

## Artigo

## Agregação e Distribuição do Carbono nos Agregados de Latossolo Vermelho sob Diferentes Níveis de Palhada da Cana-de-Açúcar em Paranavaí (PR)

Lopes, I. M.; Ziviani, M. M.; Pinto, L. A. S.; Pinheiro, E. F. M.;\* Weber, H.; Pereira, M. G.; Lima, E.; Campos, D. V. B.

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 1985-1995. Data de publicação na Web: 5 de setembro de 2017

<http://rvq.sbq.org.br>

### Aggregation and Soil Carbon Aggregates Distribution in a Red Latosol under Different Levels of Sugarcane Straw in Paranavaí (PR)

**Abstract:** The objective of this work was to evaluate the impact of the application of different levels of sugarcane straw on the aggregation and distribution of organic carbon (C) in aggregate classes of a Red Latosol under mechanical harvest in Paranavaí (PR). For this study, in November 2014, after the mechanical harvesting of cane-plant (variety RB-867515), the following amounts of straw were applied to the soil: 0.00, 3.65, 7.50, and 14.85 Mg ha<sup>-1</sup> which corresponded respectively to field maintenance of 0, 25, 50 and 100% of the straw. The experimental design was a randomized block design, with 4 replicates. Approximately one year after application of straw levels on the soil, soil samples were collected in the 0-10 cm layer. In these samples the aggregate mean weight diameters (MWD), the aggregate distribution in the classes of diameters 4-2, 2-1, 1-0.5, 0.5-0.25, and 0.25- 0.105 and <0.105 mm by dry route, and the C content in these classes with the exception of class <0.105 mm. In the distribution of the aggregates, there was a predominance of the 0.25-0.105 mm group of aggregates, possibly due to the amount of fine sand (290 g kg<sup>-1</sup>) present in this sieve diameter, although within this class there was no significant effect of the levels of straw. The higher straw deposition on the soil (50 and 100%) increased the percentage of aggregates in the class 4-2 mm (25.7 and 32.0%, respectively) in relation to treatments 0 and 25% (13.5 and 22.7%, respectively), presenting significant quadratic behavior. The same effect was observed for the MWD values, with higher values in the treatments with 50 and 100% (1.65 and 1.60 mm, respectively) in relation to treatments with 25 and 0% straw (1.32 and 1.01 mm, respectively). Within each straw level, the C contents in the aggregate classes presented significant differences among them, except for the treatment with 100% straw, where in general the values were higher in the classes with diameter of 4-2 and 2-1 mm (12.5 and 12.4 g kg<sup>-1</sup>, respectively) and lower in the class 0.25-0.105 mm (6.6 g kg<sup>-1</sup>). Thus, the main conclusions were that the application of 50 and 100% (7.55 and 14.85 Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) increases the aggregation of the soil, and that the application of 50% of straw on the soil also (4-2 and 2-1 mm), which are associated to higher soil organic carbon contents (14.4 and 13.2 g Kg<sup>-1</sup>, respectively), straw level being more appropriate to keep the surface of the soil to maintain soil structure.


**Keywords:** Management of sugarcane straw; aggregation; classes of aggregates; aggregate organic carbon.

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto da aplicação de diferentes níveis de palhada da cana-de-açúcar sobre a agregação e distribuição de carbono orgânico (C) em classes de agregados de um Latossolo Vermelho, sob colheita mecânica em Paranavaí (PR). Para esse estudo, em novembro de 2014, após a colheita mecanizada de cana-planta (primeira colheita após o plantio), variedade RB-867515, foram aplicados sobre o solo as seguintes quantidades de palha: 0, 3,65, 7,55 e 14,85 Mg ha<sup>-1</sup> que corresponderam, respectivamente, à manutenção em campo de 0, 25, 50 e 100% da palha. O delineamento experimental foi de blocos casualizados, com 4 repetições. Aproximadamente um ano após a aplicação dos níveis de palha sobre o solo, amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm. Nessas amostras avaliou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados, a distribuição dos agregados nas classes de diâmetros 4-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25, e 0,25-0,105 e < 0,105 mm, por via seca, e o teor de C nessas classes com exceção da classe < 0,105 mm. Na distribuição dos agregados houve predominância da classe de agregados 0,25-0,105 mm, possivelmente devido a quantidade de areia fina (290 g kg<sup>-1</sup>) presente nesse diâmetro de peneira, contudo dentro dessa classe não verificou-se efeito significativo dos níveis de palha. As maiores deposições de palha sobre o solo (50 e 100 %) aumentaram a percentagem dos agregados na classe 4-2 mm (25,7 e 32,0 %, respectivamente) em relação aos tratamentos 0 e 25% (13,5 e 22,7 %, respectivamente), apresentando comportamento quadrático significativo. Esse mesmo efeito foi observado para os valores de DMP, com maiores valores nos tratamentos com 50 e 100% (1,65 e 1,60 mm, respectivamente) em relação aos tratamentos com 25 e 0% de palha (1,32 e 1,01 mm, respectivamente). Dentro de cada nível de palha, os teores de C nas classes de agregados apresentaram diferenças significativas entre si, com exceção do tratamento com 100% de palha, onde de maneira geral os valores foram maiores nas classes com diâmetro de 4-2 e 2-1 mm (12,5 e 12,4 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e menores na classe 0,25-0,105 mm (6,6 g kg<sup>-1</sup>). Assim, as principais conclusões foram, que a aplicação de 50 e 100% (7,55 e 14,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) aumenta a agregação do solo, e que a aplicação de 50 % de palha sobre o solo também aumenta os agregados de maiores diâmetros (4-2 e 2-1 mm), os quais estão associados aos teores mais elevados de carbono orgânico do solo (14,4 e 13,2 g Kg<sup>-1</sup>, respectivamente), sendo o nível de palha mais adequado para se manter sobre a superfície do solo visando a manutenção da estrutura do solo.

**Palavras-chave:** Manejo da palha da cana; agregação do solo; classes de agregados; carbono orgânico do agregado.

\* Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, 23.890-000, Seropédica, RJ - Brasil.

 [erika.solos@gmail.com](mailto:erika.solos@gmail.com)  
DOI: [10.21577/1984-6835.20170117](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170117)

## Agregação e Distribuição do Carbono nos Agregados de Latossolo Vermelho sob Diferentes Níveis de Palhada da Cana-de-Açúcar em Paranaíba (PR)

Iara Maria Lopes,<sup>a</sup> Meliana M. Ziviani,<sup>a</sup> Luiz Alberto da S. R. Pinto,<sup>a</sup> Érika Flávia M. Pinheiro,<sup>a,\*</sup> Heroldo Weber,<sup>b</sup> Eduardo Lima,<sup>a</sup> Marcos Gervasio Pereira,<sup>a</sup> David V. B. de Campos<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil.

<sup>b</sup> Fundação da Universidade Federal do Paraná, Av. Getúlio Vargas, 1642 Apto. 02, CEP 87704-010, Paranaíba-PR, Brasil.

<sup>c</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa em Solos, Rua Jardim Botânico, 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

\* [erika.solos@gmail.com](mailto:erika.solos@gmail.com)

*Recebido em 3 de setembro de 2017. Aceito para publicação em 3 de setembro de 2017*

### 1. Introdução

### 2. Material e Métodos

#### 2.1. Descrição da área de estudo

#### 2.2. Amostragem e análises

### 3. Resultados e Discussão

### 4. Conclusões

## 1. Introdução

No Brasil a cana-de-açúcar (*Saccharum spp* L.) ocupa aproximadamente 8,8 milhões de hectares,<sup>1</sup> de um total de 68,1 milhões de hectares destinados à agricultura,<sup>2</sup> o que corresponde a aproximadamente 12,9 % de toda a área plantada e destinada à colheita no país. Principalmente por questões ambientais, atualmente, a colheita mecânica (sem queima da palha) é a forma mais adotada no sistema de produção da cana-de-

açúcar. No sistema sem queima são adicionados sobre o solo 10-20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palha de cana-de-açúcar,<sup>3</sup> o que tem chamado atenção das usinas sucroalcooleiras para o possível recolhimento de parte ou totalidade dessa palha para cogeração de energia e/ou produção de etanol de segunda geração.<sup>4</sup>

Em estudos comparando áreas com e sem queima, sabe-se que geralmente a manutenção da palha sobre o solo traz benefícios ao sistema de produção, principalmente devido ao aumento da

matéria orgânica do solo,<sup>5-7</sup> o que interfere positivamente sobre os atributos químicos,<sup>8</sup> físicos e biológicos do solo.<sup>9,10</sup> Contudo, a quantidade de carbono sequestrado no solo depende de diversos fatores, dentre esses pode destacar as condições edafoclimáticas das regiões produtoras e o aporte de resíduos vegetais.<sup>5,7,11,12</sup>

A agregação do solo apresenta papel importante no sequestro de carbono do solo, pois protege fisicamente a matéria orgânica do solo.<sup>13</sup> O teor de carbono orgânico do solo está intimamente associado à formação de agregados no solo e em especial à formação de macroagregados.<sup>13,14</sup> O processo de agregação do solo é dinâmico, sendo necessário o aporte contínuo de resíduos vegetais para manter uma estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas.<sup>15</sup> Os estudos de Arruda *et al.*,<sup>16</sup> Vicente *et al.* e Oliveira *et al.*,<sup>17-18</sup> observaram correlação significativa positiva dos teores de C do solo com sua agregação.

Nas áreas sem queima da palha da cana-de-açúcar, com colheita mecânica, é comum observar a perda da qualidade física do solo, com aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração, diminuição da porosidade total, da infiltração da água no solo e do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados.<sup>19-22</sup> Ao avaliar o DMP de agregados de áreas de cana-de-açúcar colhida mecanicamente sem a prévia queima, em diferentes ciclos de cultivo (cana planta, 1º, 2º e 3º corte), de Souza e colaboradores verificaram diminuição da estabilidade dos agregados na camada de 0-10 cm do solo,<sup>21</sup> com queda de mais de 54% nos valores de DMP (mm) do 1º (4,47 mm) para o 3º ciclo (2,04 mm), o que evidencia o efeito destrutivo da estrutura do solo pelas operações agrícolas. Contudo, estudos têm comprovado que a camada de palha sobre o solo diminui o impacto negativo que o tráfego de máquinas causa sobre os atributos físicos do solo.<sup>23,24</sup> Além disso, a camada de palha absorve a energia da gota da chuva,

diminuindo a desagregação das partículas do solo, as perdas de nutrientes e matéria orgânica do solo via erosão hídrica. Sousa *et al.* observaram em áreas de cana-de-açúcar, que a manutenção de níveis de palha superiores a 50% (5 Mg ha<sup>-1</sup>) é necessária para diminuir as perdas de solo por erosão hídrica.<sup>9</sup>

Matos e colaboradores destacam que solos com maior agregação contribuem para melhoria da porosidade, e consequentemente, maior infiltração e resistência do solo à erosão.<sup>25</sup> Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar o impacto da aplicação de diferentes níveis de palhada da cana-de-açúcar sobre a agregação e distribuição de carbono em classes de agregados de um Latossolo Vermelho, sobre colheita mecânica em Paranavaí (PR).

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Descrição da área de estudo

A pesquisa foi realizada em área experimental, instalada na Usina Alto Alegre S/A, em Paranavaí, PR (22°55'0.7" S, 51°51'49.2" W). O clima do local, segundo classificação de Köppen, é do tipo Ama (Tropical com inverno seco) com chuvas no verão e inverno seco. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho.<sup>26</sup> A caracterização do solo após a colheita da cana planta, nos primeiros 20 cm de profundidade do solo é apresentada na Tabela 1.

O canavial estava cultivado com a variedade RB-867515 (*Saccharum spp* L.), sob sistema de cana sem queima e com colheita mecânica há mais de 10 anos. No momento da coleta de amostras de terra (safra 2014/2015) a cana se encontrava em 1ª soca (segunda colheita após o plantio).

**Tabela 1.** Caracterização física e química do solo,<sup>27</sup> na camada de 0-20 cm, após a colheita da cana planta em Paranaíba-PR

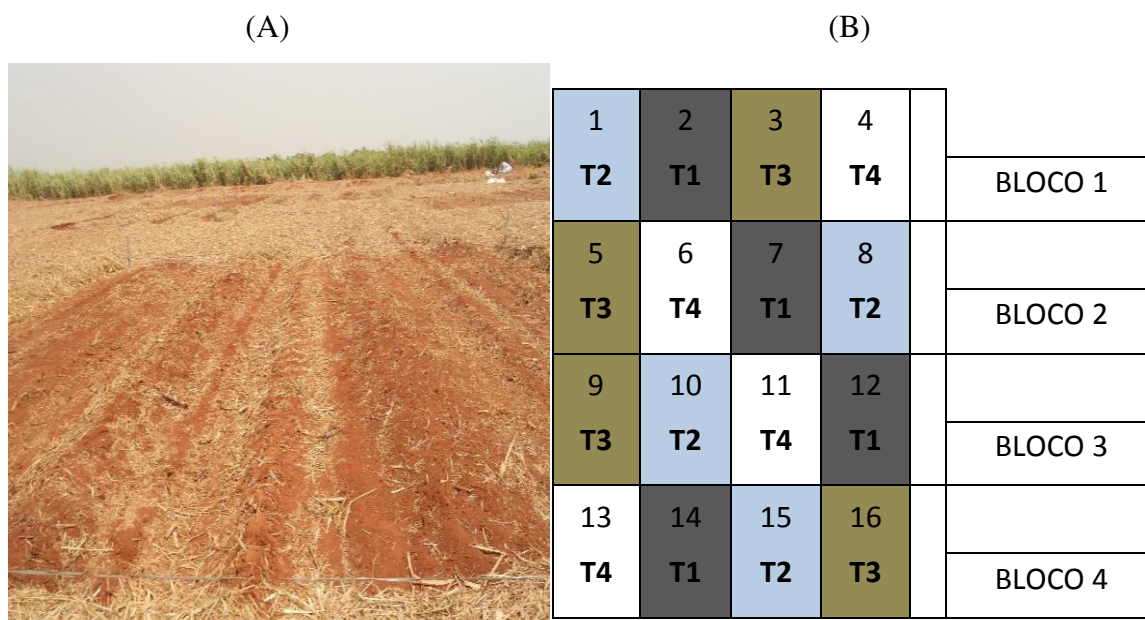
Areia	Silte	Argila	COT	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)
----- g kg <sup>-1</sup> -----			mg kg <sup>-1</sup>		----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----				
843	127	30	6,9	17,96	0,30	1,53	0,83	1,66	6,9

COT = carbono orgânico total do solo; P = fósforo assimilável; H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup>= acidez potencial.

Os tratamentos foram aplicados em novembro de 2014, onde após a colheita mecanizada da cana plantada, as quantidades médias de palha aplicadas foram: 0, 3,65, 7,55 e 14,85 Mg ha<sup>-1</sup> que corresponderam, respectivamente, à manutenção em campo de 0, 25, 50 e 100% da palha (folhas secas, ponteiros e restos de colmo). Para determinação do peso de palha das parcelas experimentais correspondentes aos níveis com 25%, 50% e 100% de palha sobre o solo, após a colheita da cana planta, toda a palhada remanescente dentro de cada parcela foi pesada, e em seguida espalhada na área, obedecendo às quantidades de palhada determinadas para os mesmos. Nas parcelas correspondentes a 0% de palha,

removeu-se toda a palhada presente na área (Figura 1A).

Cada parcela foi composta por oito linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, em espaçamento de 1,5 m, o que resultou em uma área de 120 m<sup>2</sup>/parcela, conseqüentemente uma área total de 1.920 m<sup>2</sup> (16 parcelas) (Figura 1B). Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos culturais das duas socas seguiram a rotina da usina, com a adubação de cobertura realizada sem movimentação da palha, na quantidade de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, com as fontes sulfato de amônio e cloreto de potássio.



**Figura 1.** Croqui do experimento instalado em delineamento de blocos ao acaso (A) em Paranaíba- PR (Usina Alto Alegre S/A) e (B) detalhe da área com manejo da palhada da cana-

de-açúcar. Tratamentos: T1: 100% de palha sobre a superfície do solo; T2: 50% de palha sobre a superfície do solo; T3: 25% de palha sobre a superfície do solo; T4: 0% de palha sobre a superfície do solo.

## 2.2. Amostragem e análises

Amostras indeformadas de solo foram coletadas, na camada de 0–10 cm, com auxílio de uma pá reta em mini-trincheiras. As mini-trincheiras foram realizadas uma em cada parcela com auxílio de enxadão, um ano após a aplicação dos níveis de palha sobre a superfície do solo. Em seguida, as amostras de agregados foram transferidas para sacos plásticos e armazenadas em caixas de papelão de modo a sofrerem o mínimo de desagregação possível. Na UFRRJ essas amostras foram secas ao ar e peneiradas em peneiras com malhas de diâmetro de 8 e 4 mm. Para avaliação da distribuição dos agregados por via seca, 25 g dos agregados com diâmetro entre 4 e 8 mm foram pesados e submetidos a separação das classes de agregados em um conjunto de peneiras com malhas de diâmetros 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, tendo-se utilizado tamisador Produstest (intensidade 5) sob vibração por 5 minutos. Após peneiramento, obteve-se a proporção de cada classe de agregado, em relação ao total (25 g) e realizou-se o cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP).<sup>27</sup>

$$DMP = \sum_{i=1}^n (w_i d_i)$$

Onde,  $d$  é o valor médio dos limites, superior e inferior, de cada classe (mm);  $w_i$  é a proporção de cada classe, em relação ao total (g).

Para avaliação dos teores de carbono foram utilizadas amostras dos agregados separados por via seca nas classes 4–2; 2–1; 1–0,5; 0,5–0,25 e 0,25–0,105 mm. O carbono orgânico total (COT) foi determinado por meio da oxidação úmida utilizando-se solução de dicromato de potássio (0,167 mol L<sup>-1</sup>) em meio ácido (ácido sulfúrico), com aquecimento externo (chapa de aquecimento

digital à 350°C Microprocessada regulada a 170 °C por 30 minutos após início da ebulição), e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,20 mol L<sup>-1</sup>).<sup>28</sup>

As equações de regressão foram selecionadas com base na significância dos coeficientes de regressão, a 0,01; 0,05 e 0,10 de probabilidade e maior valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Também se aplicou o teste de médias (Tukey,  $p < 0,05$ ). Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

## 3. Resultados e Discussão

Na distribuição dos agregados, houve predominância da classe de agregados 0,25–0,105 mm (Figura 2), contudo dentro dessa classe não verificou-se efeito significativo dos níveis de palha. Embora o tratamento 50% tenha apresentado um valor médio mais baixo (27,7 %) em relação aos tratamentos 0; 25 e 100% (34,4, 34,6 e 34,21 %, respectivamente). A maior percentagem de agregados na classe de 0,25–0,105 mm possivelmente se deve principalmente ao teor de areia fina (0,2–0,053 mm) desse solo (290 g kg<sup>-1</sup>), correspondendo a 34 % da fração areia total (2–0,053 mm). Nesses solos de granulometria mais grossa a matéria orgânica do solo é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo, já que a fração areia não apresenta cargas em sua superfície.

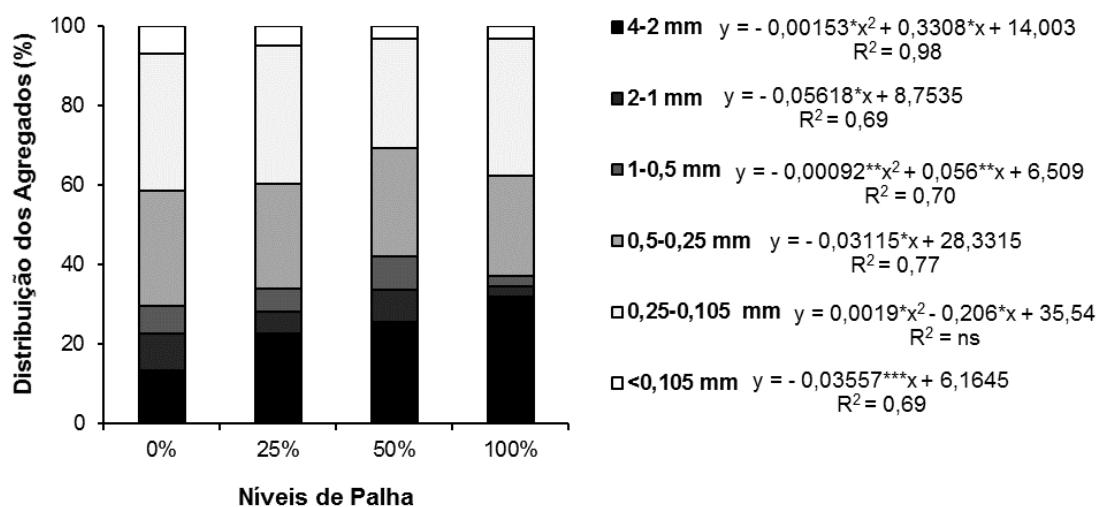
Em áreas de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça no litoral sul do estado do Pernambuco, Vicente *et al.*,<sup>17</sup> em solos com diferentes classes texturais, verificaram maior porcentagem de agregados estáveis em água na classe maior que 2 mm. O estudo realizado por Matos *et al.*,<sup>25</sup> em Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura muito argilosa, localizado em Coimbra (MG),

também comprovou maior percentagem de agregados, aproximadamente 40%, na classe 4-2 mm e que a aplicação de adubo orgânico no solo aumenta o carbono orgânico total, a estabilidade dos agregados em água e os teores de P e de N nas diferentes classes de agregados.

A distribuição de macroagregados (classes 4-2; 2-1; 1-0,5 e 0,5-0,25 mm) é influenciada significativamente pela aplicação de diferentes níveis de palha sobre o solo (Figura 2). As maiores deposições de palha sobre o solo (50 e 100 %) aumentaram a percentagem dos agregados na classe 4-2 mm (25,7 e 32,0 %, respectivamente) em relação aos tratamentos 0 e 25% (13,5 e 22,7 %, respectivamente). Esse resultado é compatível com o resultado de diâmetro médio ponderado dos agregados (Figura 3),

que foi mais elevado nos tratamentos com maior quantidade de palha (50 e 100%, 1,65 e 1,60 mm, respectivamente) em relação ao tratamento com menor quantidade e ausência de palha sobre o solo (25 e 0%, 1,32 e 1,01 mm, respectivamente), o qual também apresentou um comportamento quadrático significativo.

A formação de macroagregados no solo é dependente de substâncias com capacidade de ligar os microagregados entre si. John e colaboradores,<sup>14</sup> explicam em detalhes a hierarquia de formação de agregados, que nesse caso o principal agente ligante responsável pela formação de agregados de tamanho maior é a matéria orgânica do solo, a qual tem seu maior aporte quando se aplica maiores níveis de palha (50 e 100 %) sobre o solo.



**Figura 2.** Percentagem da distribuição de agregados no solo (via seca), sob diferentes níveis de palhada (0; 25; 50 e 100%) da cana-de-açúcar sobre Latossolo Vermelho, na camada 0-10 cm, em Paranavaí-PR. \*, \*\* e \*\*\* significativo a 0,01, 0,05 e 0,10 de probabilidade pelo teste t, respectivamente; ns = não significativo ( $p > 0,10$ )

Entretanto, nas classes 2-1 e 1-0,5 mm os tratamentos com 25 e principalmente 100% de palha sobre a superfície do solo apresentaram os menores valores quando comparados aos tratamentos 0 e 50%.

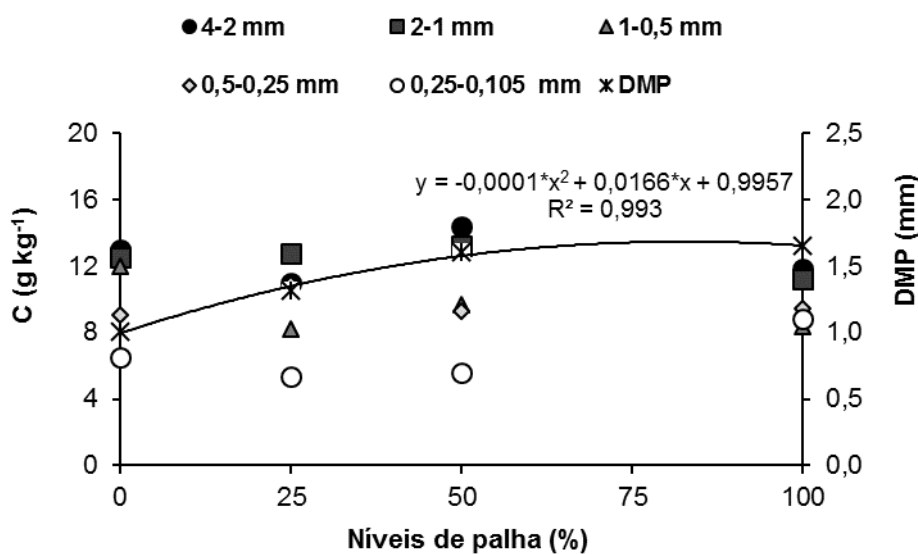
Em relação aos teores de C nas diferentes classes de agregados (Figura 3), os mesmos não apresentaram efeito significativo dos níveis de palha da cana-de-açúcar, o que pode estar relacionado ao curto período de implantação dos tratamentos (apenas um

ano). Os teores de C apresentaram maiores médias nas classes de maiores diâmetros 4-2 e 2-1 mm com aproximadamente  $12,5 \text{ g kg}^{-1}$  e menores na classe de menor diâmetro (0,25-0,105 mm) com  $6,6 \text{ g kg}^{-1}$ . O que reforça que essa classe com diâmetro denominado de microagregados possivelmente é a areia fina do solo, pois em caso de microagregados formados principalmente pela presença de óxidos na fração argila o teor de C pode ser até maior que o presente nos macroagregados, como observado por Passos e colaboradores.<sup>29</sup>

A textura do solo influencia na distribuição de C e N nas diferentes classes de diâmetros de agregados. Passos *et al.*,<sup>29</sup> em Latossolo Vermelho (textura argilosa), verificaram maior teor de carbono orgânico total e nitrogênio total na classe de menor

diâmetro ( $< 0,105 \text{ mm}$ ). Esses autores explicam que esse resultado se deve ao maior teor de argila nessa classe de agregado em relação às demais classes o que possibilita o maior armazenamento de C e N no solo. Pois, a associação desses com a caulinita e óxidos, fornecem maior proteção química e estrutural a matéria orgânica do solo.<sup>30</sup>

Em solos com maiores percentagens de silte (73,1 %) na fração mineral, sob áreas aráveis (trigo e milho) e não aráveis (pastagem e floresta), John e associados,<sup>14</sup> também observaram menor teor de C na classe de agregados de menor diâmetro ( $< 53 \mu\text{m}$ ). Esses autores atribuem esse resultado ao alto conteúdo de silte nessa classe de diâmetro, já que essa fração possui baixa ou nenhuma capacidade de ligação com o C do solo.



**Figura 3.** Teores de carbono orgânico (C,  $\text{g kg}^{-1}$ ) nas diferentes classes de agregados e diâmetro médio ponderado (DMP, mm) dos agregados, sob diferentes níveis de palha (0, 25, 50 e 100%) da cana-de-açúcar sobre Latossolo Vermelho, na camada 0-10 cm, em Paranavaí-PR. \* significativo a 0,01 de probabilidade pelo teste t, respectivamente; ns = não significativo ( $p > 0,10$ )

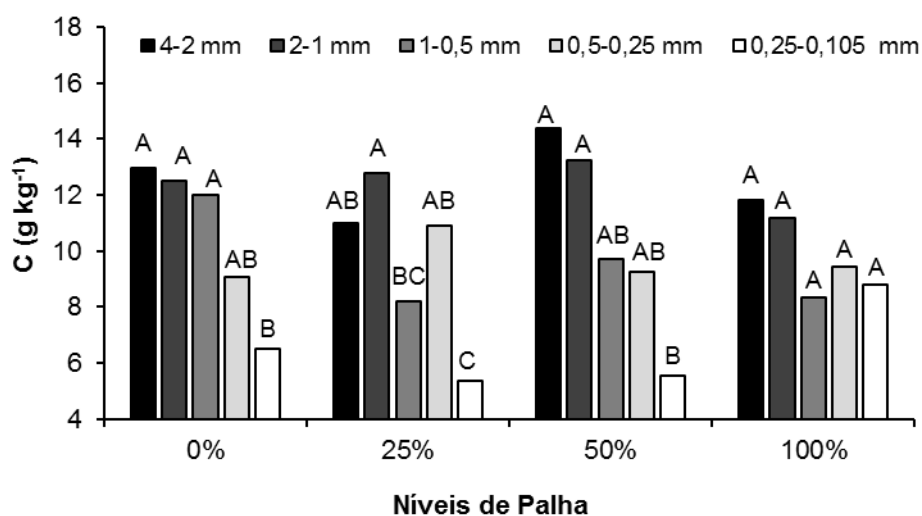
Os teores de C nas diferentes classes de agregados, mas em cada nível de palha separadamente, apresentaram diferenças significativas entre si, com exceção do tratamento com 100% de palha (Figura 4). De maneira geral, observou-se um comportamento semelhante dos níveis de

palha, com maiores teores de C nas classes com diâmetro de 4-2 e 2-1 mm ( $12,5$  e  $12,4 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente) e menor na classe 0,25-0,105 mm ( $6,6 \text{ g kg}^{-1}$ ).

No nível 0% de palha as classes de macroagregados ( $> 0,25 \text{ mm}$ ) apresentaram

valores semelhantes entre si (com média de  $11,6 \text{ g kg}^{-1}$ ) e 44% maiores que a classe de microagregados ( $< 0,25 \text{ mm}$ ) ( $6,5 \text{ g kg}^{-1}$ ). Ao aplicar 25% de palha sobre o solo o maior conteúdo de carbono foi observado nas classes 4-2; 2-1 e 0,5-0,25 mm ( $11,0$ ;  $12,8$  e  $10,9 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente) em comparação a classe 1-0,5 mm ( $8,2 \text{ g kg}^{-1}$ ) e

principalmente à classe 0,25-0,105 mm ( $5,4 \text{ g kg}^{-1}$ ). Contudo, no tratamento com 50% de palha, as classes com diâmetro  $> 1 \text{ mm}$  apresentaram os maiores teores de C ( $14,4$  e  $13,2 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente), sobretudo em relação à classe de menor diâmetro ( $5,6 \text{ g kg}^{-1}$ ).



**Figura 4.** Teores de carbono orgânico (C,  $\text{g kg}^{-1}$ ) nas diferentes classes de agregados dentro de cada nível de palha (0, 25, 50 e 100%) da cana-de-açúcar sobre Latossolo Vermelho, na camada 0-10 cm, em Paranavaí-PR. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ )

Assim, com base nesse resultado e no de distribuição de agregados (Figura 2) fica claro que a aplicação de 50% de palha sobre o solo tem maior potencial de armazenar C em agregados de maior diâmetro (4-2 e 2-1 mm) que os demais níveis de palha, em especial sobre o tratamento que retira toda palha (0%). Estudos têm comprovado a importância do aporte de resíduos vegetais sobre o solo no sequestro e armazenamento de C.<sup>31-33</sup> O que reforça que para formar macroagregados no solo tem que aumentar o conteúdo de C do mesmo.<sup>14</sup> Corroborando em partes com o estudo de Vicente *et al.*,<sup>17</sup> que encontrou correlação positiva entre os valores de DMP e o carbono orgânico do solo, com a percentagem de agregados maiores que 2 mm e o carbono orgânico do solo.

## 4. Conclusões

O aporte de diferentes níveis de palhada sobre a superfície do solo, em áreas com colheita mecânica de cana-de-açúcar, influencia a agregação do solo, bem como a distribuição do C nas diferentes classes de diâmetros de agregados do solo, na camada superficial (0-10 cm).

Os macroagregados ( $> 0,25 \text{ mm}$ ) representam, em média, 63% dos agregados do solo sendo esses mais expressivos no tratamento com deposição de 50% de palha (69%) em relação ao tratamento com ausência de palha (59%). A maior agregação do solo foi observada nas áreas com maiores



níveis de palhada 50 e 100% (7,55 e 14,85 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de palhada). A aplicação de 50 % de palha sobre o solo também aumenta os agregados de maiores diâmetros (4-2 e 2-1 mm), os quais estão associados aos teores mais elevados de carbono orgânico do solo (14,4 e 13,2 g Kg<sup>-1</sup>, respectivamente).

A manutenção de 50% de palhada de cana-de-açúcar sobre a superfície do solo é o recomendado para a manutenção da estrutura do solo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CPGA-CS, à Fundação de Apoio a Pesquisa Científica e Tecnológica da UFRRJ (FAPUR) e ao CNPq (Edital Universal, processo: 481691/2013-8) pelo apoio financeiro e pela bolsa de Doutorado concedida ao primeiro autor. Também somos agradecidos à Usina Alto Alegre/PR pela disponibilização da área experimental e aos pesquisadores e técnicos da RIDESA/UFPR (Universidade Federal do Paraná) e da Estação Experimental Dr. Leonel Miranda, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Campos dos Goytacazes (RJ).

## Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Área Plantada de Cana-de-Açúcar, maio, 2017. [\[Link\]](#)
- <sup>2</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Produção Agrícola Municipal - Culturas temporárias e permanentes, 39, 2012, Brasil. [\[Link\]](#)
- <sup>3</sup> Schultz, N.; Lima, E.; Pereira, M.G.; Zonta, E. Adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2010**, 34, 811. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>4</sup> Leal, M. R. L. V.; Galdos, M. V.; Scarpate, F. V.; Seabra, J. E. A.; Walter, A.; Oliveira, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: a literature review. *Biomass and Bioenergy* **2013**, 53, 11. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>5</sup> Galdos, M. V.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. *Geoderma* **2009**, 153, 347. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>6</sup> Pinheiro, E. F. M.; Lima, E.; Ceddia, M. B.; Urquiaga, S.; Alves, B. J. R.; Boddey, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant and Soil* **2010**, 333, 71. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>7</sup> Thorburn, P. J.; Meier, E. A.; Collins, K.; Robertson, F. A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. *Soil and Tillage Research* **2012**, 120, 99. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>8</sup> Souza, R. A.; Telles, T. S.; Machado, W.; Hungria, M.; Filho, J. T.; Guimarães, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2012**, 155, 1. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>9</sup> Sousa, G. B.; Martins Filho, M. V.; Matias, S. S. Perdas de solo, matéria orgânica e nutrientes por erosão hídrica em uma vertente coberta com diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar em Guariba - SP. *Engenharia Agrícola* **2012**, 32, 490. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>10</sup> Ceddia, M. B.; Anjos, L. H. C.; Lima, E.; Ravelli Neto, A.; Silva, L. A. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar e alterações nas propriedades físicas de um solo Podzólico Amarelo no Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **1999**, 34, 1467. [\[Link\]](#)
- <sup>11</sup> Benazzi, E. S.; Bianchi, M. O.; Correia, M. E. F.; Lima, E.; Zonta, E. Impactos dos métodos de colheita da cana-de-açúcar sobre a macrofauna do solo em área de produção no Espírito Santo–Brasil. *Semina: Ciências Agrárias* **2013**, 34, 3425. [\[CrossRef\]](#)
- <sup>12</sup> Luca, E. F. de; Feller, C.; Cerri, C. C.; Barthès, B.; Chaplot, V.; Campos, D. C.; Manechini, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2008**, 32, 789. [\[CrossRef\]](#)

- <sup>13</sup> 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* **2002**, *241*, 155. [CrossRef]
- <sup>14</sup> John, B.; Yamashita, T.; Ludwig, B.; Paustian, K. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* **2005**, *128*, 63. [CrossRef]
- <sup>15</sup> Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E. de S.; Neves, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2005**, *40*, 487. [CrossRef]
- <sup>16</sup> Arruda, E. M.; de Almeida, R. F.; da Silva Junior, A. C.; Ribeiro, B. T. Silva, A. de A. Aggregation and organic matter content in different tillage systems for sugarcane. *African Journal of Agricultural Research* **2015**, *10*, 281. [CrossRef]
- <sup>17</sup> Vicente, T. F. da S.; Pedrosa, E. M. R.; Rolim, M. M.; Oliveira, V. S.; Oliveira, A. K. S.; Souza, A. M. P. L. 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. [CrossRef]
- <sup>18</sup> Oliveira, V. S.; Rolim, M. M.; Vasconcelos, R. F. B.; Pedrosa, E. M. R. Distribuição de Agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2010**, *14*, 907. [CrossRef]
- <sup>19</sup> Souza, Z. M.; Prado, R. M.; Paixão, A. C. S.; Cesarin, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2005**, *40*, 271. [CrossRef]
- <sup>20</sup> Roque, A. A. de O.; Souza, Z.M. de; Barbosa, R.S.; Souza, G.S. de. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2010**, *45*, 744. [CrossRef]
- <sup>21</sup> Souza, H. A.; Marcelo, A. V.; Centurion, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agrônômica* **2012**, *43*, 658. [CrossRef]
- <sup>22</sup> Torres, J. L. R.; Pereira, M. G.; Cunha, M. de A.; Martins, M. E.; Vieira, D. M. da S. Atributos físicos, químicos do solo e biomassa em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. *Revista Ciências Agrárias* **2013**, *56*, 311.
- <sup>23</sup> Rosim, D. C.; de Maria, I. C.; e Silva, R. L.; da Silva, A.P. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. *Bragantia* **2012**, *71*, 502. [CrossRef]
- <sup>24</sup> Vischi Filho, O. J.; Souza, Z. M.; Silva, R. B.; Lima, C. C.; Pereira, D. M., Lima, M. E.; Sousa, A. C. M.; Souza, G. S. 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. [CrossRef]
- <sup>25</sup> Matos, E. D. S.; Mendonça, E. D. S.; Leite, L. F. C.; Galvão, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* **2008**, *43*, 1221. [CrossRef]
- <sup>26</sup> Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. de. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- <sup>27</sup> Claessen, M. C. E.; Barreto, W. O.; Paula, J. L.; Duarte, M. N.; *Manual de métodos de análise de solo*, 2. ed., rev. Atual, Embrapa-CNS: Rio de Janeiro, 1997.
- <sup>28</sup> Yeomans, J. C.; Bremner, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **1988**, *19*, 1467. [CrossRef]
- <sup>29</sup> Passos, R. R.; Ruiz, H. A.; Cantarutti, R. B.; Mendonça, E. de S. Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2007**, *31*, 1109. [CrossRef]
- <sup>30</sup> Bayer, C.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. [Link]

<sup>31</sup> Jiang, C. M.; Yu, W. T.; Ma, Q.; Xu, Y. G.; Zou, H. Alleviating global warming potential by soil carbon sequestration: A multi-level straw incorporation experiment from a maize cropping system in Northeast China. *Soil and Tillage Research* **2017**, *170*, 77. [[CrossRef](#)]

<sup>32</sup> Zhao, S.; Li, K.; Zhou, W.; Qiu, S.; Huang, S.; He, P.; Changes in soil microbial community, enzyme activities and organic matter fractions under long-term straw return in

north-central China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2016**, *216*, 82. [[CrossRef](#)]

<sup>33</sup> Zhu, L.; Hu, N.; Zhang, Z.; Xu, J.; Tao, B.; Meng, Y. Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice–wheat cropping system. *Catena* **2015**, *135*, 283. [[CrossRef](#)]