das argilas e matéria orgânica no solo, sendo a proteção da matéria orgânica proporcional à área superficial dos domínios.

Edwards e Bremner (1967) afirmam que as formações de microagregados originam-se da reação entre moléculas orgânicas, cátions polivalentes (Fe, Al e Ca) e partículas de argila.

Também, Tisdall e Oades (1982) estudaram as interações dos agregados e a matéria orgânica. Estes autores afirmam que, em uma hierarquia de agregados, as partículas livres no solo e agregados menores que 20 μm são unidos por agentes ligantes de natureza forte, podendo ser a matéria orgânica humificada, complexos de cátions de metal polivalentes óxidos e aluminossilicatos altamente desordenados, formando microagregados (20-250 μm). Esses microagregados estáveis podem se unir com outros agregados de mesmo tamanho, através de ligantes de menor força de tração, podendo ser raízes, hifas de fungos, polissacarídeos microbianos e de plantas e agentes transitórios, formando macroagregados (> 250 μm).

Como mencionado anteriormente, o manejo do solo está interligado ao processo de formação e estabilidade destes agregados, pois as atividades mecânicas intensivas podem desestabilizar o solo com a passagem de máquinas agrícolas, proporcionando a maior aproximação entre partículas, promovendo agregados não estáveis, reduzindo a porosidade, aeração e, conseqüentemente, causando a compactação do solo.

Vezzani e Mielniczuk (2009) descreveram a importância dos agentes ligantes no processo de agregação do solo. Estes autores relatam que, quando o ambiente de produção agrícola permite o maior aporte de compostos de natureza orgânica oriundo da cultura plantada, a matéria orgânica é degradada pelos microrganismos do solo, conseqüentemente há a liberação de exsudatos que atuam na formação e estabilidade de agregados.

Portanto, por fazerem parte da estrutura do solo, os agregados são primordiais para manutenção da aeração, infiltração e retenção de água disponível para as plantas, que favorecem o crescimento da cultura, desenvolve a microbiota do solo e controla as possíveis erosões que possam acontecer neste solo (Oades, 1984; Dexter, 1988).

Assim, a palha da cana-de-açúcar depositada no solo pode trazer benefícios a estrutura do solo, como descreve Lopes et al. (2017), que avaliaram quatro tratamentos de palha no solo (0%, 25%, 50% e 100% de palha no solo) em um Latossolo Vermelho

de textura arenosa (843 g kg⁻¹ de areia e 30 g kg⁻¹ de argila). Estes autores identificaram maior quantidade de agregados nos tratamentos com maior volume de palha (aproximadamente 35 e 28% do total de agregados foram aqueles com diâmetro de 4 a 2 milímetros nos tratamentos com 100 e 50% de palha, respectivamente).

Também, Lopes et al. (2017) reitera que o carbono estava presente em maior quantidade nos agregados de maior diâmetro (maiores nas classes com diâmetro de 4 a 2 milímetros e 2 a 1 milímetros com teores de carbono de 12,5 e 12,4 g kg⁻¹, respectivamente), demonstrando o efeito benéfico da palha para o processo de estruturação do solo.

Oliveira et al. (2010) avaliaram quatro sistemas de manejo (mata nativa, cana-de-açúcar com vinhaça, cana-de-açúcar com irrigação e cana-de-açúcar sem irrigação) em três camadas de um Argissolo Amarelo distrocoeso. Os autores observaram que o carbono foi mais expressivo nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de todos os manejos, contribuindo para formação de agregados de maior diâmetro e maior estabilidade dos agregados, seguindo a ordem decrescente dentre os tratamentos: mata nativa, cana-de-açúcar com vinhaça, cana-de-açúcar com irrigação e cana-de-açúcar sem irrigação.

Estudos como o de Oliveira et al. (2010) evidenciaram o efeito da matéria orgânica no solo, uma vez que são essenciais para o estímulo do crescimento e desenvolvimento da comunidade microbiana que degradam o resíduo vegetal, se multiplicam (Tavares et al.; 2015) e adicionam exsudatos orgânicos ao solo que favorecem a agregação.

Vicente et al. (2012) reforça a teoria do efeito da matéria orgânica na estrutura do solo, demonstrando correlações diretamente proporcionais entre a estrutura do solo com o carbono no solo em diferentes granulometrias e com os manejos: com vinhaça e palha; sem vinhaça; com palha no solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de produção de cana-de-açúcar (C) e mata nativa (MN) estão localizadas no bioma do cerrado, próximo as coordenadas de latitude 21° 04' 05" e longitude 48° 05' 13". O solo destas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) (Embrapa, 2013) e a caracterização granulométrica foi realizado segundo metodologia da Embrapa (2017). O clima da região foi caracterizado como Cwa - tropical úmido com inverno seco e verão úmido, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares et al., 2014).

Tabela 1: Frações granulométricas nas três camadas de solo sob cultivo de cana-de-açúcar e mata nativa.

Áreas	Camadas (m)	Argila (g kg ⁻¹)	Areia (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)
Cana-de-açúcar	0,00-0,05	161,6	612,2	226,2
	0,05-0,10	171,3	603,3	225,4
	0,10-0,25	186,0	590,4	223,6
Mata Nativa	0,00-0,05	197,2	707,5	95,3
	0,05-0,10	214,1	687,1	98,8
	0,10-0,25	240,2	657,2	102,6

Esta área foi reformada na safra 2009/2010 em janeiro com erradicação química e, posteriormente, o solo foi preparado com subsolador para rompimento de camadas compactadas em até 40 centímetros e grade pesada, com discos de 32" para destorroamento. Em seguida, foi plantado a cultivar RB85-5156 (*Saccharum officinarum* spp.) e adubada com o formulado 10-25-25 na dose de 500 Kg ha⁻¹. Durante o manejo de cana planta e soca, não foi utilizado nenhum resíduo industrial (vinhaça e torta de filtro). Após os cortes, foi realizado adubação mineral com dosagem de acordo com a produtividade da área. A amostragem do solo ocorreu logo após as primeiras chuvas em outubro de 2017 na área de mata nativa e após a colheita do sétimo corte da cultura na safra 2017/2018.

Com o auxílio de um enxadão, foram coletados trinta pontos em cada área (C e MN) nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,25 m de profundidade. Estas amostras

deformadas foram submetidas a um conjunto de peneiras para retirada de três frações granulométricas. A primeira fração, ainda úmida, foi retirada das peneiras com malhas entre 6 e 4 mm de diâmetro e a segunda fração foi seca ao ar e depois peneirada para extrair amostras com diâmetros entre 2 e 1 mm. Em seguida, uma terceira fração foi retirada de terra fina seca ao ar após passar em peneira com malha de 2 mm.

A primeira fração da amostra foi submetida a análise de diâmetro médio ponderado (DMP) (Nimmo e Perkins, 2002). Posteriormente, por meio de dados obtidos no DMP, foram calculadas as porcentagens de classes de agregados subdivididos em: agregados com diâmetro maior que 4 mm (%AG>4); agregados com diâmetro entre 4 e 2 mm (%AG4-2); agregados com diâmetro entre 2 e 1 mm (%AG2-1); agregados com diâmetro entre 1 e 0,5 mm (%AG1-0,5); agregados com diâmetro entre 0,5 e 0,25 mm (%AG0,5-0,25) e agregados com diâmetro entre 0,25 e 0,125 mm (%AG0,25-0,125).

A segunda fração da amostra foi utilizada para determinação do índice de estabilidade de agregados (IEA) (Nimmo e Perkins, 2002). A terra fina seca ao ar foi utilizada para determinação do carbono orgânico (CO), segundo a Embrapa (2017), e carbono orgânico particulado (COP) de acordo com a metodologia proposta por Cambardella e Elliot (1992). O carbono orgânico associado aos minerais (COAM) foi resultante da subtração entre o CO e COP.

Os dados foram submetidos a estatística descritiva com nível de confiança de 95%. Em seguida, o conjunto de dados foram analisados por meio de técnicas estatísticas multivariadas, mais especificamente, a análise de fatores, que permite relacionar um conjunto de variáveis limitado em fatores. Através desta ferramenta, as variáveis se correlacionam em fatores e a covariância dos fatores representa quão o fator descreve um processo (Milstein et al., 2005). Para este experimento, o fator demonstra um processo que acontece no solo e estas variáveis podem estar diretamente ou inversamente relacionadas. Dentro de cada processo, valores com o mesmo sinal possuem correlações direta e, com sinais contrários, possuem correlação inversa. As variáveis somente se correlacionam se elas tiverem alta carga dentro de um mesmo processo e os fatores determinados estatisticamente são independentes um do outro, com distribuição normal, médias e variâncias iguais a 0 e 1, respectivamente.

Em seguida, os scores dos fatores de cada amostra foram testados pelo General Linear Models (GLM) em uma análise de variância (teste F a 5% de significância). Os fatores significativos para o teste F ($p < 0,05$) foram analisados através do teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise multivariada demonstraram a existência de dois fatores pertinentes ao conjunto de dados. No primeiro fator (P1), o DMP, %AG>4, %AG4-2, %AG2-1, %AG1-0,5, %AG0,25-0,125 e %AG0,25-0,125 foram as variáveis que influenciaram no processo. Este fator pode ser correlacionado com a formação de agregados no solo, sendo que as duas primeiras variáveis são diretamente proporcionais e o restante são inversamente proporcionais. Este explica 62,85% da variância total do conjunto de dados (Tabela 2).

Tabela 2: Coeficiente de correlação da análise de fatores dos atributos do solo com dois fatores (P1 e P2).

Atributos do Solo	P1	P2
Carbono Orgânico Particulado (COP)	0,40	-0,27
Carbono Orgânico Associado aos Minerais (COAM)	0,42	-0,79
Índice de Estabilidade de Agregados (IEA)	0,39	-0,81
Diâmetro Médio Ponderado (DMP)	0,90	0,10
Agregados com diâmetro maior que 4 mm (%AG<4)	0,74	0,14
Agregados com diâmetro entre 4 e 2 mm (%AGR4-2)	-0,94	-0,11
Agregados com diâmetro entre 2 Agregados e 1 mm (%AG2-1)	-0,97	-0,12
Agregados com diâmetro entre 1 e 0,5 mm (%AGR1-0,5)	-0,98	-0,13
com diâmetro entre 0,5 e 0,25 mm (%AGR0,5-0,25)	-0,92	-0,18
Agregados com diâmetro entre 0,25 e 0,125 mm (%AGR0,25-0,125)	-0,90	-0,06
*Variância Relativa (%)	62,85	14,72

* Variância Relativa infere sobre a porcentagem de variação do grupo de dados quanto ao processo.

O fator 1 (P1) foi caracterizado como a formação de agregados pois, no solo, para que as partículas se unam, a pressão exercida pelas raízes aproxima as partículas e podem formar os agregados (Kiehl, 1979), possivelmente atuantes neste processo. Brandão e Silva (2012) avaliaram o efeito da forrageira *Brachiaria ruziziensis* na formação e estabilidade de agregados em um Nitossolo Vermelho de textura média (432 g kg⁻¹ de argila e 373 g kg⁻¹ de areia) com e sem a gramínea. Os autores observaram que o enraizamento da cultura foi benéfico principalmente para o acréscimo de macroagregados em comparação a um solo sem a presença da *Brachiaria*, devido a densa presença das raízes característico desta espécie vegetal.

Este estudo também corrobora Silva e Mielniczuk (1997) que estudaram a agregação em dois solos de textura argilosa com cultivo de gramíneas e verificaram que o principal responsável para formação de agregados foram as raízes, pois elas promoveram a aproximação das partículas. Por forças de atração, os agregados se unem a outros agregados, formando maior quantidade de agregados maiores e menor quantidade de agregados menores e assim, estruturando o solo (Tisdall e Oades, 1983).

Em relação ao segundo fator (P2) da análise multivariada, as variáveis envolvidas foram o IEA e COAM e ambas são diretamente proporcionais. Este fator explicou 14,72% da variância dos dados totais e, de acordo com as variáveis envolvidas nele, pode ser caracterizado como a estabilidade de agregados no solo. Para que o agregado apresente estabilidade, é necessário que ele seja resistente a ações mecânicas e que as ligações de sua área de contato sejam fortes o suficiente para resistir a forças desagregadoras. Para que o agregado apresente esta estabilidade, um dos principais fatores que contribuem para tal é o carbono no solo (Kiehl, 1979; Munner e Oades, 1989; Soane, 1990; Palmeira et al., 1999). Por isso, o segundo fator da análise apresentou correlação direta entre o IEA e COAM, ou seja, quanto maior a presença deste carbono, maior a estabilidade do agregado.

Estudo como de Corrêa et al. (2009) demonstram o benefício do carbono para a estabilidade de agregados. Estes autores avaliaram o IEA e carbono de um Latossolo Vermelho distrófico de textura média, submetidos a quatro tipos de resíduos orgânicos para uso no sistema de plantio direto e em quatro camadas (0,00-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m), sendo eles: lodo de esgoto centrifugado, lodo de biodigestor, escória de aciaria, lama cal e testemunha. Para a estabilidade de agregados e carbono orgânico, todos os tratamentos foram superiores a lama cal devido ao conteúdo de material orgânico superior contido nestes resíduos. Isso demonstra que os materiais orgânicos adicionados nos solos contribuem para a atividade microbológica do solo, liberação de agentes ligantes pelos microrganismos e promove maior estabilidade aos agregados, principalmente em profundidade, pois são

resíduos que contém água e podem carrear no perfil do solo, podendo carregar o carbono em subsuperfície.

Vasconcelos et al. (2010) avaliaram a adição de vinhaça (V) e vinhaça e torta de filtro (VT) em um Latossolo Amarelo distrocoeso de textura média/argilosa (561 g kg⁻¹ de areia e 300 g kg⁻¹ de argila) com cana-de-açúcar e os efeitos na estabilidade de agregados em comparação a mata nativa (MN) de mesmo solo e textura em até 0,60 metros de profundidade, subdividido em camadas de 0,20 metros. Neste estudo, a estabilidade de agregados foi estatisticamente superior no solo da MN, decrescendo nos tratamentos VT e V, 78,3%, 68,3% e 62,1% de IEA, respectivamente, em 0,00-0,20 m. Estes resultados demonstraram o efeito benéfico da matéria orgânica no solo para a estabilidade de agregados em superfície. Neste estudo, houve correlação diretamente proporcional do carbono no solo e IEA, pois a presença de microrganismos, os quais utilizam da matéria orgânica para sua multiplicação produzem substâncias que atuam como agentes estabilizadores ou funcionam como rede envolvendo os agregados do solo, assim como as hifas dos fungos associadas às pequenas raízes, são importantes para tal processo de estabilidade de agregados (Castro Filho et al., 1998; Mielniczuk, 1999; Azevedo e Dalmolin, 2004).

Também, Demarchi et al. (2011) avaliaram os atributos físicos e químicos em solos de diferentes classes (Latossolo, Nitossolo e Argissolo) submetidos a diferentes tipos de manejos e a qualidade estrutural decresceu de acordo com os manejos: pastagem, mata nativa, cultivo de soja em rotação de culturas de inverno, cana-de-açúcar e solo urbano, respectivamente. Estes autores mencionam que a agregação teve uma relação direta ao aporte e manutenção da matéria orgânica dos solos com resíduos vegetais, uma vez que esta foi essencial para a qualidade estrutural do solo.

Em seguida, os scores de cada amostra foram submetidos à análise de variância fatorial para analisar se houve efeito entre os tratamentos e camadas entre os dois fatores determinados pela técnica multivariada. Assim, no primeiro fator, caracterizado como a “formação de agregados”, foi observado efeito significativo somente das camadas (Tabela 3).

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) do fator 1 denominado “formação de agregados”.

Causas da Variação	GL	SQ	QM	F1	P
Áreas	1	1,47	1,47	2,50	0,12 ^{ns}
Camadas	2	75,39	37,69	64,25	0,00*
Áreas x Camadas	2	0,05	0,03	0,04	0,96 ^{ns}
Resíduo	174	102,09	0,59		
Total	179	179			

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F1 = Estatística F para fator 1 (P1); P = Valor P; * = As camadas diferem entre si segundo o teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo segundo o teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Para este estudo, as áreas não foram estatisticamente diferentes quanto à formação dos agregados no teste F a 5% de significância ($p < 0,05$). Provavelmente isso aconteceu porque a palha da cana depositada no solo foi suficiente para promover a formação de agregados semelhantes a da mata nativa, demonstrando o efeito benéfico da palha para a estrutura do solo. Também, notou-se na estatística descritiva que todas as classes de agregados foram estatisticamente iguais entre as áreas (Figura 1), assim como o DMP (Figura 2a), o que reforçam a teoria do benefício da palha para a formação de agregados.

Este fato também foi descrito por Rosetti et al. (2014), que avaliaram a formação e estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho distrófico típico (700 g kg⁻¹ de areia e 260 g kg⁻¹ de argila) sob mata nativa e em função de três ciclos do canavial (primeiro, sétimo e oitavo corte) em três camadas (0-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m). Estes autores também evidenciaram que, em cada camada, as classes de agregados foram estatisticamente semelhantes no sétimo e oitavo corte e mata nativa, semelhante ao que foi apresentado neste trabalho. Os autores daquele estudo concluíram que o material vegetal inserido pelo histórico de cortes da cana no solo em que ela foi cultivada pode contribuir significativamente para a formação de agregados.

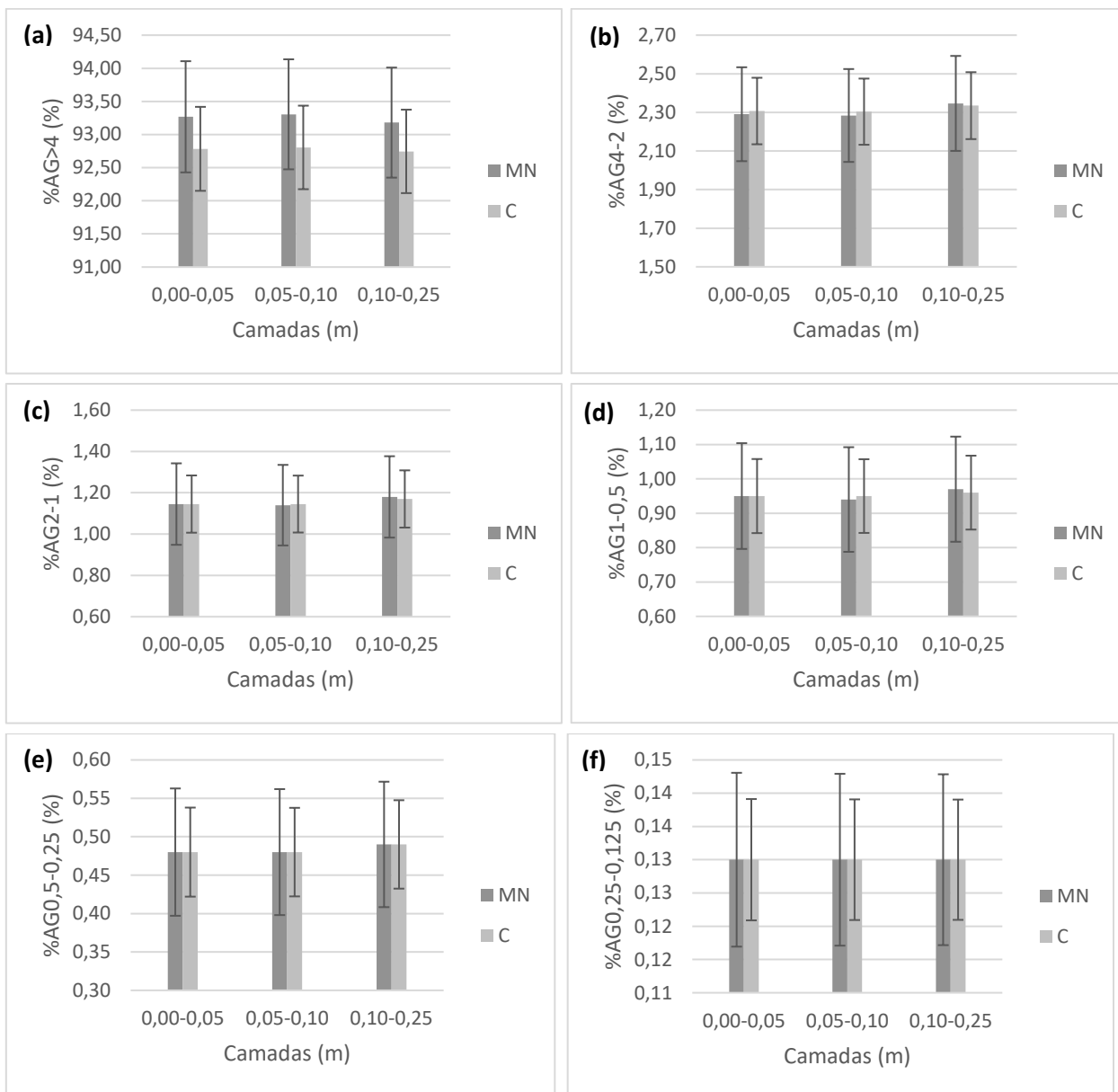


Figura 1: Médias e erro padrão da média dos atributos agregados com diâmetro maior que 4 mm (a), agregados com diâmetro entre 4 e 2 mm (b), agregados com diâmetro entre 2 e 1 mm (c), agregados com diâmetro entre 1 e 0,5 mm (d), agregados com diâmetro entre 0,5 e 0,25 mm (e), agregados com diâmetro entre 0,25 e 0,125 mm (f) nas áreas de mata nativa (MN) e Cana-de-açúcar (C) e camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,25 m de profundidade.

Para o teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$) do primeiro fator, os scores das camadas para a “formação de agregados” foram estatisticamente diferentes

seguindo a ordem: 0,00-0,05 m > 0,05-0,10 m > 0,10-0,25 m, scores de 0,65, 0,24 e - 0,88, respectivamente. Na área de mata nativa, a agregação pode ter ocorrido pela presença das raízes na camada superficial e subsuperficial, sendo decrescente ao longo do perfil do solo a qual ela se encontra, promovendo a aproximação entre as partículas e formando agregados (Calonego e Rosolem, 2008). Em um ambiente de produção de cana-de-açúcar há, além do efeito das raízes da cultura, a ação antrópica com as operações mecanizadas que podem promover a aproximação entre os agregados (Vishi Filho et al., 2015).

Rossetti et al. (2014) demonstraram que o DMP na mata nativa não apresentou diferença estatística entre as camadas avaliadas, diferente do sétimo e oitavo ciclo do canal onde apresentou diferença estatística, sendo 0-0,10 m > 0,10-0,20 m > 0,20-0,30 m. Segundo os autores, a adição de palhada promoveu a formação de agregados maior em superfície, decrescendo sua influência em profundidade.

Fontana et al. (2010) avaliaram a relação da agregação e substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos do tabuleiro costeiro e verificaram maiores valores de DMP em áreas de floresta comparado a pastagens e cana-de-açúcar. No entanto, Garbiate et al. (2011), que avaliaram um Latossolo Vermelho distrófico de textura média em área cultivada com cana crua e queimada através de atributos físicos do solo, reiteraram que o sistema de produção de cana crua com palha depositada em campo apresentou valores de DMP superiores ao da cana queimada. Isso demonstrou que o tráfego de máquinas pode ser minimizado através da estabilidade estrutural e com cobertura de resíduos vegetais.

Quanto ao fator 2, houve diferença significativa para o tratamento e camada, além da diferença significativa para a interação avaliada (Tabela 4).

Tabela 4: Análise de variância (ANOVA) do fator 2 denominado “estabilidade de agregados”.

Causas da Variação	GL	SQ	QM	F2	P
Áreas	1	95,33	95,33	276,72	0,00*
Camadas	2	17,35	8,67	25,18	0,00*
Áreas x Camadas	2	6,39	3,19	9,27	0,00*
Resíduo	174	59,94	0,34		
Total	179	179			

GL = Graus de liberdade; SQ = Soma de quadrados; QM = Quadrado médio; F1 = Estatística F para fator 2 (P2); P = Valor P; * = As camadas diferem entre si segundo o teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ns = não significativo segundo o teste F a 5% de probabilidade ($p < 0,05$).

Segundo o teste de Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$), para a interação entre as áreas e camadas avaliadas, a mata nativa foi superior a cana-de-açúcar na estabilidade de agregados e não demonstrou diferença estatística entre as camadas. Em seguida, a camada de 0,00-0,05 m da área de cana-de-açúcar se mostrou superior as camadas de 0,05-0,10 e 0,10-0,25 m da área com cana-de-açúcar. Por fim, as duas camadas mencionadas anteriormente da área com cultivo de cana foram estatisticamente semelhantes (Tabela 5).

Tabela 5: Teste de média (Tukey a 5% de significância) da estabilidade de agregados da interação das áreas de estudo e camadas do solo.

Áreas	Camadas (m)	Scores	
Mata Nativa	0,00-0,05	-0,90	A
Mata Nativa	0,10-0,25	-0,75	A
Mata Nativa	0,05-0,10	-0,53	A
Cana-de-açúcar	0,00-0,05	0,03	B
Cana-de-açúcar	0,05-0,10	1,05	C
Cana-de-açúcar	0,10-0,25	1,10	C

Estes resultados corroboram Souza et al. (2006) que analisaram a estabilidade de agregados e matéria orgânica em um Latossolo Vermelho eutroférico argiloso (504, 536, 581 e 593 g kg⁻¹ de argila nas camadas em até 0,40 metros de profundidade estratificado em camadas de 0,10 metros) em áreas com colheita de cana crua e mata

nativa. Os resultados destes autores evidenciam que todas as camadas da mata nativa foram semelhantes em carbono e IEA. Porém, estas camadas foram superiores ao manejo de cana crua e este comportamento foi observado em ambos os atributos avaliados. Isso é justificado pela maior presença de raízes nas camadas superficiais e da presença do material vegetal depositado no solo que atuam na estabilização dos agregados.

Vasconcelos et al. (2010) afirmam que o processo de estabilidade de agregados está correlacionado com o teor de matéria orgânica no solo em que, à medida que o carbono orgânico diminui em profundidade, seja pelo revolvimento excessivo do solo ou pelo baixo aporte de material orgânico, decresce a estabilidade de agregados. Para o presente estudo, uma vez que a palha do solo depositada nos cortes não é revolvida e dependente da atividade lenta da microbiota do solo (Yamaguchi, 2015), mesmo com sete deposições de palhadas por corte, a quantidade de COP (Figura 2b) em ambas as áreas foram semelhantes, independentemente das camadas. No entanto, o COAM (Figura 2c), principal atuante na agregação, foi diferente nas áreas e camadas, evidenciando a longa construção da estrutura do solo de uma mata nativa frente a uma área com a cultura da cana de açúcar, resultando em IEA (Figura 2d) estatisticamente diferentes.

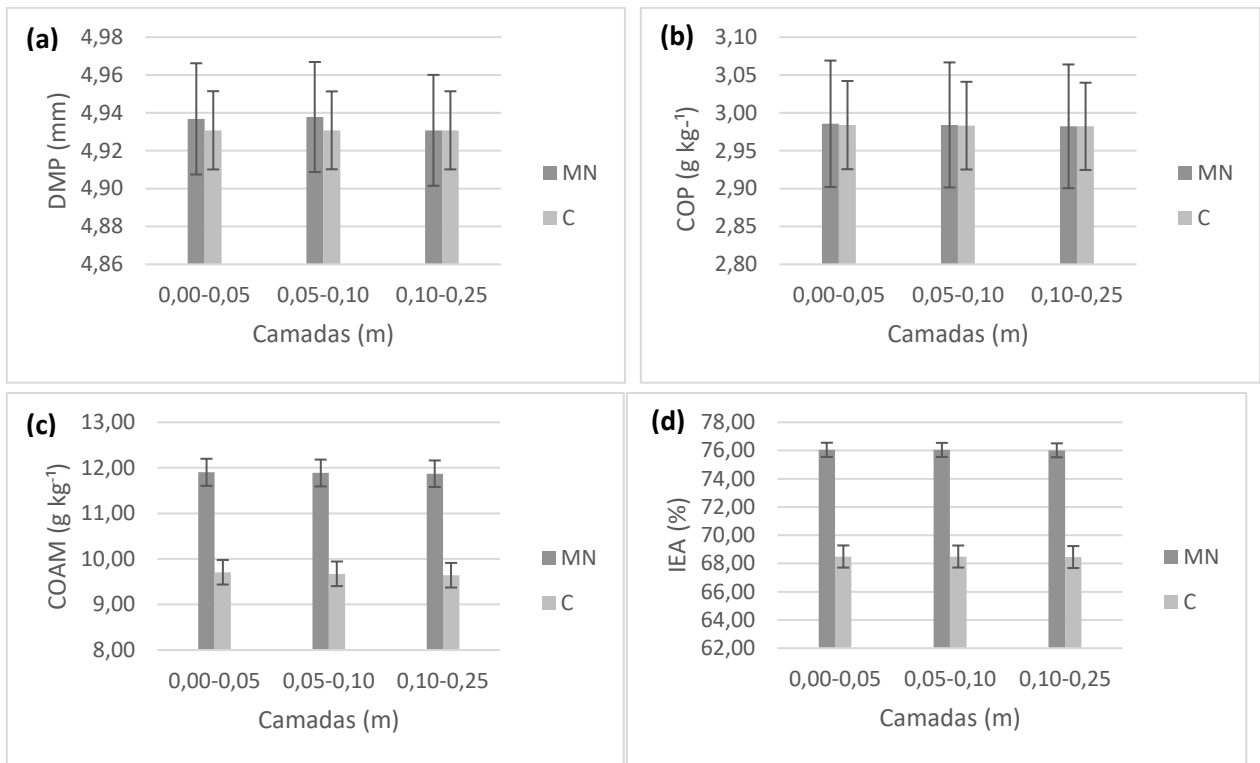


Figura 2: Médias e erro padrão da média dos atributos carbono orgânico particulado (a), carbono orgânico associado aos minerais (b), diâmetro médio ponderado (c) e índice de estabilidade de agregados (d) nas áreas de mata nativa (MN) e Cana-de-açúcar (C) e camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,25 m de profundidade.

Em um ambiente de produção de cana-de-açúcar, há operações mecanizadas que incorporam esta palha advinda da cultura somente até o plantio, sendo as mais importantes: subsolagem e a sulcação. Estas operações agrícolas possibilitam que o material seja incorporado no solo até 40 centímetros de profundidade, permitindo um maior contato da palha com o solo nesta camada (Carvalho et al., 2014). Na cana soca, poucas operações possibilitam tal incorporação deste material vegetal, residindo maior parte do tempo em superfície, situação encontrada neste estudo. Na mata nativa, há a inserção constante de material vegetal em superfície durante um longo histórico, além das raízes mortas em subsuperfície, que entram em decomposição em profundidade (Souza et al., 2006; Rossetti et al., 2014). Em todas as áreas avaliadas, a ação da fauna do solo foi degradar o material vegetal adicionado por meio dos microrganismos existentes no solo, refletindo em decréscimo do teor de matéria orgânica e aumento de

carbono. Assim, onde possivelmente poderá ocorrer o maior aporte de material vegetal será em superfície, decrescendo sua quantidade em profundidade.

O evento descrito foi demonstrado por Popin (2017) em um Nitossolo Vermelho eutroférico típico de textura argilosa com diferentes volumes de palha da cana e em três camadas subdividas entre 0,10 metros. O autor descreve que a maior entrada de carbono no solo foi na superfície (em média de 20 g kg^{-1}), decaindo em subsuperfície (média de 17 g kg^{-1} na camada de 0,20-0,30 metros). Devido a área ser de primeiro corte, o solo foi submetido a atividades de preparo do solo e plantio há, no mínimo, um ano após a amostragem. Porém, como o processo de estabilização da matéria orgânica é lenta (Yamaguchi, 2015), as alterações no estoque podem seguir o mesmo ritmo, sobretudo, gradual ao longo dos cortes (Cerri et al., 2011).

Apesar de que houve diferença no segundo fator entre a mata e cana, a camada que mais se assemelha a mata é a superficial (0,00-0,05 metros). Portanto, pode-se inferir que o efeito da palhada no solo para as áreas de cana podem ser uma estratégia para manutenção do carbono neste sistema (Conceição et al., 2013) e conseqüentemente, na contribuição para a estrutura do solo, principalmente para a estabilidade de agregados.

Pesquisas como a de Carvalho et al. (2017a), Oliveira et al. (2017) demonstram por meio de modelagens que a remoção total em campo da palhada para outros fins como a produção de etanol de segunda geração ou produção de energia elétrica impacta negativamente o estoque de carbono no solo. A retirada da palhada do solo para esta finalidade, não somente prejudica o estoque de carbono, mas leva a uma série de conseqüências. Com o solo exposto e sem palha, pode acarretar aumento da densidade do solo e resistência à penetração (Souza et al., 2014; Souza et al., 2015), diminuição da porosidade do solo, do poder de agregação, da disponibilidade de água, acarretando no decréscimo da produtividade, além da perda da água por escoamento superficial e perda do solo por erosão (Carvalho et al., 2017b).

Assim, pode-se inferir que a palha da cana-de-açúcar em superfície desempenha função essencial para contribuir na estrutura do solo, principalmente na estabilidade dos agregados a 5 cm de profundidade.

5. CONCLUSÃO

- A formação de agregados foi semelhante nas áreas de mata nativa e cana-de-açúcar, somente diferindo-se entre as camadas avaliadas, decrescendo ao longo do perfil avaliado.
- A estabilidade de agregados na mata nativa se mostrou superior a área com produção de cana-de-açúcar.
- A camada da área agrícola que mais se aproxima a situação da estrutura do solo da mata nativa foi a camada superficial com cana.
- A palhada no campo pode ser uma estratégia promissora para manutenção do carbono no solo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares CA, Stape JS, Sentelhas PC, Golçalves JLM, Sparovek G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 2014, 22, 6, 711–728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Arantes HP. **Atributos físico-hídricos do solo após colheita mecanizada de cana-de-açúcar** [Dissertação de Mestrado]. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados; 2015.

Azevedo AC, Dalmolin RSD. Solos e Ambiente: uma introdução. Santa Maria: **Pallotti**, 2004.

Blanco-Caqui H, Ruis SJ (2018) No-tillage and soil physical environment. **Geoderma** 326:164-200. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>

Brandão ED, Silva I de F da. Formação e estabilização de agregados pelo sistema radicular de braquiária em um Nitossolo Vermelho. **Cienc. Rural** [online]. 2012, 42 (7), 1193-1199. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000700009>.

Braunbeck OA, Magalhães PSG. Avaliação Tecnológica da Mecanização da Cana-de-Açúcar, Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para Produtividade e Sustentabilidade, São Paulo: **Ed. Blucher**, 2010.

Calonego JC, Rosolem CA. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **R. Bras. Ci. Solo**. 2008, 32, 1399-1407. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400004>.

Cambardella CA, Elliott ET. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**. 1992, 56, 777-783. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>.

Carvalho JL, Hudiburg TW, Franco HC, DeLucia EH. Contribution of above-and belowground bioenergy crop residues to soil carbon. **GCB Bioenergy**. 2017b, 9, 1333-1343. <http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12411>.

Carvalho JL, Nogueirol RC, Menandro LM, Bordonal R, Borges CD, Cantarella H, Franco HC. Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review. **GCB Bioenergy**. 2017a, 9, 1181-1195. <http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12410>.

Carvalho LA de, Resende I da S, Panachuki E, Silva Júnior CA da, Novak E, Silva GFC. Variáveis físicas do solo e produtividade de cana-de-açúcar sob sistemas de preparo na reforma de canavial. **Agrarian Academy**. 2014, 1 (1), 259-274.

Castro Filho C, Muzilli O, Podanoschi AL. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico em um Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 1998, 22 (3), 527- 538. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000300019>.

Cerri CC, Galdos MV, Maia SM, Bernoux M, Feigl BJ, Powlson D, Cerri CEP. Effect of sugarcane systems on soil carbono stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**. 2011, 62 (1), 23-28. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>.

Conceição PC, Dieckow J, Bayer C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research**. 2013, 129, 40-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.01.006>.

Corrêa JC, Bull LT, Crusciol CAC, Moraes MH. Alteração de atributos físicos em Latossolo com aplicação superficial de escória de aciaria, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2009, 33 (2), 263-272. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000200004>.

Demarchi JC, Perusi MC, Piroli EL. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo-SP, sob diferentes

tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. 2011, 4 (2), 7-29. <http://dx.doi.org/10.5777/paet.v4.n2.01>.

Dexter AR (1988) Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research** 11:199-238.

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coeman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (Eds.). Defining soil quality for sustainable environment. Madison. **Soil Science Society of America**, p.3-21.

Edwards AP, Bremner JM. (1967) Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science** 18:64-73.

Emerson WW (1959) Stability of soil crumbs. **Nature** 183:538.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2017.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Solos; 2013.

Fontana A, Brito RJ de, Pereira MG, Loss A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 2010, 5, 291-297. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v5i3a461>.

Garbiate MV, Vitorino ACT, Tomasini BA, Bergamin AC, Huki EP. Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2011; 35;2145-2155.

Horii J. **A cana-de-açúcar como matéria-prima**. Piracicaba: Visão Agrícola, 2004.

Kiehl EJ. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres; 1979.

Lopes IM, Ziviani MM, Pinto LAS, Pinheiro EFM, Weber H, Pereira M G, Lima E, Campos DVB. Agregação e Distribuição do Carbono nos Agregados de Latossolo

Vermelho sob Diferentes Níveis de Palhada da Cana-de-Açúcar em Paranavaí (PR). **Rev. Virtual Quim.** 2017; 9 (5); 1985-1995. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170117>

Mielniczuk J. Importância do estudo de raízes no desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis. In: workshop sobre sistema radicular: metodologias e estudo de caso; 1999; Aracaju, Sergipe: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 1999. p.13-17.

Milstein A, Islam MS, Wahab MA, Kamal AHM, Dewan S. Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International.** 2005, 13, 501-518. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-005-9001-6>

Munner M, Oades JM. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanics and models. **Aus. J. Soil Res.** 1989, 27, 411-423. <http://dx.doi.org/10.1071/SR9890401>.

Nimmo JR, Perkins KS. Aggregate stability and size distribution. **Soil Science Society of America Journal.** 2002, 5, 317-328.

Oades JM (1984) Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil** 76:319-337.

Oliveira DM, Williams S, Cerri CE, Paustian K. Predicting soil C changes over sugarcane expansion in Brazil using the DayCent model. **GCB Bioenergy.** 2017, 9, 1436-1446. <http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12427>.

Oliveira VS, Rolim MM, Vasconcelos RFB, Pedrosa EMR. Distribuição de Agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** 2010, 14, 907-913. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000900001>.

Palmeira PRT, Pauletto EA, Teixeira CFA, Gomes AS, Silva JB. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 1999, 23 (2), 189-195. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831999000200001>.

Peres JG, Souza CG, Lavorenti NA. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Eng. Agríc.** 2010, 30 (5), 875-886. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000500010>.

Popin GV. **Efeito do manejo da palha de cana-de-açúcar nas relações solo-planta em Igarapu do Tietê – SP.** [Dissertação de Mestrado]. Piracicaba: USP/ESALQ; 2017.

Rosim DC, de Maria IC, e Silva RL, da Silva AP. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférrico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. **Bragantia.** 2012;71; 502-508. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052013005000003>.

Rossetti K de V, Teixeira D de B, Reis IMS, Centurion JF. Agregação de um Latossolo em função de diferentes ciclos de cultivo de cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. **Revista Agro@ambiente On-line.** 2014, 8 (1), 10-17. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v8i1.1438>.

Silva IF, Mielniczuk J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 1997, 21 (2), 113-117.

Silva PV da; Monquero PA. Influência da palha no controle químico de plantas daninhas no sistema de cana crua. **Revista Brasileira de Herbicidas.** 2013, 12 (1), 94-103. <http://dx.doi.org/10.7824/rbh.v12i1.235>.

Soane B. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil & Tillage Research.** 1990, 16 (1), 179-201. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(90\)90029-D](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(90)90029-D).

Souza FCA. **Atributos físicos de solos submetidos à escarificação na linha de plantio e em área total para cultivo da cana-de-açúcar** [Dissertação de Mestrado]. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; 2016.

Souza GS de, Souza ZM de, Cooper M, Tormena CA. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola.** 2015, 72, 270–277. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0078>.

Souza GS, Souza ZM, Silva RB, Araújo FS, Barbosa RS, Araújo FS. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2014;38;135-146. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100013>.

Souza ZM de, Beutler NA, Prado R de M, Bento MJC. Efeito de sistemas de colheita de cana-de-açúcar nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho. **Científica**. 2006, 34 (1), 31-38. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2006v34n1p31+-+38>.

Stefanoski DC, Santos GG, Marchão RL, Petter FA, Pacheco LP (2013) Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:1301-1309.

Tavares RLM, Farhate CVV, Souza ZM, La Scala Júnior, N, Torres JLR, Campos MCC. Emission of CO₂ and soil microbial activity in sugarcane management systems. **African Journal of Agricultural Research**. 2015, 10 (9), 975-982. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2014.9351>.

Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science** 33:141-163.

Tisdall JM, Oades JM. Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**. 1983, 33, 141-163. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>.

Varella, CAA (1999) **Efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo**. 47 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Agronomia, Seropédica.

Vasconcelos RFB, Cantalice JRB, Oliveira VS, Costa YDJ, Cavalcante DM. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2010, 34, 309-316. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004>.

Vezzani FM, Mielniczuk J (2009). Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:743-755.

Vicente TF da S, Pedrosa EMR, Rolim MM, Oliveira VS, Oliveira AKS, Souza AMPL. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2012, 16, 1215-1222. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012001100010>.

Vischi Filho OJ, Souza ZM, Silva RB, Lima CC, Pereira DM, Lima ME, Sousa ACM, Souza GS. Capacidade de suporte de carga de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2015;50;322-332. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000400008>.

Yamaguchi CS. **Decomposição da palha de cana-de-açúcar em função da quantidade aportada e da aplicação de vinhaça**. [Dissertação de Doutorado]. Campinas: Instituto Agrônomo, 2015.