

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

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CONSOLIDAÇÃO DO SOLO A CURTO  
PRAZO APÓS ATIVIDADES DE PREPARO**

**Bruna de Oliveira Silva**

Engenheira Agrônoma

**2017**

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

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CONSOLIDAÇÃO DO SOLO A CURTO  
PRAZO APÓS ATIVIDADES DE PREPARO**

**Bruna de Oliveira Silva**

**Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala Junior**

**Coorientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes**

**Coorientador: Prof. Dr. Daniel De Bortoli Teixeira**

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

**2017**

S586e Silva, Bruna de Oliveira  
Emissão de CO<sub>2</sub> e consolidação do solo a curto prazo após  
atividades de preparo do solo / Bruna de Oliveira Silva. –  
Jaboticabal, 2017  
xvi, 45 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Newton La Scala Junior  
Banca examinadora: Diego Silva Siqueira, Zigomar Menezes de  
Souza  
Bibliografia

1. Porosidade do solo. 2. Semeadura direta. 3. Revolvimento do  
solo. 4. Respiração do solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.425:631.51

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.  
E-mail: bruna1oliver@hotmail.com



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> E CONSOLIDAÇÃO DO SOLO A CURTO PRAZO  
APÓS ATIVIDADES DE PREPARO

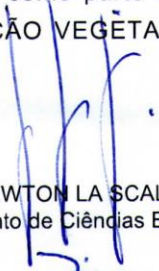
**AUTORA: BRUNA DE OLIVEIRA SILVA**

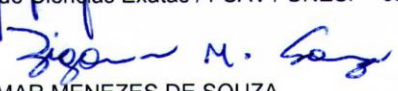
**ORIENTADOR: NEWTON LA SCALA JUNIOR**

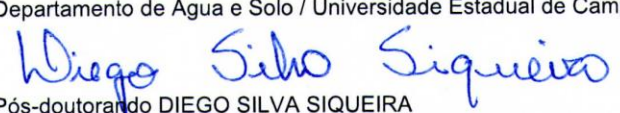
**COORIENTADOR: DANIEL DE BORTOLI TEIXEIRA**

**COORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA  
(PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA  
Departamento de Água e Solo / Universidade Estadual de Campinas - Campinas/SP

  
Pós-doutorando DIEGO SILVA SIQUEIRA  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 17 de julho de 2017

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**BRUNA DE OLIVEIRA SILVA** – Filha de Raimundo Nonato Silva e Maria do Socorro Oliveira, nasceu em Paragominas-PA, no dia 28 de fevereiro de 1993. Em agosto de 2010, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Paragominas-PA. Foi bolsista de iniciação científica do CNPq pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Paragominas-PA, durante o período de julho de 2012 a agosto de 2015. Iniciou em agosto de 2015 o Curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), Câmpus de Jaboticabal-SP. No mês de julho de 2017, submeteu-se à banca para a defesa de Dissertação, sendo aprovada como Mestre em Agronomia.

*Se cada um dos seus dias for uma centelha de luz, no fim da vida você terá iluminado uma boa parte do mundo.*

*Merlo*

À Deus,  
Minha mãe Maria do Socorro Oliveira,  
E ao meu irmão Arthur Oliveira

**DEDICO**

José Luiz Alves Ferreira,  
Irmã Monica Sousa e sobrinho Heitor Sousa  
**OFEREÇO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte infinita de esperança, fé e consolação, mas especialmente por iluminar o meu caminhar com a chama da amizade e bondade dos amigos que me ajudaram nesta jornada.

À minha mãe, por toda sua dedicação, carinho e incentivo, que me impulsionou o meu caminho profissional, sem a qual eu não chegaria até aqui, obrigada por todo o amor.

Ao meu irmão Arthur por estar sempre ouvindo, aconselhando e incentivando a continuar, obrigada por toda sua força.

Ao Professor Newton La Scala Júnior, grande responsável pela minha formação intelectual e moral, agradeço pelos ensinamentos, paciência e toda ajuda para concluir essa jornada.

À Mara Regina Moitinho por toda sua paciência e pelos ensinamentos, agradeço também toda a ajuda na estruturação e desenvolvimento desse trabalho, contribuindo para que fosse possível a sua elaboração. Sou grata pelas suas palavras de carinho e incentivo.

Ao Daniel De Bortoli Teixeira cujas críticas e sugestões contribuíram para a qualidade do trabalho, pelas brincadeiras, por ser sempre solícito, obrigada pela coorientação.

À professora Carolina Fernandes, pelos ensinamentos e pela disponibilização dos equipamentos para as análises da física do solo e coorientação.

Aos professores Dr. Marcílio Martins Filho, Dra. Liziane de Figueiredo Brito, Dra. Lívia Arantes Camargo, Dr. Diego Silva Siqueira e Dr. Zigomar Menezes de Souza que disponibilizaram seu precioso tempo para ajudar nosso estudo, pelas críticas e sugestões que contribuíram não somente para o enriquecimento do trabalho, mas também para nosso avanço profissional e pessoal. Deixo aqui toda a minha gratidão e admiração pelos senhores.

Ao Elienai Ferreira por toda a ajuda na condução dos experimentos de campo, pelo bom convívio e disponibilidade, parcerias nas inúmeras amostragens de solo e análises de laboratório.



Ao Gustavo André Araújo dos Santos pelo bom convívio, por todas as conversas inteligentes e bem humoradas, pela força nos momentos de desabafo, e por fim, pela sua amizade e companheirismo, muito obrigada.

À Milene Moara Reis Costa pela amizade, companheirismo, pelos grandes ensinamentos, e pela melhor frase “Se tem uma coisa que eu prezo na minha vida é PAZ !” Muito obrigada.

Ao José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes pela amizade, momentos de desconcentração, por estar sempre solícito e por todas as caronas.

À Camila Vieira, muito obrigada por ter caminhado comigo traçando os nossos objetivos, por ter sido uma excelente ouvinte e lógico muito obrigada pela partilha de muito sarcasmo e bom humor, obrigada pela amizade.

Às amigas que ganhei na graduação, que estão sempre dispostas a ajudar: a ler o trabalho, pelas sugestões e traduções de abstract. Obrigada pela ajuda e amizade.

Ao Daniel Pereira Pinheiro e o Nilvan Melo pela paciência e dedicação de ensinar nas análises dos atributos químicos e físicos do solo, desde os conceitos à forma correta para a condução dos equipamentos.

À Luma Castro e ao Carlos Almeida pela ajuda na elaboração das planilhas, pelos ensinamentos para melhor compreensão dos cálculos para a determinação dos atributos químicos e físicos do solo, obrigada pela amizade.

Aos orientandos do professor Newton La Scala Júnior: Clariana Valadares, Risely Ferraz e Fernando Moraes.

Aos amigos que o departamento de Ciências Exatas proporcionou-me: Kamila Meneses que muito me ajudou na leitura dos trabalhos com sugestões e críticas, que tanto contribuíram para esse trabalho. À Katherine Batista, Thiago Águas, Taynara Valeriano, pela amizade, pela convivência nessa jornada.

Às amigas que dividiram apartamento comigo, Renata Thaysa da Silva Santos, Deise Cristina dos Santos Nogueira e Kathleen Lorenzo Fernandes e ao amigo que sempre esteve presente Mailson Oliveira por partilharem momentos de alegria e de descontração.

Aos amigos e funcionários do departamento de Ciências Exatas, Zezé, Shirley, Norival, Adriana, Carlão e Vanessa, pelo carinho e amizade.

Para todos os meus amigos, mestres e companheiros, gostaria de expressar de forma simples, porém sincera, minha gratidão.

Ao José Luiz Alves Ferreira, pelo apoio, amizade, paciência, compreensão e, principalmente, por ser uma das razões que me fizeram concluir essa jornada.

Ao grupo de pesquisa Bioma Biodiversidade da Amazônia (BIOAMA), pelo o apoio por toda a ajuda e companheirismo, em especial as Professoras Doutoras Tâmara Thaiz Santana Lima e Izildinha de Souza Miranda.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) da Universidade Estadual de São Paulo (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, SP.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro (Processo nº. 2015/25615-3).

## SUMÁRIO

|                                                                                                               | Página      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                           | <b>xii</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                         | <b>xiii</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS .....</b>                                                                                 | <b>xiv</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                                                                 | <b>xv</b>   |
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                     | <b>1</b>    |
| <b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>                                                                          | <b>3</b>    |
| 2.1 Gases de efeito estufa e a agricultura .....                                                              | 3           |
| 2.2 Produção e emissão de CO <sub>2</sub> do solo .....                                                       | 4           |
| 2.3 Manejos do solo e o seu papel na emissão de CO <sub>2</sub> do solo .....                                 | 6           |
| 2.4 Efeito das propriedades físicas do solo sobre a emissão de CO <sub>2</sub> .....                          | 9           |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                                             | <b>11</b>   |
| 3.1 Caracterização da área em estudo .....                                                                    | 11          |
| 3.2 Avaliação da emissão de CO <sub>2</sub> , temperatura e umidade do solo .....                             | 14          |
| 3.3 Determinação dos atributos físicos e carbono do solo.....                                                 | 14          |
| 3.4 Processamento e análise de dados .....                                                                    | 17          |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                         | <b>18</b>   |
| 4.1 Variação temporal da FCO <sub>2</sub> , temperatura e umidade do solo.....                                | 18          |
| 4.2 Variação dos atributos físicos em função da reorganização das partículas do solo .....                    | 21          |
| 4.3 Teor de carbono e agregação do solo em função dos manejos avaliados .....                                 | 25          |
| 4.4 Inter-relação da FCO <sub>2</sub> com os atributos físicos e o carbono do solo nos manejos avaliados..... | 27          |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>                                                                                     | <b>30</b>   |
| <b>6 REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                     | <b>32</b>   |

## EMIÇÃO DE CO<sub>2</sub> E CONSOLIDAÇÃO DO SOLO A CURTO PRAZO APÓS ATIVIDADES DE PREPARO

**RESUMO** – Concomitantemente ao desenvolvimento agrícola brasileiro surge a preocupação com os impactos ambientais causados pelo setor, dentre esses, as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas de práticas de cultivo e manejo dos solos nos sistemas produtivos. Neste estudo, objetivou-se investigar a variação temporal da emissão de CO<sub>2</sub> e atributos físicos do solo sob influência do processo de reorganização das partículas do solo após as atividades de preparo do solo. O estudo foi conduzido em três áreas adjacentes medindo 10 × 3 m cada, nas quais foram conduzidos dois sistemas de preparo do solo: (i) enxada rotativa + grade niveladora convencional, representando um preparo intenso do solo (PI); (ii) grade aradora + niveladora, caracterizando um preparo reduzido (PR), e a terceira área envolvida no estudo foi mantida sem revolvimento do solo caracterizando o sistema semeadura direta (SD). Foram realizadas avaliações diárias da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>), temperatura e umidade do solo, distribuição de classes de poros, densidade do solo, resistência do solo à penetração, porosidade livre de água, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado, carbono orgânico total e carbono orgânico particulado, durante um período de 29 dias após o preparo do solo. No primeiro dia após preparo, a FCO<sub>2</sub> foi 87% superior na parcela PI (3,86  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) quando comparado a PR (2,06  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e 147% superior quando comparado a parcela sem distúrbio (1,56  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A densidade e a resistência do solo à penetração apresentaram menor variação a partir do 12º dia após as atividades de preparo do solo, tal efeito foi considerado como um processo natural de consolidação do solo, sendo que esse processo influenciou na variação temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo. A distribuição de classes de poros são atributos físicos importantes para explicar as variações temporais da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, e essas classes são influenciadas pelo manejo adotado. Portanto, o estudo desses atributos deve ser levado em consideração quando avaliada a variação da emissão de CO<sub>2</sub> em solos agrícolas.

**Palavras-chave:** porosidade do solo, semeadura direta, respiração do solo, revolvimento do solo

## CO<sub>2</sub> EMISSION AND SOIL CONSOLIDATION IN THE SHORT TERM AFTER MANAGEMENT ACTIVITIES

**ABSTRACT** – The development of the Brazilian agricultural sector necessarily implies a greater concern with diverse environmental impacts caused by the sector, among them the CO<sub>2</sub> emissions from soil and crop management in the production systems. This study aimed to investigate the CO<sub>2</sub> emission associated to physical properties in the short term after soil management submitted to different intensities. The study was conducted in three adjacent areas, measuring 10 × 3 m each, in which two soil tillage systems were performed: (i) rotary hoe + conventional harrow representing a much more intense soil tillage (PI); (ii) disc plowing + disc harrowing, characterizing a reduced soil tillage (PR), and in the third area was no-tillage (SD), without disturbance. They were carried out daily evaluations of soil CO<sub>2</sub> emissions (FCO<sub>2</sub>), temperature and soil moisture, bulk density, soil resistance to penetration, water-free porosity, mean weight diameter, stability indices of soil aggregates, total organic carbon and particulate organic carbon, over a period of 29 days. On the first day after management, FCO<sub>2</sub> was 87% higher in PI (3.86  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) when compared to PR (2.06  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) and was 147% higher when compared to area without disturbance (1.56  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). The physical soil attributes: bulk density, resistance to penetration; showed lower variation from day 12 after soil management, this effect was considered in this study as a natural process of soil consolidation, and this process may also have influenced the temporal variation of soil CO<sub>2</sub> emission. However, future studies involving a longer period of time are necessary in order to establish more concrete relationships. However, future studies involving a longer period of time are necessary to fortify the interrelations observed in this study. The distribution of pore classes are important physical attributes to explain the temporal variations of the soil CO<sub>2</sub> emission, and these classes are influenced by the adopted management. Therefore, the study of these attributes should be taken into account when evaluating the variation of CO<sub>2</sub> emission in agricultural soils.

**Keywords:** soil porosity, no-tillage, breathing soil, soil disturbance

## LISTA DE TABELAS

### Página

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> – Modelo de regressão múltipla da variação temporal da FCO <sub>2</sub> em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: carbono orgânico particulado (g kg <sup>-1</sup> ), Índice de estabilidade de agregado (IEA) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) e Umidade do solo (%) na semeadura direta (SD). .....                      | 27 |
| <b>Tabela 2</b> – Modelo de regressão múltipla da FCO <sub>2</sub> em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: Resistência do solo à penetração (RP) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ), temperatura do solo (T <sub>solo</sub> ) (°C) e classe de poros 5 (C5) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) no preparo intensivo (PI) .....              | 28 |
| <b>Tabela 3</b> – Modelo de regressão múltipla da FCO <sub>2</sub> em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: Classe de poros 3 (C3) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ), classe de poros 4 (C4) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) e Índice de estabilidade de agregado (IEA) (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) no preparo reduzido (PR) ..... | 29 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>Página</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>Figura 1</b> – Área experimental agrícola localizada no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 11            |
| <b>Figura 2</b> – Precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C) durante o experimento. As setas indicam os dias de avaliação .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 13            |
| <b>Figura 3</b> – Croqui da área experimental: semeadura direta (A); preparo reduzido (B) e preparo intensivo (C). As circunferências preenchidas representam os colares de PVC, enquanto as circunferências sem o preenchimento representam a coleta de solo que ocorreram de forma aleatória entre os colares de PVC. As setas indicam a movimentação dos pontos amostrais que aconteceram diariamente após as avaliações .....                                                                              | 14            |
| <b>Figura 4</b> – Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) emissão de CO <sub>2</sub> do solo (FCO <sub>2</sub> ) (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ); b) temperatura do solo (°C); c) umidade do solo (%) .....                                                                                                                                                                                                   | 18            |
| <b>Figura 5</b> – Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) densidade do solo (g <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ); b) resistência à penetração (MPa) e c) porosidade livre de água (%) .....                                                                                                                                                                                                                             | 21            |
| <b>Figura 6</b> – Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) classe de poros com diâmetro de (0,0600 – 0,0150 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C1); b) classe de poros com diâmetro de (0,0100 – 0,0075 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C2); c) classe de poros com diâmetro de (0,0060 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C3); d) classe de poros com diâmetro de (0,0050 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C4) ..... | 23            |
| <b>Figura 7</b> – Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) classe de poros com diâmetro de (0,043 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C5); b) classe de poros com diâmetro de (0,038 – 0,0033 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C6); c) classe de poros com diâmetro (≥ 0,030 m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) (C7) .....                                                                                                | 24            |

**Figura 8** – Carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (a), carbono orgânico particulado ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (b), diâmetro médio ponderado (mm) (c) e índice de estabilidade de agregado (%) (d) Valores médios e barras de erro-padrão da média para o para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ) ..... 25



## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países que mais contribuem para as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2014), sendo 75% das emissões de CO<sub>2</sub> proveniente do desmatamento e atividades agrícolas (CERRI et al., 2007). Dentre as principais atividades, as operações de preparo do solo aceleram as emissões de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente, as perdas de carbono do solo (TEIXEIRA et al., 2010; PANOSSO et al., 2011; LA SCALA et al., 2012; SILVA-OLAYA et al., 2013; SOUZA et al., 2017; RAKOTOVAO et al., 2017). Nesse contexto, o acúmulo de carbono no solo em sistemas agrícolas é uma importante estratégia para compensar os aumentos atmosféricos de CO<sub>2</sub> (DOSSOU-YOVO et al., 2016).

A dinâmica da emissão de CO<sub>2</sub> em solos agrícolas em especial aquelas induzidas pelo preparo do solo, é complexa e variável, uma vez que é influenciada tanto por fatores bióticos quanto abióticos. A produção de CO<sub>2</sub> é oriunda das atividades bioquímicas que ocorrem no interior dos solos (EPRON et al., 2006; LUO; ZHOU, 2006; LAL, 2009). No entanto, o mecanismo de emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera envolve a difusão de CO<sub>2</sub> que é controlada principalmente pela interação entre o espaço poroso e o conteúdo de umidade do solo (DOSSOU-YOVO et al., 2016).

Em adição, a emissão de CO<sub>2</sub> também está associada à grande covariação temporal entre os fatores influenciadores (KOSUGI et al., 2007; HERBST et al., 2009; LA SCALA et al., 2009), apresentando variações significativas mesmo em curtos períodos avaliados (TEIXEIRA et al., 2011a). A perda de carbono na forma de CO<sub>2</sub> (C-CO<sub>2</sub>) induzida pelo preparo do solo tem sido objeto de estudo de muitos autores, os quais observaram significativo decréscimo desse elemento no solo (REICOSKY; LINDSTROM, 1993; ELLERT; JANZEN, 1999; ROCHETTE; ANGERS, 1999; PRIOR et al., 2000; LA SCALA et al., 2001, 2006; TEIXEIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2017).

Teixeira et al. (2011b) observaram um aumento na emissão de CO<sub>2</sub> em 47%, com a utilização da enxada rotativa e incorporação de cobertura vegetal quando comparado ao solo sem revolvimento.

Vale ressaltar ainda que a duração dos efeitos do preparo do solo sob os atributos físicos, vai depender da intensidade desse e como irá afetar os fatores controladores da consolidação do solo (DRESCHER et al., 2016). Desta forma, a

consolidação em solos agrícolas tem efeitos adicionais e importantes como o preparo do solo e as pressões radiculares (STRECK; COGO, 2003), precipitações (REICOSKY; ARCHER, 2007), ciclo de umedecimento e secagem do solo, espécies cultivadas e os microrganismos (DRESCHER et al., 2016; REICHERT et al., 2016), que contribuem para o processo de consolidação da superfície do solo.

Há uma escassez de trabalhos que investiguem o efeito da consolidação do solo em curto período, ou seja, logo após atividades de preparo com diferentes intensidades de particularização do solo sobre os valores médios diários da emissão de CO<sub>2</sub>, e demais atributos físicos relacionados ao processo de emissão. A maioria dos estudos avaliam a variação temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo associada somente a umidade e a temperatura do solo (LA SCALA et al., 2006; PANOSSO et al., 2008; LAL, 2009; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012; MOITINHO et al., 2013; SILVA-OLAYA et al., 2013; TAVARES et al., 2016).

Diante do exposto, o presente estudo baseia-se na hipótese que o emprego de preparos mais intensivos provoca modificações nos atributos físicos do solo, refletindo na dinâmica de decomposição do carbono, expresso pelas variações nos padrões de emissão de CO<sub>2</sub> do solo em curtos períodos, e que, esta dinâmica também depende da reorganização das partículas do solo ao longo dos dias que sucedem o preparo.

Desta forma, objetivou-se investigar a variação temporal da emissão de CO<sub>2</sub> e atributos físicos do solo sob influência do processo de reorganização das partículas do solo após as atividades de preparo do solo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Gases de efeito estufa e a agricultura

Atualmente, há uma grande preocupação com as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa (GEE). As evidências científicas demonstram que o clima da Terra está mudando rapidamente, principalmente devido ao aumento das concentrações atmosféricas de GEE, resultando no aumento da frequência de eventos climáticos extremos, tais como secas prolongadas, chuvas intensas, furacões entre outros (IPCC, 2014). Essa mudança climática é considerada uma das ameaças ambientais mais graves em todo o mundo por causa de seus potenciais impactos na produção de alimentos e processos vitais para um ambiente produtivo (OLIVEIRA; MORAES, 2017).

A partir da década de 70, os cientistas relacionaram o aumento da concentração de GEE na atmosfera ao processo de aquecimento do planeta, esta descoberta despertou o interesse de diversos países. Em 1988, as Nações Unidas criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), reunindo 2.500 cientistas para estudar esse fenômeno. Em 2007, o IPCC, em seu 4º relatório, afirmou que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera desde a era pré-industrial (1750) até 2005 havia aumentado significativamente.

Nesse período, o dióxido de carbono passou de 280 ppm (partes por milhão) para 379 ppm; o metano, de 715 ppb (partes por bilhão) para 1.774 ppb, e o óxido nitroso, de 270 ppb para 319 ppb (IPCC, 2007).

Os relatórios chamaram a atenção para as elevações na temperatura média do planeta, que poderão chegar a 5,8 °C até o final do século XXI. Neste mesmo relatório, a agricultura foi apontada como uma das grandes fontes emissoras de GEE, sendo responsável mundialmente por aproximadamente 22% das emissões totais de CO<sub>2</sub>, 80% das emissões de N<sub>2</sub>O e 55% das emissões de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2007). Entretanto, no Brasil esses valores são ainda mais expressivos, estima-se que 75% das emissões de CO<sub>2</sub>, 94% das emissões de N<sub>2</sub>O e 91% das emissões de CH<sub>4</sub> sejam oriundas de atividades agrícolas (CERRI et al., 2007).

Desta forma, o aumento da concentração atmosférica de GEE está relacionada principalmente à queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso e manejo do

solo, especialmente na agricultura (GILBERT, 2012; VERMEULEN et al., 2012; SMITH et al., 2014). De acordo com os relatórios do IPCC (2014) as mudanças no uso e manejo do solo são responsáveis por aproximadamente um quarto das emissões globais de GEE, que incluem o desmatamento, emissões de metano na agropecuária e de óxido nitroso em solos fertilizados.

As atividades relacionadas à produção de alimentos, pecuária, fertilizantes, pesticidas, manejo do solo, máquinas e transporte liberam quantidades significativas de GEE, como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (RAKOTOVAO et al., 2017).

As práticas agrícolas, tais como a colheita e a adubação desde o cultivo de plantas até a eliminação de biomassa contribuem para 19-29% das emissões antropogênicas globais de GEE. Desse total, 80-86% referem-se à produção agrícola, incluindo as emissões indiretas associadas às mudanças de cobertura da terra (OERTEL et al., 2016).

Embora a agricultura contribua significativamente para o total de emissões antropogênicas de GEE, o setor tem várias estratégias para mitigar as mesmas (SMITH et al., 2007; SÁ et al., 2017). Pequenas mudanças podem apresentar um grande efeito sobre a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Nesse sentido, a otimização do sequestro de carbono no solo em sistemas agrícolas é uma das estratégias para compensar os aumentos atmosféricos de  $\text{CO}_2$  e alcançar a segurança alimentar por meio de melhorias na qualidade do solo (DOSSOU-YOVO et al., 2016).

Em adição, a formação de reservas de carbono no solo frequentemente aumenta a produtividade potencial desses solos. Além disso, muitas das medidas que promovem o sequestro de carbono no solo também impedem a sua degradação, evitando a erosão e melhorando a estrutura do mesmo. Consequentemente, muitas práticas de conservação de carbono visam manter ou melhorar a fertilidade, produtividade e resiliência dos recursos do solo (SMITH et al., 2007; SÁ et al., 2017).

## **2.2 Produção e emissão de $\text{CO}_2$ do solo**

Dentre os gases responsáveis pelo efeito estufa, o  $\text{CO}_2$  é o que mais contribui para esse fenômeno, devido à grande quantidade emitida na atmosfera, sendo considerado o mais importante GEE de origem antropogênica (IPCC, 2007). De

acordo com o IPCC (2007) as emissões anuais de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentaram em 80% entre 1970 e 2004. A maior parcela dessas emissões é proveniente das mudanças no uso da terra, em particular da conversão de áreas com vegetação natural para a pastagem e a agricultura.

A produção de CO<sub>2</sub> no interior do solo é um processo relacionado à atividade biológica, como a respiração de raízes e a decomposição da matéria orgânica pela atividade microbiana, influenciada pela temperatura e umidade do solo. No caso de solos desprovidos de vegetação, a produção de CO<sub>2</sub> em seu interior é totalmente relacionada à atividade microbiana (EPRON et al., 2006; LAL, 2009).

O CO<sub>2</sub> emitido dos solos agrícolas é resultante de interações entre o clima e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (LAL, 2009; PANOSSO et al., 2011). Dentre os físicos destacam-se os atributos: densidade do solo (XU; QI, 2001), textura (DILUSTRO et al., 2005), porosidade livre de água (PANOSSO et al., 2011), preenchimento de água nos poros (SMART; PEÑUELAS, 2005) e oxigenação do solo (CHEN et al., 2010), além da temperatura do solo (USSIRI; LAL, 2009; SILVA-OLAYA et al., 2013) e da umidade do solo (LA SCALA et al., 2006; MOITINHO et al., 2013).

Contudo, a grande maioria desses atributos físicos relacionam-se à emissão de CO<sub>2</sub> por afetarem de alguma forma a comunidade microbiológica do solo e/ou a formação, a estabilização e a decomposição da matéria orgânica do solo (DOSSOU-YOVO et al., 2016).

No entanto, o mecanismo de emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera também envolve o processo de difusão de CO<sub>2</sub> que é controlado principalmente pela interação entre o espaço poroso e o conteúdo de umidade do solo (DOSSOU-YOVO et al., 2016).

As condições climáticas também são determinantes na intensidade dessas emissões promovendo variações diárias, pois atuam diretamente sobre a temperatura e a umidade do solo (SOTTA et al., 2006; HERBST et al., 2012), promovendo efeitos sobre a atividade microbiana e de raízes (TSAI et al., 1992).

As precipitações afetam a dinâmica entre o movimento de água e gases no interior do solo. Elevações no conteúdo de água no solo, com a ocorrência de eventos pluviométricos, favorecem a expulsão de quantidades significativas de CO<sub>2</sub> do interior

do solo, devido à infiltração de água nos espaços porosos (VARELLA et al., 2004; SMART; PEÑUELAS, 2005).

Contudo, cabe ressaltar que os fatores ambientais flutuam e, portanto, seus efeitos sobre a emissão de CO<sub>2</sub> também possuem grande variação, pois estão associados ao manejo do solo (preparo, ausência ou presença de cobertura vegetal) e até mesmo com suas características texturais, uma vez que a respiração do solo é mais sensível a alterações bruscas no teor de água, em solos argilosos do que em solos arenosos (KAINIEMI, 2014).

Entre os processos de mitigação, o solo é considerado um importante reservatório de carbono. A emissão de CO<sub>2</sub> a partir do solo é a segunda maior componente do ciclo global do carbono e é importante na variação climática. A decomposição da matéria orgânica do solo é elevada pela perturbação física causada pelo preparo do solo. Portanto, dependendo do tipo de solo e do sistema de manejo, os solos são importantes fontes ou sumidouros de carbono (SILVA-OLAYA et al., 2013).

Assim, dependendo do uso e manejo, os solos podem ser uma importante fonte ou sumidouro de carbono (CERRI et al., 2007). A estocagem de carbono nos solos é uma função do balanço de carbono (entrada e saída), cujas entradas ocorrem na forma de resíduos vegetais, raízes ou fertilizantes orgânicos (fonte). Por outro lado, as liberações de carbono são decorrentes da mineralização de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo e ocorrem na forma de CO<sub>2</sub> (SIX et al., 2006).

### **2.3 Manejos do solo e o seu papel na emissão de CO<sub>2</sub> do solo**

As atividades de preparo do solo, procedimento comum na agricultura convencional, influenciam significativamente no fluxo de CO<sub>2</sub>, independente das condições edáficas, conforme apontam vários estudos (FORTIN; ROCHETTE; PATTEY, 1996; REICOSKY; DUGAS; TORBERT, 1997; LA SCALA et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2010; SILVA-OLAYA et al., 2013; IAMAGUTI et al., 2015) que, embora conduzidos em diferentes tipos de solos e clima, apresentam similaridades nos padrões da emissão de CO<sub>2</sub>.

O intenso preparo do solo, inicialmente gera elevações na respiração do solo, como reflexo da mudança em sua porosidade e, intensifica a atividade decompositora

dos microrganismos, devido à exposição do carbono antes protegido no interior dos agregados, à maior oxigenação do solo, e às temperaturas mais elevadas (REICOSKY; LINDSTROM, 1993; BEARE et al., 1994), ocasionando aumentos na emissão de CO<sub>2</sub> e decréscimos no carbono estocado no solo (KANG et al., 2003). Já o efeito do preparo ao longo prazo sobre o fluxo de CO<sub>2</sub> parece estar mais relacionado às alterações nas propriedades do solo (KESSAVALOU et al., 1998), principalmente em sua estrutura.

O preparo convencional do solo consiste da movimentação do solo, com o revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água, e o destorroamento e nivelamento da camada arada de solo por meio de gradagens do terreno (SANTIAGO; ROSSETO, 2009).

O preparo do solo possivelmente exerce maior influência no comportamento físico do solo, pois interfere diretamente na sua estrutura, provocando alterações na porosidade, na densidade, na retenção e armazenamento de água, bem como, na estabilidade dos agregados. Além disso, também exerce influência nos grupos biológicos que participam dos processos físicos e químicos que ocorrem no solo (TAVARES FILHO; TESSIER, 2009).

Deste modo, a maior aeração do solo propiciada pelo preparo pode refletir na elevação da respiração do solo, devido a intensificação da atividade decompositora aeróbia dos microrganismos (REICOSKY; LINDSTROM, 1993; BEARE et al., 1994; KANG et al., 2003).

As práticas de preparo do solo que acarretam na pulverização do mesmo, a exemplo do emprego da enxada rotativa afetam significativamente a sua estrutura, ao contrário do preparo que consiste apenas na desagregação de torrões e nivelamento da superfície do solo, por meio do uso de grades aradora e niveladora (PIRES et al., 2017).

Desta forma, os efeitos da deformação combinado com a variação da porosidade afetam a transmissão da pressão da água nos poros (TSAI; JANG, 2014).

A dissipação do excesso da pressão da água nos poros em solos argilosos causa o fenômeno da consolidação (TSAI; JANG, 2014; FENG; YIN, 2017).

A consolidação apresenta padrões distintos para solos cultivados e não cultivados. Para os solos cultivados, há efeitos adicionais e importantes como o efeito do preparo do solo e das pressões radiculares (STRECK; COGO, 2003), precipitações (REICOSKY; ARCHER, 2007), ciclos de umedecimento e secagem do solo, além das espécies cultivadas e da comunidade microbiana (DRESCHER et al., 2016; REICHERT et al., 2016), as quais contribuem para o processo de consolidação da superfície do solo. Enquanto que para solos não cultivados, a consolidação ocorre exclusivamente por gravidade, processos de secagem por molhamento e impacto direto das gotas de chuva (STRECK; COGO, 2003).

Em relação ao manejo mais conservacionista do solo, as práticas de semeadura direta, causam menos distúrbio ao solo, muitas vezes resultando em acúmulo significativo de carbono e consequente reduzindo as emissões de GEE, especialmente, o CO<sub>2</sub> (CERRI et al., 2007). Estima-se que a contribuição do sistema de cultivo de semeadura direta para a mitigação de CO<sub>2</sub> é de até 24,3% (SÁ et al., 2017). E é especialmente eficaz quando combinado com outros métodos de gestão agrícola (SÁ et al., 2017).

A manutenção de resíduos culturais sobre a superfície do solo no sistema de semeadura direta, forma uma barreira física que contribui para elevar sua rugosidade, que, em associação ao seu mínimo ou nulo revolvimento, favorece um controle mais eficaz da erosão hídrica. Essa cobertura dissipa a energia da chuva e, em parte, da enxurrada, protege a superfície do solo do selamento, com isso aumenta a taxa de infiltração, aumentando a proteção do solo à erosão (LEITE et al., 2004; PES, 2009).

Desta forma, os sistemas de semeadura direta propiciam maiores estoques de carbono orgânico no solo. O aumento do armazenamento de carbono sob semeadura direta é atribuído principalmente ao maior conteúdo de carbono orgânico particulado, na camada superficial do solo. A semeadura direta também causa mudança na distribuição e estabilidade do tamanho de agregado do solo; e uma relação direta entre a matéria orgânica do solo, a atividade microbiana e o tamanho e a estabilidade dos agregados (FERNÁNDEZ et al., 2010).

Existem poucos estudos de investigação sob a consolidação do solo, devido à dificuldade em se quantificar a variação do solo e os impactos resultantes nas mudanças em sua estrutura.



## 2.4 Efeito das propriedades físicas do solo sobre a emissão de CO<sub>2</sub>

Os solos são considerados grandes reservatórios naturais de carbono. Em uma escala global, solos de até 1,0 m de profundidade podem conter até 1.500 Gt C (Gigatonelada de carbono), o equivalente a quase três vezes a quantidade de carbono presente na biomassa terrestre e duas vezes a quantidade estocada na atmosfera (BRUCE et al., 1999). Assim, a compreensão dos fatores que contribuem para as perdas de CO<sub>2</sub> em solos agrícolas é fundamental para determinar as estratégias de redução das emissões desse gás e ajudar a mitigar o efeito estufa adicional no âmbito agrícola.

As trocas de gases entre o solo e a atmosfera são governadas por dois mecanismos: movimento de gás de uma zona de maior concentração para a outra de menor (difusão), e fluxo de massa, ocasionado pelo movimento conjunto do ar do interior dos solos misturados ao gás, respondendo a um gradiente de pressão, que varia em função de textura, estrutura e teor de umidade do solo (BALL; SMITH, 1991; KANG et al., 2000). Sendo o principal mecanismo de movimento do CO<sub>2</sub> do solo ocorrendo por meio de difusão (PEREIRA; CRUCIANI, 2009).

A difusão é um processo espontâneo de movimento de uma substância, podendo estar em estado líquido ou gasoso, de um local para outro adjacente, onde a concentração da substância em questão é menor (INCROPERA; DEWITT, 2003).

Devido ao fato do ar apresentar menor densidade que o CO<sub>2</sub>, naturalmente o CO<sub>2</sub>, em baixas concentrações, tende a permanecer em locais porosos mais profundos no perfil do solo (LUO; ZHOU, 2006). Esta diferença de potencial entre o solo e a atmosfera cria um fluxo ascendente de CO<sub>2</sub> (BALL; SMITH, 1991).

Tanto a liberação de GEE do solo como o armazenamento do carbono no solo estão ligados aos poros do solo e à estrutura agregada. A agregação está diretamente relacionada ao armazenamento de carbono orgânico do solo e afeta o movimento de gases e água no solo influenciando os processos biológicos no solo e as características dos poros que regulam o fluxo de água e gases. A decomposição da matéria orgânica do solo pode variar nos solos entre diferentes classes de tamanho agregado. Além disso, os agregados do solo de diferentes tamanhos também se comportam de forma diferente em relação ao acúmulo de carbono, com a maior

quantidade de carbono tipicamente encontrada em agregados de tamanho médio (1-4 mm) (MANGALASSERY et al., 2013).

A porosidade do solo e o teor de matéria orgânica desempenham um papel crucial na produtividade biológica e na hidrologia de solos agrícolas. Os poros são de tamanho, forma e continuidade diferentes, e essas características influenciam a infiltração, o armazenamento e a drenagem da água, o movimento e a distribuição dos gases e a facilidade de penetração do solo para as raízes (KAY; VANDENBYGAART, 2002).

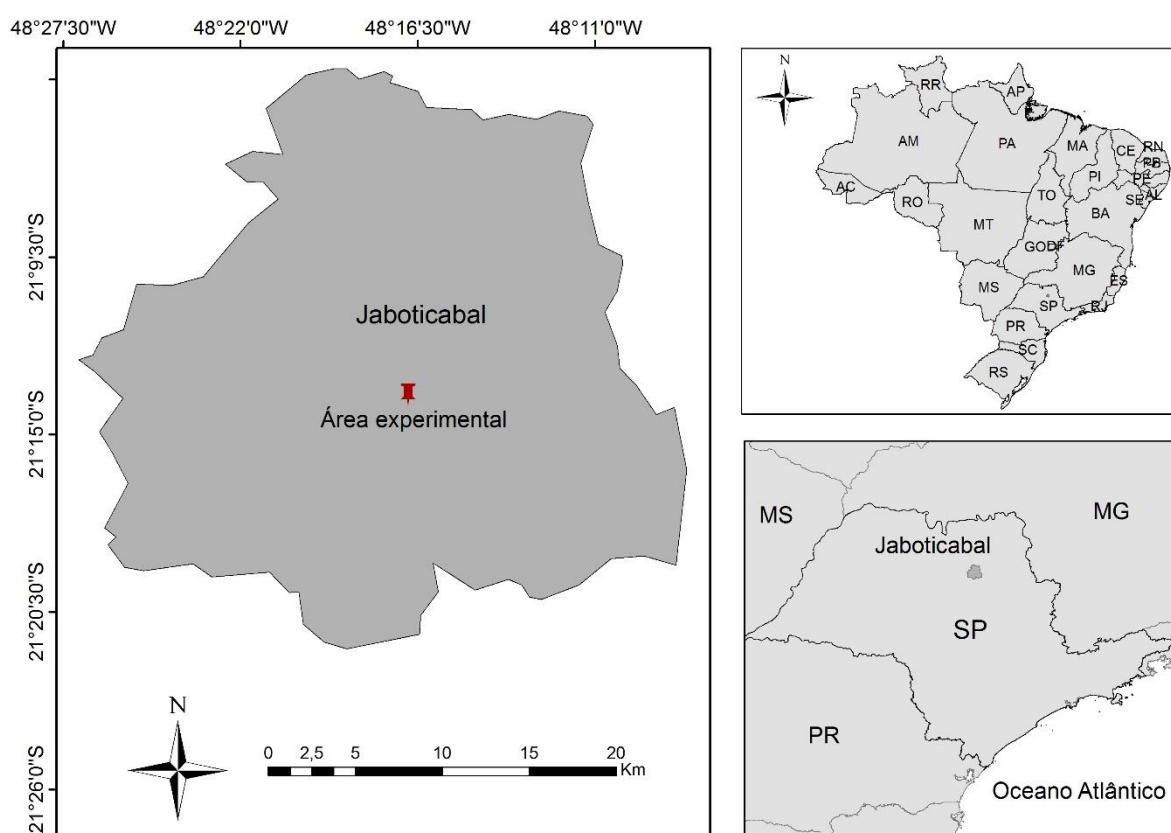
A textura do solo e a topografia também podem contribuir para a variação espacial e temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (BRITO et al., 2010; HERBST et al., 2012; FÓTI et al., 2016). As propriedades texturais do solo condicionam a variação espacial dos teores de água no solo, que influenciam diretamente a variação espacial da respiração em solos sem cobertura vegetal (HERBST et al., 2012).

Um dos indicadores de compactação no solo é a resistência do solo à penetração, que descreve a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover por meio dele, o que pode favorecer ou dificultar a movimentação de ar e gás no solo (GENRO JÚNIOR et al., 2004).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área em estudo

O estudo foi conduzido em área agrícola localizada no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil (21°15' S 48°18' O) (Figura 1). A área é destinada a produção de milho (*Zea mays* ssp.), sendo manejada sob sistema semeadura direta por mais de seis anos. Anteriormente à conversão em sistema semeadura direta era empregado o monocultivo da soja (*Glycine max* spp.).



**Figura 1.** Área experimental agrícola localizada no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa A moderado caulínítico hipoférrico (SANTOS et al., 2013), e relevo suavemente ondulado (< 3%). A textura média da camada superficial na camada de 0,10m é de de 652 g kg<sup>-1</sup> de areia, 329 g kg<sup>-1</sup> de argila e 19 g kg<sup>-1</sup> de silte.

O clima é definido como B<sub>1r</sub>A'a' úmido, sem ou com pequena deficiência hídrica, megatérmico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). A precipitação anual está em torno de 1.425 mm, com a distribuição de chuva concentrada no período de outubro a março, e relativamente seco de abril a setembro.

O experimento foi conduzido em três áreas adjacentes, nas quais foram realizados dois sistemas de preparo do solo: (i) enxada rotativa e grade niveladora convencional representando um preparo mais intenso do solo (PI) e, (ii) grade aradora e grade niveladora caracterizando um preparo reduzido (PR). A terceira área envolvida no estudo refere-se ao sistema semeadura direta (SD) cujo solo não foi revolvido. A profundidade de trabalho em ambas as áreas com preparo foi de 0,20 m.

Após o preparo foram conduzidos 17 dias de avaliações compreendidos num período total de 29 dias (04; 05; 06; 07; 09; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 17; 18; 19; 22 e 25 de fevereiro de 2016 e 03 de março de 2016).

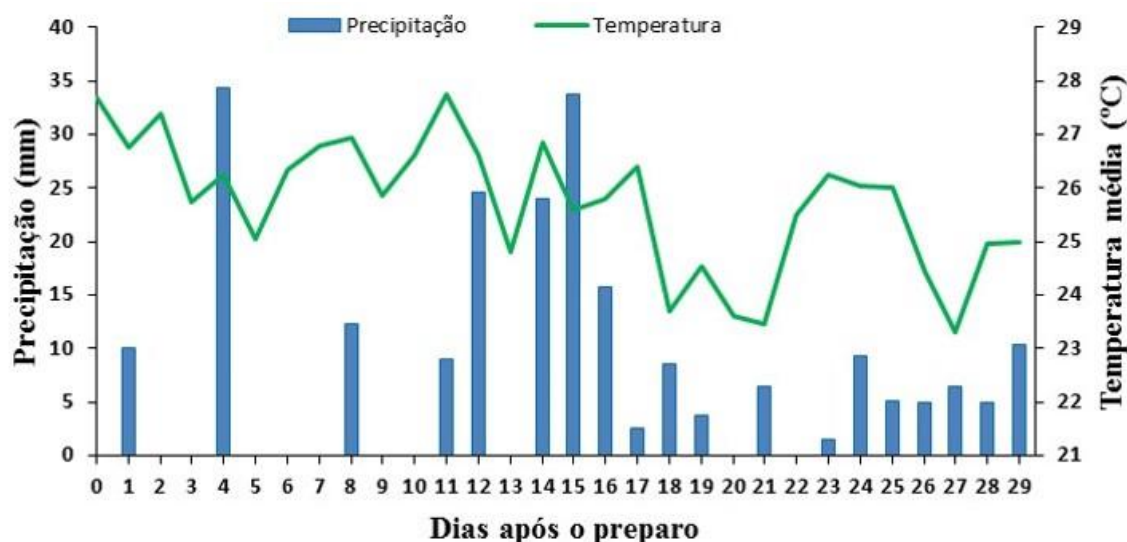
O preparo intensivo (PI) foi conduzido com implemento constituído de enxadas rotativas que, em alta rotação, cortam o solo havendo a quebra dos torrões de solo e a pulverização do solo, e posterior passagem de grade niveladora na profundidade de trabalho de 0,20 m.

O preparo reduzido (PR) consistiu na utilização de uma grade intermediária de arrasto de dupla ação deslocada, com 28 discos de 28" do tipo recortado sendo 14 discos na seção dianteira e 14 na seção traseira. A largura de trabalho do implemento é de 3,50 m e a profundidade de trabalho de 0,25 m. Foram realizadas duas passadas com a grade a uma velocidade média de aproximadamente 7 km h<sup>-1</sup>, a segunda imediatamente após a primeira, de forma a simular o efeito da grade aradora.

As operações mecanizadas de preparo do solo foram realizadas com o uso de um trator CASE MX240 de 240 cv de potência a 2.000 rpm, ao qual foram acoplados os implementos utilizados em cada sistema de preparo do solo.

Após o preparo, foram conduzidas as avaliações de FCO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo e a coleta de amostras para a determinação dos atributos físicos do solo. No presente estudo, essas datas foram identificadas como, dias após as atividades de preparo do solo, e correspondem aos dias: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 22, 29.

A temperatura média do ar e os eventos de precipitação durante o período de estudo são apresentados na Figura 2. Esses dados foram obtidos na Estação Agroclimatológica da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), Câmpus de Jaboticabal, SP que fica localizada a 200 metros da área experimental.

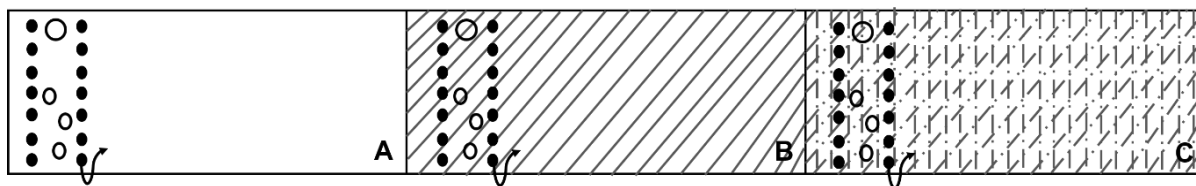


**Figura 2.** Precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C) durante o experimento. As setas indicam os dias de avaliação.

Para a condução das avaliações, em cada área foram demarcados 14 pontos amostrais (totalizando 42 pontos) com distância mínima de 5 m entre pontos. Para esta marcação foram inseridos no solo colares de PVC (com 10 cm de diâmetro) a uma profundidade de 3 cm.

Esses 14 pontos amostrais foram movimentados ao longo da área no decorrer dos dias do experimento para se evitar a influência do pisoteio na  $\text{FCO}_2$  e no rearranjo de partículas do solo e assim capturar o processo natural de consolidação do solo ao longo dos dias após as atividades de preparo do solo.

O procedimento para movimentação dos colares era conduzido ao final da avaliação do dia, sendo que cada colar era retirado e novamente inserido no solo 5 m a frente para a posterior avaliação. Este procedimento foi adotado nas três áreas em estudo (Figura 3).



**Figura 3.** Croqui da área experimental: semeadura direta (A); preparo reduzido (B) e preparo intensivo (C). As circunferências preenchidas representam os colares de PVC, enquanto as circunferências sem o preenchimento representam a coleta de solo que ocorreram de forma aleatória entre os colares de PVC. As setas indicam a movimentação dos pontos amostrais que aconteceram diariamente após as avaliações.

### 3.2 Avaliação da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo

As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> do solo foram conduzidas nos períodos da manhã (08 às 10 h), sendo registradas utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100), Nebraska EUA. Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, nos pontos a serem avaliados. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO<sub>2</sub> dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região espectral do infravermelho (IRGA *Infrared Gas Analyzer*). Concomitantemente as avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> foram avaliadas a temperatura (Tsolo) e a umidade do solo (Usolo).

As avaliações da T<sub>solo</sub> foram realizadas na camada de 0,20 m de profundidade, utilizando-se de um termômetro portátil. A U<sub>solo</sub> foi avaliada também em todos os pontos amostrais, utilizando-se de um sistema portátil TDR-Campbell® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Australia), constituído por uma sonda com duas hastes de 0,20 m, as quais foram inseridas no interior do solo, perpendicular em relação à superfície. O valor da umidade do solo é derivado a partir do tempo que uma corrente elétrica leva para percorrer a distância de 32 mm de uma haste a outra.

### 3.3 Determinação dos atributos físicos e carbono do solo

Foram coletadas diariamente uma amostra deformada e três amostras indeformadas de solo (coletadas com anéis volumétricos, com dimensões de 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro) em cada área experimental na profundidade de 0,10 m, totalizando 204 amostras. A partir da amostra deformada foram determinados a

granulometria, os teores de carbono orgânico (CO), carbono orgânico particulado (COP), o índice de estabilidade de agregados (IEA) e o diâmetro médio ponderado (DMP).

Para determinação da resistência do solo à penetração (RP) as amostras indeformadas foram colocadas para saturar por um período de 24h. Em seguida foram colocadas na mesa de tensão para determinação da RP no potencial de -0,01Mpa (TORMENA et al., 1998).

A densidade do solo foi obtida após a determinação da RP onde as amostras foram levadas a estufa a 105 °C por um período de 24h para obtenção da massa de solo seco e dessa forma obter a densidade do solo, que expressa a relação entre a massa do solo seco e o volume da amostra (BLAKE; HARTGE, 1986) e a porosidade total foi obtida conforme descrito por Danielson e Sutherland (1986).

A microporosidade foi determinada pelo conteúdo de água retida no solo no potencial de -0,006 MPa. A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Para a determinação da distribuição de poros por tamanho, foi utilizada a relação entre a tensão (0, 30, 60 e 80 cm de coluna de água) da água retida em tubos capilares, e o diâmetro dos poros foi determinado por meio da equação 1:

$$d = \frac{0,3}{h} \quad (1)$$

em que, d é o diâmetro dos poros em cm e h é a altura da coluna de água equivalente à tensão aplicada em cm de coluna de água (BRADY; WEIL, 2013).

O volume ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) equivalente ao diâmetro do poro em cada tensão aplicada foi obtido pela diferença entre o volume de água correspondente à tensão anterior aplicada e o volume correspondente à tensão aplicada dividido pelo volume total da amostra. Assim, foram determinadas quatro classes de poros. Sendo C1 (0,0600 – 0,0075  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), C2 (0,0100 - 0,0075  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), C3 (0,0060  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e C4 (0,0050  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) correspondentes aos macroporos, e C5 (0,0043  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), C6 (0,0038 – 0,0033  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), e C7 ( $\geq 0,0030 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) correspondentes aos microporos.

A porosidade livre de água (PLA) foi calculada pela diferença entre a fração da porosidade preenchida por água, determinada pela Usolo e o volume total de poros (VTP).

A análise granulométrica foi realizada conforme metodologia descrita por Gee e Bauder (1986).

As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas através de peneiras com abertura de malha de 2 mm e, posteriormente, submetidas às análises químicas para determinação dos teores de carbono orgânico (YEOMANS; BREMNER, 1988).

O fracionamento físico constituiu da obtenção das frações particulada ( $> 53 \mu\text{m}$ ), conforme procedimento descrito por Cambardella e Elliot (1992). A fração particulada foi seca em estufa a  $50^\circ\text{C}$ , moído em gral de porcelana e submetida à análise para determinação do carbono orgânico (YEOMANS; BREMNER, 1988).

O índice de estabilidade de agregados foi obtido de acordo com a metodologia descrita por Nimmo e Perkins (2002), no qual foram pesados 4g de agregado com diâmetro entre  $\approx 1\text{-}2\text{ mm}$ , esses foram colocados para agitar por 3 minutos no aparelho de oscilação vertical (YODER, 1936), com uma amplitude de oscilação de 1,3 cm e rotação de 35 rpm.

Para obtenção do diâmetro médio ponderado foram pesados 25 g de agregado com diâmetro de 3-4 e 6, mm (NIMMO; PERKINS, 2002), e posteriormente colocados no aparelho de oscilação vertical (YODER, 1936). Nesse aparelho as amostras passaram em seis peneiras, com dimensões de 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm, com isso obteve-se os agregados de solo com essas classes de diâmetro.

Os agregados ficaram imersos em água e receberam agitações leve no sentido vertical por 10 minutos. Em seguida, os agregados foram agitados por mais 10 minutos, e depois foram colocados na estufa à  $105^\circ\text{C}$  por 24h. A partir da obtenção dos valores de massa seca foi calculado o DMP (diâmetro médio ponderado).



### 3.4 Processamento e análise de dados

A análise da variância foi realizada em delineamento inteiramente casualizado considerando medidas repetidas no tempo, para as variáveis FCO<sub>2</sub>, Tsolo, Usolo, densidade, RP, PLA, C1, C2, C3, C4, C5, C6, e C7.

A comparação das médias diárias da FCO<sub>2</sub> e dos atributos acima listados para os diferentes sistemas de manejo foi realizada utilizando-se o teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Para a verificação das pressuposições do modelo, realizou-se o teste de esfericidade da matriz de variâncias e covariâncias entre tempos. A hipótese de esfericidade das matrizes de variância e covariância não foi rejeitada para todas as variáveis estudadas.

Para CO, COP, DMP e IEA foi realizada a análise da variância em delineamento inteiramente casualizado. As análises da variância foi realizada utilizando o programa R Core Team (2016).

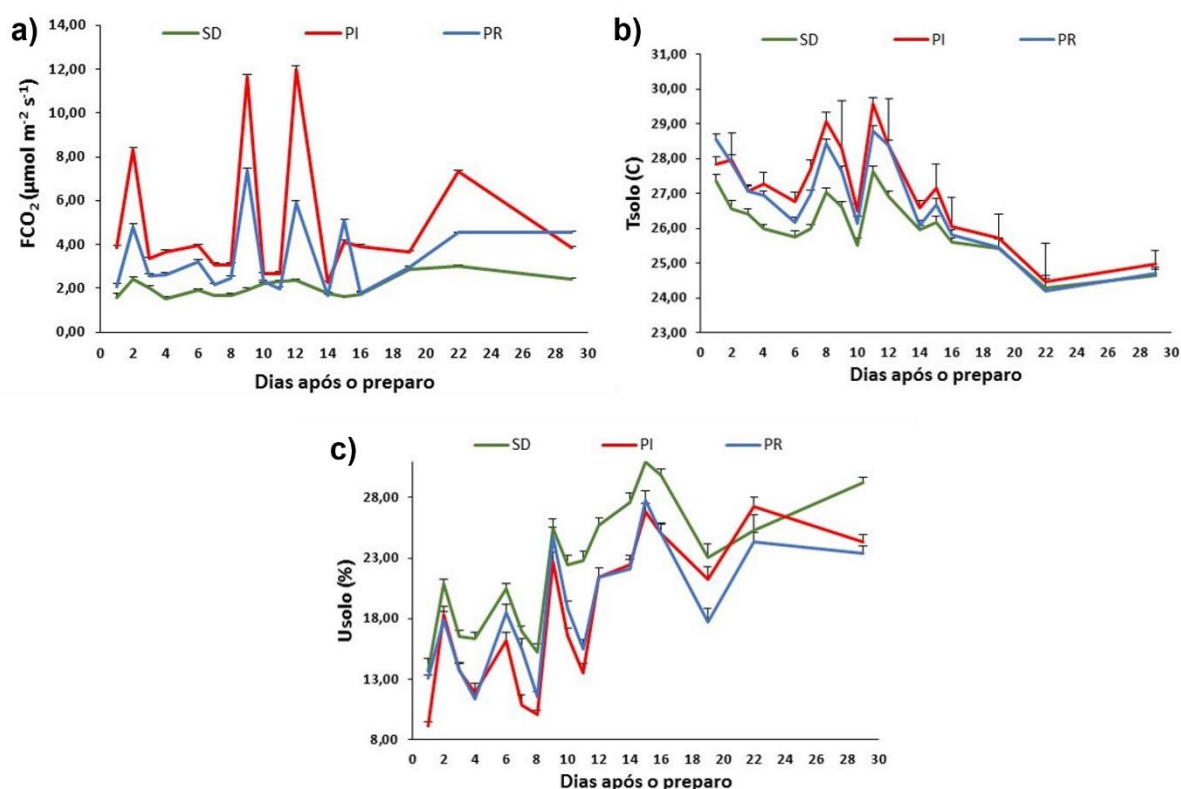
A análise de regressão múltipla foi realizada para cada manejo, por meio do método *Stepwise/Forward* de seleção de variáveis e conduzida no sistema SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, CARY, NC, EUA).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variação temporal da FCO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo

A análise de variância de medidas repetidas no tempo para FCO<sub>2</sub> indicou significância ( $F=10,79$ ;  $p<0,0001$ ) para a interação entre os manejos e o tempo (dias de avaliação). Portanto, o padrão de variação temporal da FCO<sub>2</sub> difere em função dos manejos.

No primeiro dia de avaliação, o efeito do preparo do solo sobre a FCO<sub>2</sub> pode ser observado quando comparada a emissão no manejo SD ( $1,56 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) aos manejo PI ( $3,86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e PR ( $2,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Assim, observa-se um aumento na FCO<sub>2</sub> de 147% em PI e 32% em PR decorrente do efeito da descompactação do solo (Figura 4a).



**Figura 4.** Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>) ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); b) temperatura do solo (°C); c) umidade do solo (%).

Após o preparo do solo ocorre um aumento na aeração, posteriormente maior acessibilidade ao oxigênio na camada superficial, necessário para atividade aeróbia da microbiota do solo (KLEIN; LIBARDI, 2002).

Em adição, com o rompimento dos agregados parte do carbono anteriormente protegido fisicamente no interior do agregados fica exposto à ação microbiana (SIX; ELLIOTT; PAUSTIAN, 1999; JACINTHE; LAL, 2005; LA SCALA et al., 2006), resultando em maiores valores de  $FCO_2$  para PI e PR, quando comparado com o SD (Figura 4a). Além disso, os ciclos de temperatura e umidade do solo são afetados, sendo assim, espera-se que a  $FCO_2$  e sua variabilidade temporal sejam governadas pela variabilidade temporal da temperatura e umidade do solo, ou ambos.

No decorrer dos dias observou-se alterações na  $FCO_2$  influenciadas por eventos de precipitação (Figura 2). A precipitação de 12,3 mm, no dia 8, ocasionou uma variação da  $FCO_2$  de 3,09 a 11,76  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (dia 9) no PI e de 2,49 a 7,40  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no PR. Esse aumento da  $FCO_2$  no PI e PR possivelmente está relacionado com a também elevação na umidade do solo em mesmo período (Figura 4c).

Já a presença da palha sobre a superfície do solo em semeadura direta (SD) diminuiu o efeito das precipitações sobre a  $FCO_2$  (Figura 4a) pois a palhada constitui uma barreira física a entrada abrupta de água no solo.

O aumento da  $FCO_2$  induzido pelo preparo do solo foi observado por Iamaguti et al. (2015) ao avaliarem manejos do solo com diferentes preparos. Em adição, De Figueiredo et al. (2015) observaram que a presença da palhada diminui em 36% a emissão de  $CO_2$ , já com a incorporação da mesma por meio do preparo ocorre um aumento de 57% na  $FCO_2$ .

No presente estudo, o efeito do preparo do solo é observado até o 22º dia quando os manejos foram avaliados, foi observado também que os solos sob preparo apresentaram padrão similar de variação temporal para  $FCO_2$ , iniciando um processo de estabilização da emissão a partir do 22º dia (Figura 4a).

Para a temperatura do solo ( $T_{\text{solo}}$ ), também verificou-se efeito significativo para a interação entre os manejos e os dias de avaliação ( $F=20,64$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 4b).

No período compreendido entre o 1º ao 6º dia ocorreu diminuição da  $T_{\text{solo}}$  nos três manejos avaliados. Neste período o solo sob SD apresentou variação de 27,4 °C (1º dia) a 25,8 °C (6º dia), o solo sob PI de 28,0 °C (2º dia) a 26,8 °C (6º dia) e, o solo

sob PR de 28,6 °C (1º dia) a 26,2 °C (dia) (Figura 4b). A queda observada nesse período possivelmente decorre dos eventos de precipitação com a consequente diminuição da temperatura média do ar (Figura 2).

No 11º dia ocorreram as maiores médias diárias da T<sub>solo</sub> em todos os manejos e também a maior média da temperatura do ar, sendo que o solo sob PI (29,6 °C) apresentou temperatura com 2,1 °C mais elevada em relação ao manejo SD (27,5 °C) (Figura 4b)

Em relação a temperatura, a presença da cobertura vegetal no manejo SD propiciou os menores valores diários para esta variável, com exceção do 14º e 22º dias. De Figueiredo et al. (2015) também encontraram menores valores da temperatura e maiores valores de umidade do solo nas áreas com palhada.

Para a U<sub>solo</sub> também foi observada interação significativa entre o tempo e os manejos avaliados ( $F=4,89$ ;  $p<0,0001$ ). No 1º dia, o solo sob os manejos SD (13,70%) e PR (13,06%) apresentaram os maiores valores médios de umidade seguido do solo sob PI (9,18%) (Figura 4c).

A palhada remanescente da colheita da cultura do milho em SD propicia condições mais estáveis de temperatura do solo e auxilia na manutenção do teor de água do solo (USSIRI; LAL, 2009; CORRADI et al., 2013).

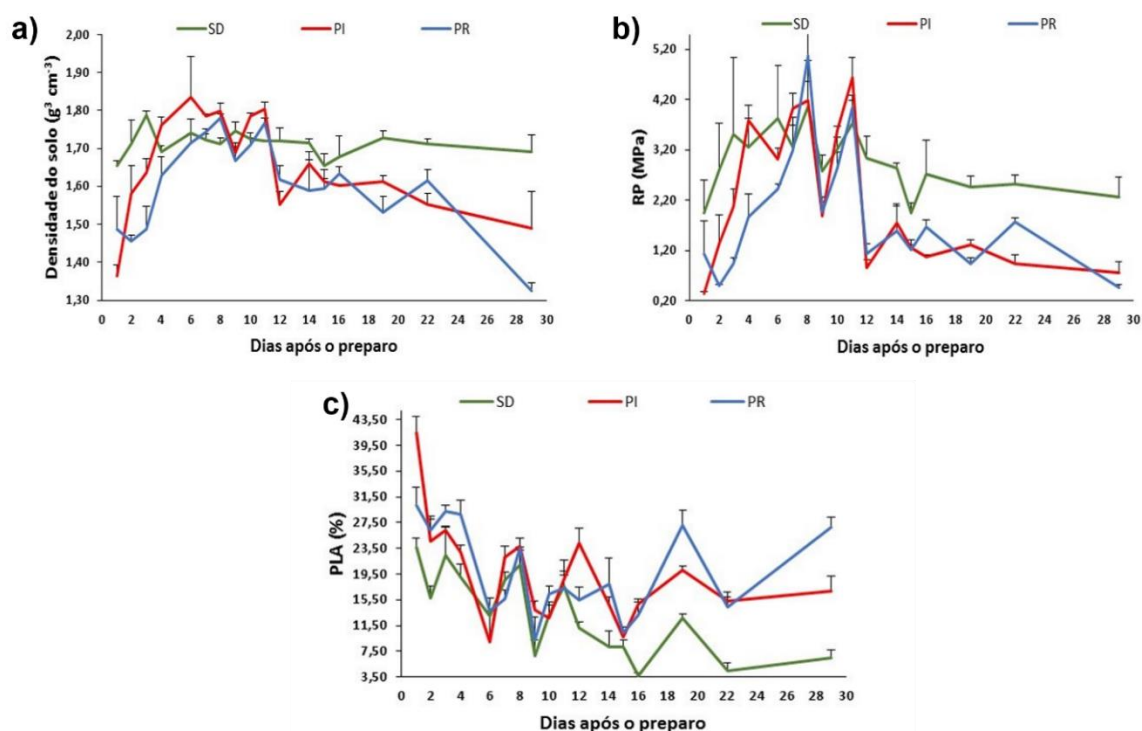
O teor de umidade presente no solo é um fator importante quando da avaliação da FCO<sub>2</sub>. Dependendo desse conteúdo, a FCO<sub>2</sub> pode ser tanto favorecida quanto inibida, uma vez que esse afeta a mobilidade microbiana e a difusão de gases no solo. Esses efeitos são decorrentes principalmente da interação entre o teor de umidade e o espaço poroso do solo (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008).

Os maiores valores médios da T<sub>solo</sub> e menores da U<sub>solo</sub> nos manejos com efeito do preparo em relação ao manejo SD são decorrentes da ausência da palhada e maior superfície exposta do solo sob preparo, associado a maior aeração, o que facilita a evaporação da água e, consequentemente, leva à redução da umidade do solo (MOITINHO et al., 2013).

## 4.2 Variação dos atributos físicos em função da reorganização das partículas do solo

Para a densidade do solo ( $F=4,01$ ;  $p<0,0001$ ) e a resistência do solo à penetração (RP) ( $F=2,26$ ;  $p<0,0001$ ) foi observada significância para a interação entre os manejos e o tempo (Figuras 5a e 5b, respectivamente). Em relação a densidade do solo os manejos não diferiram entre si, no período compreendido entre 4º ao 11º dia após o preparo do solo. Para a RP não houve diferença entre os manejos no período compreendido entre o 6º e o 10º dia.

No entanto, de modo geral o solo sob manejo SD apresentou maiores valores médios de densidade e RP, tal fato é esperado devido as características desse solo, no qual ocorre ligeira compactação até a camada de 0-0,20 m de profundidade, quando comparado aqueles nos quais o preparo do solo foi conduzido.



**Figura 5.** Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) densidade do solo ( $g^3\ cm^{-3}$ ); b) resistência à penetração (MPa) e c) porosidade livre de água (%).

Desta forma, o solo sob SD apresentou os maiores valores médios diários de densidade, a exemplo do dia 3º dia, no qual a densidade do solo foi de  $1,79\ g^3\ cm^{-3}$

seguido do PI  $1,64 \text{ g}^3 \text{ cm}^{-3}$  e do PR  $1,49 \text{ g}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Efeito similar foi observado também em relação à RP, no 3º dia, o solo sob SD apresentou maior RP (3,51 MPa) quando comparado ao PI (2,06 MPa) e PR (0,94 MPa).

O solo sem revolvimento e com a presença de palhada apresenta, em geral, na camada superficial após algum tempo, maiores valores de densidade e menores valores de macroporosidade e porosidade total (macroporos + microporos), quando comparado aos solos sob preparo convencional, representados neste estudo por PI e PR. Isto decorre, devido à pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, principalmente em solos argilosos, que apresentam teores elevados de umidade (STONE; SILVEIRA, 2001).

Os três manejos avaliados apresentaram padrão similar de variação temporal para os atributos densidade do solo e resistência do solo à penetração, do 12º dia após o preparo até o final das avaliações (29º dia). Tal fato pode ser um indicativo do processo de consolidação dos solos em PR e PI, por meio dos mecanismos de rearranjo de partículas (REICHERT et al., 2016).

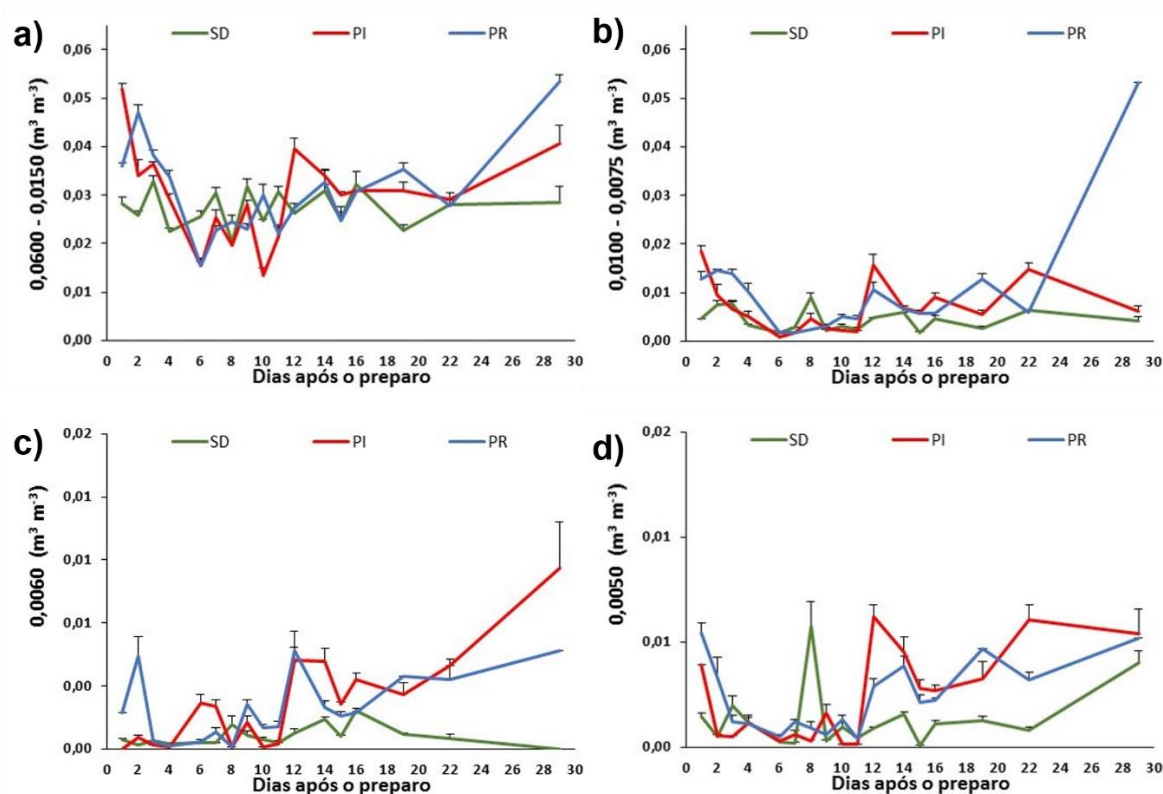
Drescher et al. (2016) avaliando os atributos do solo sob o efeito da escarificação, observaram que as mudanças nos valores da densidade do solo, porosidade total e macroporosidade decorrentes da escarificação em semeadura direta foram mantidas por um curto período de tempo, decorrente da rápida consolidação da estrutura do solo. Ainda segundo os autores, o tempo para a consolidação depende do tipo de solo, das espécies cultivadas, das precipitações e da comunidade microbiana presente neste solo.

Para a porosidade livre de água (PLA), também foi observado efeito significativo para a interação entre os manejos e o tempo de avaliação ( $F=3,63$ ;  $p<0,0001$ ). Portanto, a PLA não apresentou o mesmo comportamento ao longo do tempo quando os manejos foram comparados. No 6º dia houve um decréscimo da PLA nos três manejos: SD (12,9%), PI (8,9 %) e PR (13,7%) quando comparado ao 4º dia que apresentou valores médios de 19,0%, 22,9% e 28,8% em PD, PI e PR, respectivamente (Figura 5c).

A densidade do solo, juntamente com a PLA afetam diretamente o transporte de gás no interior do solo, tanto na entrada do oxigênio necessário para a realização da atividade dos microrganismos aeróbicos, quanto na saída do  $\text{CO}_2$  como subproduto

final dessa atividade (TEIXEIRA et al., 2012). Neste contexto, o sistema poroso é importante no estudo do solo, pois é por meio dos poros que o fluxo de água e as trocas gasosas ocorrem. Qualquer alteração neste atributo físico do solo contribui para modificar o fluxo de água e ar, afetando os processos bioquímicos que ocorrem no solo (KLEIN; LIBARDI, 2002).

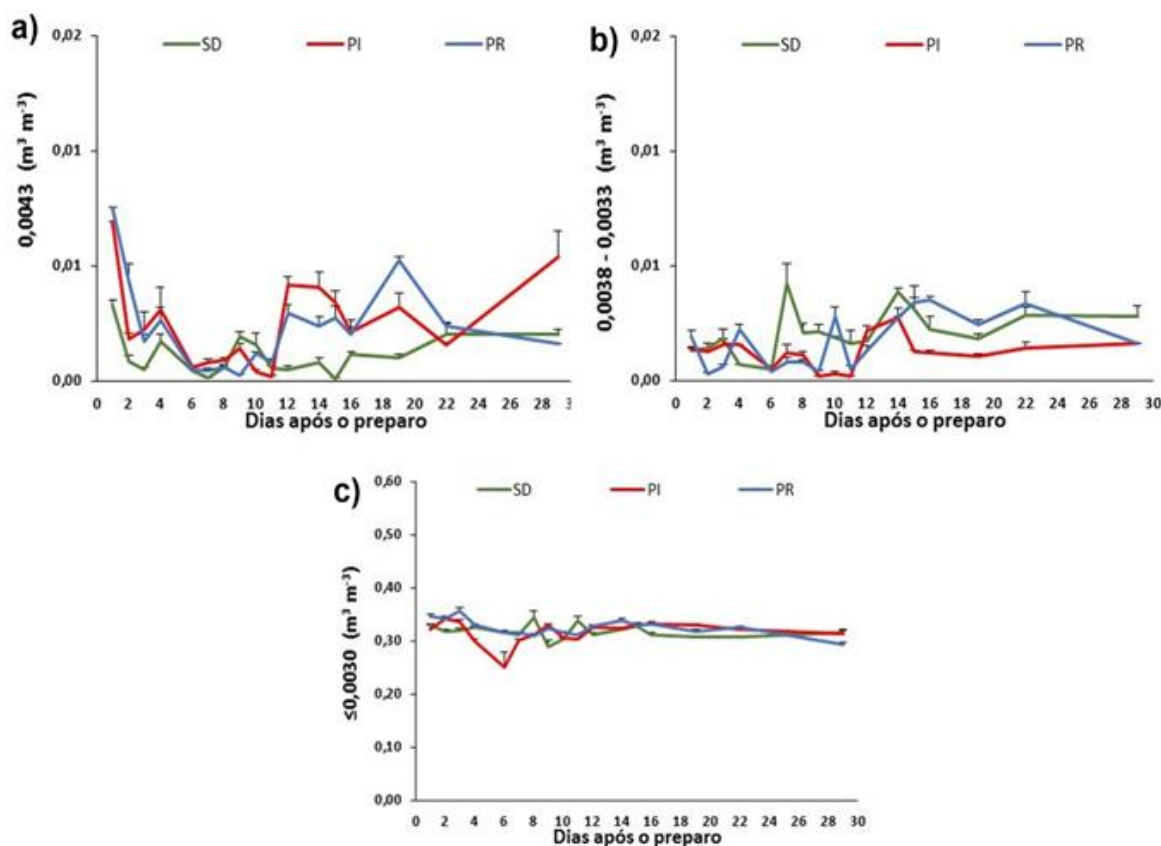
A análise da variância de medidas repetidas no tempo para a distribuição de classes de poros maiores também indicou significância para a interação entre os manejos e o tempo (dias de avaliação) para as classes: C1 ( $0,0600 - 0,0075 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $F=3,31$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 6a); C2 ( $0,0100 - 0,0075 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $F=13,96$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 6b); C3 ( $0,0060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $F=1,74$ ;  $p<0,05$ ) (Figura 6c) e C4  $0,0050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $F=28,16$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 6d).



**Figura 6.** Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) classe de poros com diâmetro de ( $0,0600 - 0,0150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C1); b) classe de poros com diâmetro de ( $0,0100 - 0,0075 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C2); c) classe de poros com diâmetro de ( $0,0060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C3); d) classe de poros com diâmetro de ( $0,0050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C4).

Essas classes de poros estão inseridas dentro da fração da macroporosidade, e, estão relacionadas as trocas de movimentação livre de ar e água de drenagem (BRADY; WEIL, 2013).

Para as classes de poros menores foi observado a interação significativa entre os manejos e o tempo de avaliação somente para a classe C5 que apresenta poros com o diâmetro de  $0,0043 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  ( $F=5,26$ ;  $p<0,0001$ ) (Figura 7a). Para a classe C6 ( $0,0030 - 0,0033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foi observado o efeito isolado do manejo ( $F=4,29$ ;  $p<0,0001$ ) e do tempo ( $F=6,18$   $p<0,0001$ ) (Figura 7b). Em contrapartida, não observou-se diferença significativa ( $p>0,05$ ) tanto para os manejos quanto para o tempo de avaliação para a classe de poros C7 ( $\geq 0,003 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (Figura 7c).



**Figura 7.** Valores médios e barras de erro-padrão da média para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). a) classe de poros com diâmetro de ( $0,043 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C5); b) classe de poros com diâmetro de ( $0,038 - 0,0033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C6); c) classe de poros com diâmetro ( $\geq 0,030 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (C7).

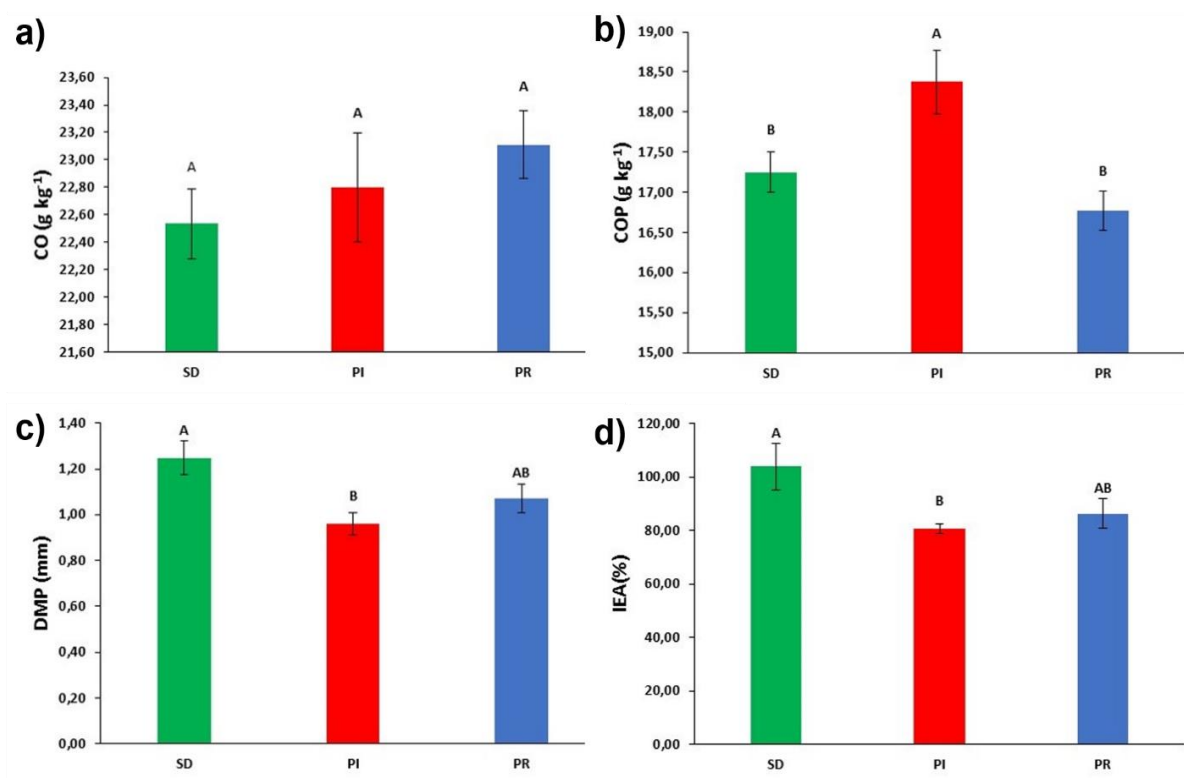
As atividades de preparo influenciam o sistema poroso do solo, que está diretamente ligado à sua estrutura. Desta forma, a retenção de água, o movimento, a



difusão de gás e as condições para toda a biota do solo estão relacionados ao sistema poroso do mesmo (PIRES et al., 2017).

#### 4.3 Teor de carbono e agregação do solo em função dos manejos avaliados

Para o carbono orgânico (CO) não houve diferença significativa ( $p>0,05$ ) entre os manejos avaliados (Figura 8a). Pelo fato do histórico das áreas antes do preparo ser o mesmo, pode ser compreendida a falta de significância. Zhao et al. (2012) em estudo similar também não encontraram diferença significativa para a concentração de carbono do solo entre os manejos, de semeadura direta e preparo com grade aradora em área sob cultivo de milho.



**Figura 8.** Carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (a), carbono orgânico particulado ( $\text{g kg}^{-1}$ ) (b), diâmetro médio ponderado (mm) (c) e índice de estabilidade de agregado (%) (d) Valores médios e barras de erro-padrão da média para o para a semeadura direta (SD), preparo intensivo (PI) e preparo reduzido (PR). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ( $p<0,05$ ).

O valor médio do carbono orgânico particulado (COP) diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os manejos: PI (18,37 g kg<sup>-1</sup>) diferiu de SD (17,25 g kg<sup>-1</sup>) e PR (16,77 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 8b). Tal fato pode ser compreendido, uma vez que a utilização da operação de grade aradora juntamente com a enxada rotativa deve ter incorporado os resíduos do milho.

Corroborando os resultados do presente estudo, Rosolem et al. (2016) avaliando a influência de gramíneas e leguminosas cultivadas como culturas de cobertura em rotação com soja sobre o carbono do solo e os níveis de N de solo não cultivado, concluíram que o cultivo de gramíneas de cobertura (milho e cobertura vegetal) favoreceu ganhos de C em frações lábeis mais elevados. O que explica a possível incorporação dos resíduos do milho, no PI aumentando o COP neste manejo.

Houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para o diâmetro médio ponderado (DMP) entre os manejos avaliados. O solo sob SD (1,25 mm) diferiu apenas com o solo sob PI (0,97 mm) (Figura 8c).

Os menores valores em PI ocorrem porque há uma tendência de que logo após o revolvimento ocorra um aumento dos poros maiores devido à quebra das camadas adensadas provocando as fraturas nos agregados, ou seja, os poros nas tensões mais baixas serão maiores. Ao contrário do que acontece em PD, entre outros fatores, a palhada serve como fonte de energia para a atividade microbiana, que atua como agente de estabilização dos agregados (CENTURION et al., 2007). Por isso tanto o DMP como o IEA foram maiores no solo sob SD (Figuras 8c e 8d).

De modo similar ao DMP, o índice de estabilidade de agregado também apresentou diferença significativa entre os manejos ( $p < 0,05$ ). O manejo SD (103,89 %) diferiu somente do PI (80,73 %) (Figura 8d).

A presença e a decomposição de raízes adicionam carbono ao solo, atuando fisicamente na formação e estabilização de macroagregados, criando um ambiente propício para processos de difusão de nutrientes, habitat de organismos, favorecendo a formação e estabilização dos agregados do solo, sendo tais efeitos característicos do sistema de semeadura direta (BAYER et al., 2004; VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

A agregação do solo é influenciada pelo manejo, por isso, quanto mais agregados estiverem retidos na primeira classe, melhor o IEA e o DMP, conseqüentemente será mais difícil haver a quebra no ponto de fraqueza,

principalmente, pela ação da água em forma de chuva, deixando esse solo mais protegido à erosão (PAGLIARINI et al., 2012).

#### 4.4 Inter-relação da FCO<sub>2</sub> com os atributos físicos e o carbono do solo nos manejos avaliados

No manejo PD, a FCO<sub>2</sub> foi estimada utilizando os parâmetros descritos na análise de regressão múltipla (Tabela1). O carbono orgânico particulado (COP) foi a primeira variável a entrar no modelo explicando 23% da variação da FCO<sub>2</sub>, a segunda variável selecionada foi o índice de estabilidade de agregado (IEA), seguida pela Usolo, que associadas adicionaram mais de 43%. Ao final das análises as variáveis: COP, IEA e Usolo explicaram juntas, 67% da variação total da FCO<sub>2</sub> (Tabela1).

**Tabela 1.** Modelo de regressão múltipla da variação temporal da FCO<sub>2</sub> em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: carbono orgânico particulado (g kg<sup>-1</sup>), Índice de estabilidade de agregado (IEA) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e Umidade do solo (%) na semeadura direta (SD).

| Atributo        | Parâmetro | EP      | <i>p</i> | R <sup>2</sup> |
|-----------------|-----------|---------|----------|----------------|
| Intercepto      | -1,24618  | 1,19485 | 0,3160   |                |
| COP             | 0,17691   | 0,07371 | 0,0059   | 0,2318         |
| IEA             | -0,01138  | 0,00282 | 0,0014   | 0,3877         |
| Umidade (Usolo) | 0,06430   | 0,01955 | 0,0321   | 0,6658         |

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

A baixa perturbação do solo no sistema da semeadura direta preserva o solo da degradação, a manutenção dos resíduos da colheita sob a superfície do solo aumenta o teor de matéria orgânica do mesmo (SILVA et al., 2016), tal fato, possivelmente explique a relação positiva do carbono orgânico particulado com a FCO<sub>2</sub>.

A semeadura direta também pode aumentar a estabilidade do agregado do solo, melhorar a sua estrutura e aumentar a resistência à erosão (SILVA et al., 2016). A quantidade de resíduos e a subsequente decomposição são fatores para maior formação e estabilização de agregados (NATH; LAL, 2017). E quanto maior for a agregação do solo, maior é a proteção do carbono orgânico o que explica a relação negativa do IEA com a FCO<sub>2</sub>.

A umidade do solo governa os processos de produção (LAL, 2009), transporte (BALL, 2013) e, conseqüentemente, a emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, uma vez que afetam a atividade microbiana e a difusão de gases.

Para o manejo PI, a resistência do solo à penetração (RP) foi a primeira variável a entrar no modelo explicando 17% da variação da FCO<sub>2</sub>. A segunda variável selecionada foi a Tsolo adicionando mais 17% e a classe de poros 5 (C5 0,0043 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) adicionou mais 19%, ao final, essas variáveis juntas explicaram 53% da variabilidade total da FCO<sub>2</sub> no manejo com o preparo mais intenso do solo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Modelo de regressão múltipla da FCO<sub>2</sub> em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: Resistência do solo à penetração (RP) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), temperatura do solo (Tsolo) (°C) e classe de poros 5 (C5) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) no preparo intensivo (PI).

| Atributo               | Parâmetro   | EP        | <i>p</i> | R <sup>2</sup> |
|------------------------|-------------|-----------|----------|----------------|
| Intercepto             | -21,51318   | 12,64246  | 0,1126   |                |
| RP                     | -2,47079    | 0,63183   | 0,0025   | 0,1721         |
| Tsolo                  | 1,26458     | 0,49154   | 0,0232   | 0,3410         |
| Classe de poros 5 (C5) | -1018,50769 | 441,25172 | 0,0381   | 0,5326         |

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

A resistência do solo à penetração (RP) integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes (TORMENA et al., 2002, 2017). A RP é influenciada pelo volume de macroporos, que está relacionado com a retenção de água, o movimento e difusão de gás, o que explica a relação negativa da RP com a FCO<sub>2</sub>.

O intenso preparo do solo gera inicialmente elevações na respiração do solo, como reflexo da mudança em sua porosidade, e intensifica a atividade decompositora dos microrganismos devido à maior oxigenação do solo e as temperaturas mais elevadas (REICOSKY; LINDSTROM, 1993; BEARE et al., 1994), ocasionando decréscimo no carbono estocado no solo (KANG et al., 2003).

A temperatura do solo é um fator importante no processo de emissão de CO<sub>2</sub>, durante e entre os dias, pois seu incremento acelera a decomposição da matéria orgânica, da atividade microbiana e das raízes (USSIRI; LAL, 2009; KARHU et al., 2014). Desta forma, a FCO<sub>2</sub> responde exponencialmente as elevações na temperatura do solo (Tabela 2).

A classe C5 ( $0,0043 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) é uma classe de poros que está inserida na fração relacionada aos microporos. Os microporos estão relacionados com a retenção de água do solo devido a adesão molecular que prende gases, vapores ou matérias em solução na superfície de corpos sólidos (BRADY; WEIL, 2013). Esta potencialidade de adesão de gases pode estar dificultando o fluxo normal de  $\text{CO}_2$ , o que explica a relação negativa com a  $\text{FCO}_2$  no PI.

Em PR também foram selecionadas três propriedades capazes de explicar a variação temporal da  $\text{FCO}_2$  neste preparo (Tabela 3). A C3 ( $0,0060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) foi a primeira variável a entrar no modelo explicando sozinha 31% da variação da  $\text{FCO}_2$ . A segunda variável a entrar no modelo foi a C4 ( $0,0050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) contribuindo com mais 25% para a explicação da variação temporal da  $\text{FCO}_2$ . Por último, a variável IEA contribuiu com 9%, totalizando 65% da variação total da  $\text{FCO}_2$  explicada por estas 3 variáveis (Tabela 3).

**Tabela 3.** Modelo de regressão múltipla da  $\text{FCO}_2$  em função das propriedades do solo que foram selecionadas pelo modelo: Classe de poros 3 (C3) ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), classe de poros 4 (C4) ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e Índice de estabilidade de agregado (IEA) ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) no preparo reduzido (PR).

| Atributo              | Parâmetro  | EP        | p      | R <sup>2</sup> |
|-----------------------|------------|-----------|--------|----------------|
| Intercepto            | 0,98236    | 1,15118   | 0,4089 |                |
| Classe de poro 3 (C3) | 1054,82632 | 237,61698 | 0,0007 | 0,3099         |
| Classe de poro 4 (C4) | -650,19201 | 224,27380 | 0,0124 | 0,5552         |
| IEA                   | 0,02193    | 0,01202   | 0,0911 | 0,6459         |

EP = Erro-padrão da estimativa do parâmetro; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

As classes C3 ( $0,0060 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) e C4 ( $0,0050 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) contribuíram para a explicação da variação temporal da  $\text{FCO}_2$ . A C3 está inserida na fração relacionada a macroporosidade do solo, enquanto a classe C4 é intermediária e está entre a macroporosidade e microporosidade, sendo que esta última apresentou uma relação negativa com a  $\text{FCO}_2$ , explicada pela menor proporção de espaço poroso do solo e maior retenção de água, característica de poros com menores diâmetros.

A distribuição do diâmetro dos poros condiciona o comportamento físico-hídrico da porosidade e o manejo ao influenciar na porosidade do solo, altera a distribuição do diâmetro dos poros (KLEIN; LIBARDI, 2002). O que explica a relação positiva da

FCO<sub>2</sub> com o a C3 pois são nesses espaços que ocorrem os processos de movimentação de ar.

A formação e a estabilização dos agregados do solo está relacionada com vários fatores, a atividade microbiana do solo é um dos fatores que favorecem a agregação do solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). Quanto maior a agregação, maior será a proteção do carbono no interior do solo; e como no PR houve a quebra desses agregados por meio do preparo do solo, o carbono anteriormente protegido, fica mais exposto a ação dos microrganismos e maior será a emissão de CO<sub>2</sub> do solo. O que pode explicar a relação positiva do IEA com a FCO<sub>2</sub> no PR.

Alguns estudos que avaliaram a variabilidade temporal da FCO<sub>2</sub> por meio da regressão múltipla encontraram relação dessa somente com a umidade e temperatura do solo, que são as variáveis mais comumente avaliadas na escala temporal (VALENTINI et al., 2008; PANOSSO et al., 2011; CASTELLANO et al., 2017). Neste contexto, é importante ressaltar que apenas no manejo SD a umidade do solo entrou no modelo da regressão múltipla, mas não como a primeira variável, e a temperatura do solo só entrou no modelo de regressão no manejo PI. Entretanto, o IEA entrou em dois modelos (SD e PR). Assim, para melhor compreensão da variação temporal da FCO<sub>2</sub>, os atributos físicos do solo são importantes para tal avaliação.

## 5 CONCLUSÕES

A variação da emissão CO<sub>2</sub> do solo é influenciada pelo o preparo do solo. Independentemente das formas de preparo, a desestruturação dos agregados promove maior aeração do solo, desta forma a maior emissão de CO<sub>2</sub> do solo no preparo intensivo está relacionada com o maior número de macroporos propiciados por este sistema.

Em contrapartida, a menor emissão de CO<sub>2</sub> no manejo sob semeadura direta, além da ausência do preparo, está relacionada às características desse manejo que compreendem maior quantidade de microporos associada a maior retenção de água no solo.

A distribuição de classes de poros são atributos físicos importantes para explicar as variações temporais da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, e essas classes são influenciadas pelo manejo adotado. Portanto, o estudo desses atributos deve ser

levado em consideração quando avaliada a variação da emissão de CO<sub>2</sub> em solos agrícolas.

Os atributos físicos do solo como a densidade e a resistência do solo à penetração tendem a apresentar menor variação a partir do 12º dia após as atividades de preparo do solo, tal efeito foi considerado neste estudo como um processo natural de consolidação do solo, e esse processo pode também ter influenciado a variação temporal da emissão de CO<sub>2</sub> do solo. Entretanto, estudos futuros compreendendo um período de tempo maior são necessários visando estabelecer relações mais concretas.

## 6 REFERÊNCIAS

BALL, B. C. Soil structure and greenhouse gas emissions: a synthesis of 20 years of experimentation. **European Journal of Soil Science**, West Sussex, v. 64, n. 3, p. 357–373, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12013>>.

BALL, B. C.; SMITH, K. A. Gas movement. In: SMITH, K.; MULLINS, C. (Ed.). **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 511–549.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677–683, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>>.

BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 3, p. 787–795, 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800030021x>>.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 363–375.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704 p.

BRITO, L. F.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial de CO<sub>2</sub> do solo de emissões em diferentes posições topográficas. **Bragantia**, Campinas, v. 69, Suplemento, p. 19–27, 2010.

BRUCE, J. P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 382–389, 1999.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 3, p. 777–783, 1992. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x>>.



CARBONELL-BOJOLLO, R. M.; REPULLO-RUIBÉRRIZ, M. A.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Influence of soil and climate conditions on CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 223, n. 6, p. 3425–3435, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11270-012-1121-9>>.

CASTELLANO, G. R.; MORENO, L. X.; MENEGÁRIO, A. A.; GOVONE, J. S. GASTMAN, D. Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> pelo solo em áreas sob diferentes estádios de restauração no domínio da Mata Atlântica. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 407–412, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170036>>.

CENTURION, J. F.; FREDDI, O. S.; ARATANI, R. G.; METZNER, A. F.; BEUTLER, M. A. N.; ANDRIOLI, I. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos vermelhos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 199–209, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000200002>>.

CERRI, C. E. P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C. Tropical Agriculture and global warming impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 64, n.1, p. 83–89, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000100013>>.

CHEN, X.; DHUNGEL, J.; BHATTARAI, S. P.; TORABI, M.; PENDERGAST, L.; MIDMORE, D. J. Impact of oxygation on soil respiration, yield and water use efficiency of three crop species. **Journal of Plant Ecology**, Oxford, v. 4, n. 4, p. 236–248, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jpe/rtq030>>.

CORRADI, M. M.; PANOSSO, A. R.; MARTINS FILHO, M. V.; LA SCALA, N. Crop residues on short-term CO<sub>2</sub> emissions in sugarcane production areas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 699–708, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000400009>>.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. 1188 p.

DE FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R.; REICOSKY, D. C.; LA SCALA, N. Hort-term CO<sub>2</sub> C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum* spp.) replanting in southern Brazil. **Global Change Biology. Bioenergy**, West Sussex, v. 7, n. 2, p. 316–327, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12151>>.

DILUSTRO, J. J.; COLLINS, B.; DUNCAN, L.; CRAWFORD, C. Moisture and soil texture effects on soil CO<sub>2</sub> efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, n. 1, p. 87–97, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.09.001>>.

DOSSOU-YOVO, E. R.; BRÜGGEMANN, N.; JESSED, N.; HUATE, J.; AGO, E. E.; AGBOSSOUB, E. K. Reducing soil CO<sub>2</sub> emission and improving upland rice yield with no-tillage, straw mulch and nitrogen fertilization in northern Benin. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 156, p. 44–53, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.10.001>>.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 2, p.159–168, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>>.

ELLERT, B. H.; JANZEN, H. H. Short-term influence of tillage on CO<sub>2</sub> fluxes from a semiarid soil on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, p. 21–32, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00188-3)>.

EPRON, D.; BOSC, A.; BONAL, D.; FREYCON, V. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, n. 5, p. 565–574, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0266467406003415>>.

FENG, W. -Q.; YIN, J. -H. A new simplified Hypothesis B method for calculating consolidation settlements of double soil layers exhibiting creep. **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, West Sussex, v. 41, n. 6, p. 899–917, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/nag.2635>>.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ZORATI, C.; NOELLEMAYER, E. Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, n. 109, n. 2, p. 103–109, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.002>>.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, n. 5, p. 1541–1547, 1996. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1996.03615995006000050036x>>.

FÓTI, S.; BALOGH, J.; HERBST, M.; PAPP, M.; KONCZ, P.; BARTHA, S.; ZIMMERMANN, Z.; KOMOLY, C.; SZABÓ, G.; MARGÓCZI, K.; ACOSTA, M.; NAGY, Z. Meta-analysis of field scale spatial variability of grassland soil CO<sub>2</sub> efflux: Interaction of biotic and abiotic drivers. **Catena**, Amsterdam, v. 143, p. 78–89, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.034>>.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-Size Analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 383–411.

GENRO JÚNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 477–488, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000300009>>.

GILBERT, N. One-third of our greenhouse gas emissions come from agriculture. **Nature**, London, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature201211708>>.

HERBST, M.; BORNEMANN, L.; GRAF, A.; VEREECKEN, H.; AMELUNG, W. A geostatistical approach to the field-scale pattern of heterotrophic soil CO<sub>2</sub> emission using covariates. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 111, n. 1, p. 377–392, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10533-011-9661-4>>.

HERBST, M.; PROLINGHEUER, N.; GRAF, A.; HUISMAN, J. A.; WEIHRMÜLLER, L.; VANDEBORGHT, J. Characterization and understanding of bare soil respiration spatial variability at plot scale. **Vadose Zone Journal**, Madison, v. 8, n. 3, p. 762–771, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/vzj2008.0068>>.

IAMAGUTI, J. L.; MOITINHO, M. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 5, p. 497–504, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p497-504>>.

INCROPERA, F. P.; DEWINT, D. P. **Transferência de calor e Massa**. 5. ed. Rio de Janeiro, LTC, 2003. 698 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007: **The physical science basis**. Geneva, Suíça: IPPC, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: Climate Change 2014: **Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** [Core Writing Team: PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (Eds.)]. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

JACINTHE, P. A.; LAL, R. Labile carbon and methane uptake as affected by tillage intensity in a Mollisol. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1–2, p. 35–45, 2005. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.02.018>>.

KAINIEMI, V. **Tillage effects on soil respiration in Swedish Arable soils.** 2014. 68 f. Doctoral Thesis (Doctorate in Soil and Environment) – Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Uppsala, 2014.

KANG, S.; DOH, S.; LEE, D.; LEE, D.; JIN, V. L.; KIMBALL, J. Topographic and climatic controls on soil respiration in six temperate mixed-hardwood forest slopes, Korea. **Global Change Biology**, West Sussex, v. 9, n. 10, p. 1427–1437, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00668.x>>.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 136, n. 1–3, p. 173–184, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00290-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00290-X)>.

KARHU, K.; AUFFRET, M. D.; DUNGAIT, J. A. J.; HOPKINS, D. W.; PROSSER, J. I.; SINGH, B. K.; SUBKE, J.; WOOKEY, P. A.; ÅGREN, G. I.; SEBASTIA, M.; GOURIVEAU, F.; BERGKVIST, G.; MEIR, P.; NOTTINGHAM, A. T.; SALINAS, N.; HARTLEY, I. P. Temperature sensitivity of soil respiration rates enhanced by microbial community response. **Nature**, London, v. 513, n. 7516, p. 81–84, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature13604>>.

KAY, B. D.; VANDENBYGAART, A. J. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, n. 2, p. 107–118, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00019-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00019-3)>.

KESSAVALOU, A.; DORAN, J. W.; MOSIER, A. R.; DRIJBER, R. A. Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheat-fallow cropping system. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, n. 5, p. 1105–1116, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700050016x>>.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 857–867, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>>.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; LTOH, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSUO, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a Southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 147, n. 1–2, p. 35–47, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2007.06.005>>.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1–2, p. 244–248, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>>.

LA SCALA, N.; DE FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. On the mitigation potential associated with atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration and soil carbon accumulation in major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 72, n. 3, p. 775–785, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-69842012000400012>>.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; MARQUES, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3–4, p. 163–166, 2001. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00212-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00212-4)>.

LA SCALA, N.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; GONZALEZ, A. P.; MIRANDA, J. G. V. Fractal dimension and anisotropy of soil CO<sub>2</sub> emission in an agricultural field during fallow. **International Agrophysics**, Lublin, v. 23, n. 4, p.353–358, 2009.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, n. 2, p. 158–169, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2389.2008.01114.x>>.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I – Perdas de solo e água. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 1033–1044, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600012>>.

LUO, Y.; ZHOU, X. **Soil respiration and the environment**. San Diego: Academic Press, 2006. 316 p.

MANGALASSERY, S.; SJÖGERSTEN, S.; SPARKES, D. L.; STORRUCK, C. J.; MOONEY, S. J. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of greenhouse gases. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 123, p. 39–46. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.003>>.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, N. Efeito do preparo do solo e resíduos da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1720–1728, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000600028>>.

NATH, A. J.; LAL, R. Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the north Appalachian region, USA. **Pedosphere**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 172–176, 2017. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60301-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60301-1)>.

NIMMO, J. R.; PERKINS, K. S. Aggregate stability and size distribution. In: DANE, J. H. TOPP, G. C. (Eds.). **Methods of soil analysis**. Part 4. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 317–328. (SSSA Book Series, 5).

OERTEL, C.; MATSCHULLA, J.; ZURBAA, K.; ZIMMERMANN, F.; ERASMI, S. Greenhouse gas emissions from soils – A review. **Chemie der Erde – Geochemistry**, Muenchen, n. 76, n. 3, p. 327–352, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>>.

OLIVEIRA, M. E. D.; MORAES, S. O. Modeling approaches for agricultural N<sub>2</sub>O fluxes from large scale areas: A case for sugarcane crops in the state of São Paulo – Brazil. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 150, p. 1–11, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.015>>.

ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL BOJOLLO, R.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, P.; PEREA TORRES, F. Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO<sub>2</sub> en un suelo arcilloso de la vega de Carmona. **Carex**, Carmona, n. 6, p. 2339–2354, 2008.

PAGLIARINI, M. K.; MENDONÇA, V. Z.; ALVES, M. C. Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água em solos de Selvíria - MS e Ilha Solteira - SP, Brasil. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 6, n. 1, p. 45–51, 2012.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p. 190–196, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.002>>.

PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JR., J.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> em Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 227–236, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000200003>>.

PEREIRA, A. A. A.; CRUCIANI, D. R. Estimativa de variações no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo com base na análise da curva de retenção de água. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 3, n. 2, p. 245–249, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000200009>>.

PES, L. Z. **Fluxo de gases de efeito estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, 2009.

PIRES, L. F.; BORGES, J. A. R.; ROSA, J. A.; COOPER, M.; HECK, R. J.; PASSONI, S.; ROQUE, W. L. Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 165, p. 66–79, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.010>>.

PRIOR, S. A.; REICOSKY, D. C.; REEVES, D. W.; RUNION, G. B.; RAPER, R. L. Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO<sub>2</sub> and water loss from a loamy sand soil in Alabama. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, n. 3–4, p. 197–199, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00092-6)>.

R-Development-Core-Team, 2016. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: RFoundation for Statistical Computing, 2016. (ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>).

RAKOTOVAO, N. H.; RAZAFIMBELOA, T. M.; RAKOTOSAMIMANANAB, S.; RANDRIANASOLOC, Z.; RANDRIAMALALAD, J. R.; ALBRECHTE, A. Carbon foot print of small holder farms in Central Madagascar: The integration of agroecological practices. **Journal of Cleaner Production**, Oxford, v. 140, n. 3, p. 1165–1175, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.045>>.

REICHERT, J. M.; ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; ROSA, D. P.; HORN, R.; REINERT, D. J.; SATTTLER, A.; DENARDIN, J. E. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 158, p. 123–136, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.11.010>>.

REICOSKY, D. C.; ARCHER, D. W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, n. 1, p. 109–121, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.07.004>>.

REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, n. 1–2, p. 105–118, 1997. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01080-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01080-X)>.

REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, N. J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1237–1245, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500060027x>>.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A. Soil surface carbon dioxide fluxes induced by spring, summer and fall moldboard plowing in a sandy loam. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 3, p. 621–628, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1999.03615995006300030027x>>.

ROSOLEM, C. A.; LI, Y.; GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, Medford, v. 32, n. 4, p. 495–503, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/sum.12309>>.

SÁ, J. C. M.; LAL, R.; CERRI, C. C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; CARVALHO, P. C. F. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security. **Environment International**, New York, v. 98, P. 102–112, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.020>>.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. **Adubação: Resíduos alternativos**. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2009. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_39\\_711200516717.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html)>. Acesso em: 21 de mar. 2017.



SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; FONTOURA, S. M. V. BAYER, C.; WARMLING, M. I. Physical properties of a hapludox after three decades under different soil management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcS20140331>>.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, p. 1–8, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/015014>>.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 5, p. 1350–1358, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1999.6351350x>>.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 555–569, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>>.

SMART, D. R.; PEÑUELAS, J. Short-term CO<sub>2</sub> emissions from planted soil subject to elevated CO<sub>2</sub> and simulated precipitation. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam v. 28, n. 3, p. 247–257, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.07.011>>.

SMITH, P.; BUSTAMANTE, M.; AHAMMAD, H.; CLARK, H.; DONG, H.; ELSIDDIG, E. A.; HABERL, H.; HARPER, R.; HOUSE, J.; JAFARI, M.; MASERA, O.; MBOW, C.; RAVINDRANATH, N. H.; RICE, C. W.; ABAD, C. R.; ROMANOVSKAYA, A.; SPERLING, F.; TUBIELLO, F. N.; BOLWIG, S. Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, 2014. p. 811–922.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 118, n. 1–4, p. 6–28, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.06.006>>.

SOTTA, E. D.; VELDKAMP, E.; GUIMARÃES, B. R.; PAIXÃO, R. K.; RUIVO, M. L. P.; ALMEIDA, S. S. Landscape and climatic controls on spatial and temporal variation in soil CO<sub>2</sub> efflux in an Eastern Amazonian Rainforest, Caxiuana, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 237, n. 1–3, p. 57–64, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.027>>.

SOUZA, L. C.; FERNANDES, C.; NOGUEIRA, D. C. S.; MOITINHO, M. R.; BICALHO, E. S.; LA SCALA, N. Can partial cultivation of only the sugarcane row reduce carbon dioxide emissions in an Oxisol and Ultisol? **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, p. 1–9, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/agronj2016.10.0565>>.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 395–401, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000200015>>.

STRECK, E. V.; COGO, N. P. Reconsolidation of the soil surface after tillage discontinuity, with and without cultivation, related to erosion and its prediction with rusle. **Revista Brasileira da Ciência Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 141–151, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000100015>>.

TAVARES, R. L. M.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA, N.; CASTIONI, G. A. F.; SOUZA, G. S.; TORRES, J. L. T. Spatial and temporal variability of soil CO<sub>2</sub> flux in sugarcane green harvest systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. e0150252, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20150252>>.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1837–1844, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600032>>.

TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; CERRI, C. E. P.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO<sub>2</sub> emission estimated by different interpolation techniques. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 345, p. 187–194, 2011a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-011-0770-6>>.

TEIXEIRA, D. D. B.; BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; PERILLO, L. I.; IAMAGUTI, J. L. PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO<sub>2</sub> emissions and related properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 1466–1475, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500010>>.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A.; LA SCALA, N. Temporal variability of soil CO<sub>2</sub> emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 224–231, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162010000200004>>.

TEIXEIRA, L. G.; FUKUDA, A.; PANOSSO, A. R.; LOPES, A.; LA SCALA, N. Soil CO<sub>2</sub> emission as related to incorporation of sugarcane crop residues and aggregate breaking after rotary tiller. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1075–1084, 2011b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000600005>>.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795–801, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162002000400026>>.

TORMENA, C. A.; KARLEN, D. L.; LOGSDON, S.; CHERUBIN, M. R. Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 166, p. 122–130, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.015>>.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 573–581, 1998.

TSAI, S. M.; BARAIBAR, A. V. L.; ROMANI, V. L. M. Efeitos de fatores físicos e químicos sobre os microrganismos do solo umidade e aeração. In: CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Eds.). **Microbiologia do solo**. Campinas: SBCS, 1992. p. 60–89.

TSAI, T. L.; JANG, W. S. Deformation effects of porosity variation on soil consolidation caused by groundwater table decline. **Environmental Earth Sciences**, Heidelberg, v.72, p. 829–838, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12665-013-3006-7>>.

USSIRI, A. N.; LAL, R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39–47. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>>.

VALENTINI, C. M. A.; ESPINOSA, M. M.; PAULO, S. R. Estimativa do efluxo de CO<sub>2</sub> do solo, por meio de regressão múltipla, para floresta de transição no noroeste de Mato Grosso. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 9-16, 2008.

VARELLA, R. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PINTO, A. S.; KISSELLE, K. W.; SANTOS, R. V.; BURKE, R. A.; ZEPP, R. G.; VIANA, L. T. Soil fluxes of CO<sub>2</sub>, CO, NO and N<sub>2</sub>O an old pasture and from native savanna in Brazil. **Ecological Applications**, Hoboken, v. 14, n. sp4, p. 221–231, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1890/01-6014>>.

VERMEULEN, S. J.; CAMPBELL, B. M.; INGRAM, J. S. I. Climate change and food systems. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 37, p. 195–222, 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 213–223, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>>.

XU, M.; QI, Y. Soil-surface CO<sub>2</sub> efflux and its spatial and temporal variations in a Young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Oxford, v. 7, n. 6, p. 667–677, 2001.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, London, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **American Society of Agronomy**, Madison, v. 8, p. 337–351, 1936.

ZHAO, H.; LV, Y.; WANG, X.; ZHANG, H.; YANG, X. Tillage impacts on the fractions and compositions of soil organic carbon. **Geoderma**, Amsterdam, v. 189–190, p. 397–403, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.001>>.