

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

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ASSOCIADA AOS ATRIBUTOS DO SOLO  
SOB SEMEADURA DIRETA COM DIFERENTES  
SUCESSÕES DE CULTURAS**

**Gustavo André de Araújo Santos**

Engenheiro Agrônomo

2017

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

**EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ASSOCIADA AOS ATRIBUTOS DO SOLO  
SOB SEMEADURA DIRETA COM DIFERENTES  
SUCESSÕES DE CULTURAS**

**Gustavo André de Araújo Santos**

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

**Coorientador: Prof. Dr. José Eduardo Corá**

**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 (Ciência do Solo).

**2017**

Santos, Gustavo André de Araújo  
S237e Emissão de CO<sub>2</sub> associada aos atributos do solo sob semeadura  
direta com diferentes sucessões de culturas / Gustavo André de  
Araújo Santos. -- Jaboticabal, 2017  
xvi, 48 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017  
Orientador: Newton La Scala Júnior  
Coorientadores: José Eduardo Corá, Daniel De Bortoli Teixeira  
Banca examinadora: Zigomar Menezes de Sousa, Diego Silva  
Siqueira  
Bibliografia

1. *Crotalaria juncea*. 2. *Zea mays*. 3. Agregação do solo. 4.  
Manejo conservacionista. 5. Respiração do solo. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:504.7

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



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

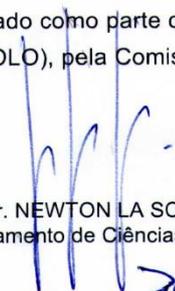


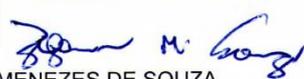
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

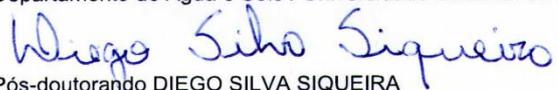
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ASSOCIADA AOS ATRIBUTOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA COM DIFERENTES SUCESSÕES DE CULTURAS

**AUTOR: GUSTAVO ANDRÉ DE ARAÚJO SANTOS**  
**ORIENTADOR: NEWTON LA SCALA JUNIOR**  
**COORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO CORÁ**  
**COORIENTADOR: DANIEL DE BORTOLI TEIXEIRA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), 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 AUTOR**

**GUSTAVO ANDRÉ DE ARAÚJO SANTOS** – Filho de Magno Mansueto dos Santos Araújo e Maria Leônora de Araújo Santos, nasceu em Imperatriz -MA, no dia 27 de fevereiro de 1991. Coursou o ensino fundamental menor na Escola Municipal Samaritana e o fundamental maior no Colégio Estadual Amaral Raposo, nessa mesma escola concluiu o ensino médio em 2008. Em agosto de 2010, ingressou no curso de Agronomia no Centro de Ciências Agrárias e Ambientas da Universidade Federal do Maranhão (UFMA-CCAA) campus de Chapadinha. Foi bolsista voluntário de iniciação científica entre 2011 e 2012. Em setembro de 2012 iniciou a sua mobilidade acadêmica internacional pelo âmbito do programa Ciências sem Fronteiras no Instituto Superior de Agronomia em Lisboa - Portugal com retorno em agosto de 2013. Em setembro de 2013 deu início a sua segunda bolsa de iniciação científica a qual lhe deu a oportunidade de realizar um estágio em 2014 na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP) com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão – FAPEMA, esse mesmo projeto lhe rendeu o prêmio em segundo lugar como melhor apresentação oral no seminário de iniciação científica da UFMA em 2014. A sua terceira bolsa de iniciação científica iniciou-se em janeiro 2015, no corrente ano realizou seu segundo estágio acadêmico na Universidade Federal Rural do Pernambuco em Recife subsidiado pela FAPEMA. Em janeiro de 2016 submeteu-se a banca para defesa de monografia, sendo aprovado, como bacharel em Agronomia. Em março de 2016 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), Câmpus de Jaboticabal-SP. Em 17 julho de 2017 submeteu-se à banca de defesa de Mestrado, sendo aprovado como mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

*“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e a nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio e as plantas bem nutridas.”*

*Ana Primavesi*

*“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.”*

*Isaac Newton*

## **Dedico**

Aos maiores amores da minha vida, a minha base, que são a força que move meus sonhos. Magno Mansueto, Maria Leônora e a minha irmã Débora Magda.

## **Ofereço**

A todos agricultores e brasileiros assalariados, que com muita luta contribuíram e investiram por meio de seus impostos no financiamento da minha bolsa de estudos durante o curso de Mestrado.

## AGRADECIMENTOS

Enquanto escrevia meus agradecimentos, percebi o quão rápido passou a minha jornada dentro do mestrado. Pude aprender bastante coisa durante esse período. Escrever essa parte da dissertação tem um gostinho de: “Eita! Está chegando ao fim”. É um ciclo da vida que está se concluindo para dar início a outros. Portanto, se eu cheguei até aqui certamente não foi sozinho então chegou à hora de agradecer a todos que me ajudaram a realizar mais um sonho, o de me tornar mestre em Agronomia.

A Deus, pela vida, minha saúde e das pessoas que eu amo, a Nossa Senhora de Fátima por sempre ter atendido as minhas orações e pedidos e a São Longuinho por nunca ter falhado comigo sempre que eu perdia algo.

À minha família, em especial aos meus pais, Magno Mansueto e Maria Leonôra, por terem vivido esse sonho junto comigo, por acreditarem sempre em mim às vezes muito mais do que eu mesmo, por sempre me apoiarem, pelo amor, compreensão, confiança e principalmente pelos ensinamentos que me deram para a vida, vocês são os mestres mais importantes que tenho na vida. E a minha irmã Débora Magda, pelo amor imensurável, pela amizade, pelas mensagens de carinho, a vocês o meu muito obrigado, pois sem vocês eu nada seria.

Aos meus familiares, minhas tias Vânia e Aline, pelo amor e carinho todas as vezes que eu voltava para Imperatriz, minha amada avó Alice, um doce de pessoa, exemplo de mulher e de avó, minha avó materna Débora (*in memoriam*) que apesar de não ter a conhecido, foi essencial para eu está aqui hoje, aos meus avôs Luis Bandeira (*in memoriam*) e Manoel André (*in memoriam*) ao meu tio Raimundo pelo carinho, e por fim, aos meus queridos primos, Débora Luiza, Pâmela Maciel, Nicole e Thiago pelas boas gargalhadas sempre que nos encontramos.

Ao professor Newton La Scala Júnior, pela orientação, confiança, apoio e por ter contribuído na minha formação profissional, pessoal e Intelectual.

À Mara Regina Moitinho, grande mentora nessa minha jornada, a qual apelido com muito carinho como minha “Mãe Científica”. Obrigado pela paciência e ajuda para realização desse trabalho e pelas palavras de carinho e incentivo (“Calma Gustavo, vai dá certo, se ainda não deu é porque não chegou ao fim”, “Gustavo não é porque essas análises não poderão realizadas que seu trabalho será menos interessante, o meu artigo mais citado tem apenas três variáveis”, e a principal é claro “Gustavo foca na dissertação”), a você o meu muito obrigado e respeito.

Ao Daniel De Bortoli Teixeira, pelos conselhos, atenção, crítica e sugestões ao meu trabalho no papel de coorientador. Obrigado pelos inúmeros aprendizados principalmente na hora do café.

Ao professor e coorientador José Eduardo corá, pela contribuição na minha formação acadêmica, paciência, respeito e atenção sempre que precisei de ajuda. Aproveito para agradecer pela disponibilidade ao ceder área experimental para realização do meu estudo e do laboratório para realização das análises físicas do solo

Aos professores que participaram do meu exame geral de qualificação Dra. Liziane de Figueiredo Brito pela imensa contribuição para melhoria do meu trabalho e ao Dr Glécio Machado Siqueira, também, pelas suas contribuições tanto no meu trabalho de mestrado quanto pela orientação na minha iniciação científica enquanto graduando na Universidade Federal do Maranhão.

Aos membros da banca de defesa, Dr. Zigomar Meneses de Souza e Dr. Diego Silva Siqueira pelas contribuições, elogios e críticas para a melhoria desse trabalho.

Aos grandes amigos que fiz durante a pós-graduação na UNESP-FCAV e no Departamento de Ciências Exatas, Jonas Júnior, José Reinaldo, Milene Moara, Romário Pimenta, Elienai Silva, Thiago Águas, Taynara Valeriano, Marcilene Machado, Renata Santos, Mailson Oliveira, Robson Medeiros, Daniel Pinheiro e a todos outros que me ajudaram durante esse período, que nossa amizade se mantenha sólida.

Aos meus amigos, irmãos que a vida me deu Alex Bruno, Adalziza Neta, Grazieli Brito, Ludhanna Veras, Francisca Farias, Rebekah Maria, Sebastião Yattan, Larissa Portela,

Mayanna Karla, Glecio Siqueira, Rosieli Silva, Marcilene Ribeiro, Alice Vöttel, Maria Leticia Pacheco, Fernanda Francetto, Emanuele Silva, Juliana Soares e Ana Isa vocês possuem uma importância muito grande na minha vida, obrigado pelo carinho e amizade sincera.

À Camila Vieira, pela amizade que já perduram 7 anos, obrigado pela companhia dentro da UNESP, e como ter aceitado dividir o mesmo lar, que só veio fortalecer ainda mais a nossa amizade. Aproveito para agradecer também ao Reginaldo Oliveira, vocês, meus “roommates” por me entenderem e principalmente por me ajudarem a ser uma pessoa melhor

À Bruna Oliveira, por sempre estar disposta a ouvir os meus desabafos, obrigado pela ótima convivência dentro da “salinha de produção”, pelo apoio intelectual e auxílio no campo e no laboratório, você foi um grande presente, muito obrigado.

Ao Laercio Santos, pelos cafés e almoços de Domingo aos quais sempre saíram boas discussões, sobre a ciência do solo, obrigado pelos conselhos e contribuição intelectual.

À Kamila Meneses e Katharine Batista, minhas conterrâneas que tornaram-se parte da minha família em Jaboticabal, muito obrigado pela companhia no departamento de ciências exatas e pelas visitas sempre agradáveis em casa, por me ouvirem sempre que precisei, pelo carinho, pelas sugestões no meu trabalho.

Aos orientados do professor Newton La Scala: Risely Ferraz, Fernando Moraes e em especial a Clariana Valadares Xavier pelos inúmeros conselhos, ajuda no campo e no laboratório e contribuições pelas quais serei eternamente grato.

Aos professores do Departamento de Ciências Exatas Danísio Prado Munari , Amanda Liz Pacífico Manfrim, , Andreia da Silva Meyer, Dilermando Perecin, Glauco de Souza Rolim, Euclides Braga Malheiros, Jose Carlos Barbosa , João Ademir De Oliveira, Nelson José Peruzzi e a todos os funcionários do departamento: Maria José Servidone Trizólio (Zezé), Shirley Aparecida Martineli de Sousa, Norival Ignacio, Adriana Elisabete Takakura, Vanessa Sayury Souza e Carlos Alberto Santa Capita (Carlão) pela agradável convivência durante essa minha jornada.

Ao Ricardo Veronezi, pela companhia, amizade, cuidado, preocupação, paciência e carinho em todos os momentos que precisei e por ter sido um dos motivos que me motivaram a concluir essa jornada e prosseguir com o doutorado. Aproveito para agradecer também da Dona Sueli, Seu Bráz, Wanessa e a toda família Veronezi pelo carinho e todos os momentos de descontração.

A Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal e ao Programa de pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo) pela oportunidade de poder cursar o mestrado em um dos melhores programas do país e na segunda melhor universidade da América Latina.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para condução deste estudo.

As bases de dados SCOPUS, SCIENCE DIRECT, WEB OF SCIENCE, SCIELO e ao Periódico Capes por facilitarem nas buscas para realização da minha revisão de literatura e compreensão dos meus resultados. Ao grupo do Facebook (Bolsistas Capes) pelos momentos de descontração com os mais divertidos “memes” envolvendo o mundo acadêmico.

E a todos que contribuíram de forma direta e indireta para condução do meu estudo.

E por fim, por que não, eu? Sim, a mim, principalmente por nunca ter desistido dos meus sonhos e acreditar que o impossível também é possível.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xvii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Mudanças climáticas globais .....	4
2.2 O papel da agricultura nas mudanças climáticas .....	5
2.3 Sistema de semeadura direta uma alternativa para mitigação de GEE .....	7
2.4 Emissão de CO <sub>2</sub> em virtude das propriedades do solo .....	10
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
3.1 Localização e caracterização da área experimental .....	13
3.2 Determinação da massa seca e relação C/N dos resíduos das culturas .....	16
3.3 Determinação da emissão de CO <sub>2</sub> , temperatura e umidade do solo .....	17
3.4 Determinação dos atributos físicos, matéria orgânica e nitrogênio total do solo .....	18
3.5 Análise de dados .....	19
3.5.1 Variação temporal .....	19
3.5.2 Variação espacial .....	20
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>
4.1 Variação temporal da emissão de CO <sub>2</sub> , umidade e temperatura do solo.....	21
4.2 Variação espacial da emissão de CO <sub>2</sub> e dos atributos solo .....	24
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>32</b>

## EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ASSOCIADA AOS ATRIBUTOS DO SOLO SOB SEMEADURA DIRETA COM DIFERENTES SUCESSÕES DE CULTURAS

**RESUMO** – A otimização de sistemas conservacionistas de produção, com objetivo de aumentar os estoques de carbono e diminuir a emissão de gases de efeito estufa, e em concomitância aumentar a produtividade agrícola, são considerados um dos maiores desafios da agricultura atual. Diante disto, objetivou-se avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) e sua relação com os atributos do solo em sistema de semeadura direta com diferentes sucessões de sequências de culturas de verão e de inverno. O estudo foi conduzido em área sob sistema de semeadura direta no município de Jaboticabal-SP, Brasil. Os tratamentos consistiram nas combinações de três sequências de culturas de verão com duas de inverno, sendo as de verão: monocultura do milho (MM), monocultura da soja (SS) e rotação soja e milho (SM). As culturas de inverno foram: crotalaria e milho. O delineamento experimental foi em faixas com três blocos em parcelas subdivididas. Entre os meses de julho e agosto foram conduzidas 16 avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>), temperatura (Ts) e umidade (Us) do solo ao longo de um período total de 51 dias. Após essas avaliações foram realizadas coletas de solo, na profundidade de 0-0,20 m para a determinação dos atributos físicos e químicos. Não foi observado interação ( $p > 0,05$ ) das sequências das culturas verão com as culturas de inverno sobre os atributos do solo, FCO<sub>2</sub>, Us e Ts tanto na variação temporal quanto para a espacial, por este motivo as culturas de inverno foram comparadas isoladamente das sequências de culturas de verão. A Us foi o atributo que mais influenciou a variação temporal da FCO<sub>2</sub>, com correlação de ( $r = 0,79$ ;  $p < 0,0001$ ) e ( $r = 0,70$ ;  $p = 0,002$ ) entre MM e SS para as sequências de culturas de verão, para as culturas de inverno a correlação foi de ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,0001$ ) para os resíduos de crotalaria ( $r = 0,66$ ;  $p = 0,005$ ) para os do milho. A FCO<sub>2</sub> não apresentou diferença entre as sequências de verão ( $p > 0,05$ ). Contudo, para as culturas de inverno, o solo sob resíduo da crotalaria apresentou maior FCO<sub>2</sub> ( $1,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) quando comparado ao tratamento com a cultura do milho ( $0,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). O solo com resíduo da crotalaria também apresentou maiores valores de porosidade total, microporos e macroporos, bem como, do diâmetro médio ponderado de agregados. Desta forma, os resultados indicam que a umidade do solo foi a variável que melhor se correlacionou a FCO<sub>2</sub> no tempo, e os atributos físicos (porosidade total, macroporosidade e microporosidade mais a temperatura) foram os atributos que melhor explicaram a FCO<sub>2</sub> no espaço e que independentemente do cultivo das sequências de verão (MM, SS e SM), o solo sob resíduos da cultura da crotalaria proporciona maior FCO<sub>2</sub> devido ao efeito que esta leguminosa propicia aos atributos físico do solo. Maior estoque de carbono é proporcionado por MM, enquanto que para as culturas de inverno o estoque de carbono é igual.

**Palavras-chave:** agregação do solo, *Crotalaria juncea*, manejo conservacionista, respiração do solo, *Zea mays*

## CO<sub>2</sub> EMISSION ASSOCIATED WITH SOIL ATTRIBUTES UNDER DIRECT SEEDING WITH DIFFERENT CULTURE SUCCESSIONS

**ABSTRACT** – The optimization of conservationist production systems, with the aim of increasing carbon stocks, decreasing greenhouse gas emissions, and concomitantly increasing agricultural productivity, are considered one of the greatest challenges of the current agriculture. The objective of this study was to evaluate the CO<sub>2</sub> emission (FCO<sub>2</sub>) and its relation with the soil attributes in a direct seeding system with different successions of summer and winter crop sequences. The study was conducted in an area under direct seeding system in the municipality of Jaboticabal-SP, Brazil. The treatments consisted of the combinations of three sequences of summer and two winter cultures, being summer: maize monoculture (MM), soy monoculture (SS) and soybean and corn (SM) rotation. The winter crops were: crotalaria and corn. The experimental design was in bands with three blocks in subdivided plots. Between July and August, 16 evaluations of CO<sub>2</sub> emission (FCO<sub>2</sub>), temperature (Ts) and soil humidity (Us) were conducted over a total period of 51 days. After these evaluations, soil samples were collected at a depth of 0-0.20 m for the determination of physical and chemical attributes. There was no interaction ( $p > 0.05$ ) of the sequences of summer crops with the winter crops on the attributes of the soil, FCO<sub>2</sub>, Us and Ts in both temporal and spatial variation, for this reason the winter crops were compared isolated from the summer crop sequences. The Us was the attribute that most influenced the temporal variation of the FCO<sub>2</sub>, with correlation of ( $r = 0.79$ ,  $p < 0.0001$ ) and ( $r = 0.70$ ;  $p = 0.002$ ) between MM and SS for the sequences of summer crops, to the winter crops the correlation was ( $r = 0.78$ ;  $p < 0.0001$ ) for crotalaria residues ( $r = 0.66$ ;  $p = 0.005$ ) for corn. FCO<sub>2</sub> showed no difference between the summer sequences ( $p > 0.05$ ). However, for winter crops, soil under crotalaria residues showed higher FCO<sub>2</sub> ( $1.03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) when compared to the treatment of corn crop ( $0.94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). The soil with crotalaria residue also presented higher values of total porosity, micropores and macropores, as well as of the weighted average diameter of aggregates. Thus, the results indicate that soil humidity was the variable which best correlated FCO<sub>2</sub> in time, and physical attributes (total porosity, macroporosity and microporosity plus temperature) were the attributes that best explained FCO<sub>2</sub> in space and that independently of the cultivation of the summer sequences (MM, SS and SM), the soil under residues of the crotalaria crop provides higher FCO<sub>2</sub> due to the effect that this legume provides to the physical attributes of the soil. Higher carbon stock is provided by MM, while for winter crops the carbon stock is the same.

**Keywords:** soil aggregation, *Crotalaria juncea*, conservationist management, soil respiration, *Zea mays*

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1</b> – Teores de argila, área, silte e mineralogia para o horizonte A (0 – 20 cm) do solo da área experimental. ....	14
<b>Tabela 2</b> – Caracterização da massa seca e relação C/N dos resíduos para as sequências de verão. ....	17
<b>Tabela 3</b> – Emissão de CO <sub>2</sub> do solo (FCO <sub>2</sub> ), temperatura do solo (Ts) umidade do solo (Us), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade do solo (micro), densidade do solo (Ds), porosidade livre de água (PLA), diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas sequências de verão (SV) e culturas de inverno (CI). ....	24
<b>Tabela 4</b> – Matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total do solo (N total), relação C/N do solo e estoque de carbono do solo (EstC) nas sequências de verão (SV) e culturas de inverno (CI). ....	29

**LISTA DE FIGURAS**

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> – Localização da área experimental. ....	13
<b>Figura 2</b> – Área experimental: constituída das sucessões das sequências das culturas de verão com as culturas de inverno.....	15
<b>Figura 3</b> – Valores da temperatura do ar (máxima, média e mínima) e precipitação para o período que compreendeu os dias de avaliação (julho e agosto), indicados pelas setas.....	18
<b>Figura 4</b> – Variabilidade temporal da FCO <sub>2</sub> (a), Us (b) e Ts (c) para as sequências das culturas de verão e da FCO <sub>2</sub> (d), Us (e) e Ts (f) para as culturas de inverno .....	22

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento na concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera é decorrente de uma série de atividades antropogênicas. Dentre as atividades que contribuem para o aumento do efeito estufa a nível global, a agricultura é responsável por 20%, sendo que em 2010 esta contribuição aumentou para 24% (IPCC, 2014). A participação da agricultura na emissão de GEE, está relacionada principalmente as práticas agrícolas que envolvem a abertura de novas áreas para produção, o uso de combustíveis fósseis, fertilizantes sintéticos e revolvimento do solo (LAL, 2015; OERTEL et al., 2016).

Diante deste panorama, diversos estudos buscam compreender os efeitos de práticas agrícolas comumente empregadas no aumento da concentração atmosférica de GEE, em especial o CO<sub>2</sub> (LA SCALA et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2012; CORRADI et al., 2013; BICALHO et al., 2014; MOITINHO et al., 2015).

No interior do solo o CO<sub>2</sub> é produzido, por meio de reações bioquímicas diretamente relacionadas à atividade biológica dos microrganismos e respiração das raízes, sendo tais atividades governadas, principalmente, pela temperatura e umidade do solo (BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010; OERTEL et al., 2016; PRIES et al., 2017). Com relação a circulação desse gás no solo e sua liberação para atmosfera, a difusão e o fluxo de massa são os principais responsáveis pela movimentação do CO<sub>2</sub>, sendo esses processos influenciados pela textura, estrutura e umidade do solo (KANG et al., 2003).

Nesse contexto, o sistema de semeadura direta na palha (SSD) apresenta-se como uma alternativa para mitigar a emissão de GEE advindos das práticas agrícolas (PES et al., 2011; LAL, 2015; BAYER et al., 2016; PAUSTIAN et al., 2016). Principalmente, por ser considerado um sistema de agricultura de baixo carbono, resultando em aumentos nos estoques de carbono do solo após alguns anos de sua implantação (LAL, 2008; MARTINS et al., 2009). O SSD é caracterizado pela melhoria da estruturação física, química e biológica do solo (HELGASON; WALLEY; GERMIDA, 2010; RAPHAEL et al., 2016; ROSOLEM et al., 2016; CALONEGO et al., 2017).

Contudo, vários estudos relatam que para a boa prática do SSD o incremento da matéria orgânica somente será efetivo quando se incorpora na rotação de culturas

uma espécie eficiente no processo de fixação biológica de nitrogênio (FBN) (ROSOLEM et al., 2016). Estima-se que para cada 10 unidades de carbono sequestrado no solo existe a necessidade de se imobilizar 1 unidade de nitrogênio, portanto, faz-se necessária a utilização de espécies de leguminosas com alta FBN para a efetiva disponibilidade de nitrogênio dentro do sistema (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000; SIX et al., 2002), uma vez que, para acumular C torna-se imprescindível acumular N.

Maior biomassa aérea e radicular de leguminosas herbáceas podem apresentar maiores índices de agregação do solo quando comparados com áreas de capinas, conforme observado por Perin et al. (2002) ao avaliarem o solo sob plantio de amendoim forrageiro. Calonego e Rosolem (2008) avaliaram as propriedades físicas do solo em plantio direto com rotação de culturas observaram que a rotação de culturas com gramíneas e leguminosas melhoram a estabilidade de agregados. Esses autores atribuíram essa melhoria à liberação de compostos orgânicos, densidade e distribuição das raízes. Além do efeito direto dos compostos orgânicos na agregação do solo, essas substâncias servem como fonte de energia para a microbiota do solo, pois são ricas em carboidratos (HELGASON; WALLEY; GERMIDA, 2010; MARTINS et al., 2012).

Os atributos físicos do solo, tal como densidade, porosidade total, macro e micro porosidade, umidade, porosidade livre de água ajudam a explicar a emissão de CO<sub>2</sub> do solo (PANOSSO et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2012). Moitinho et al. (2015) observaram que os atributos químicos do solo como relação C/N também é uma propriedade que ajuda a explicar a emissão de CO<sub>2</sub>. Em vista disso, estudos que avaliam a emissão de CO<sub>2</sub> com os atributos do solo são importantes, porque estão estreitamente relacionados com a produção e o transporte de CO<sub>2</sub> no solo.

Por outro lado, diversos estudos apontam os benefícios do sistema de semeadura direta em comparação a sistemas convencionais de preparo com o revolvimento do solo (PES et al., 2011; BAYER et al., 2016). Desse modo, existe a necessidade de se compreender melhor o efeito do cultivo de diferentes plantas usadas em sistemas de semeadura direta sobre a emissão de CO<sub>2</sub> do solo.

Partindo da hipótese, que no sistema de semeadura direta as plantas por meio do sistema radicular, composição bioquímica dos resíduos vegetais e do tempo de

decomposição atuam sobre os atributos estruturais do solo, isso será refletido na emissão de CO<sub>2</sub>. Portanto, objetivou-se com o presente estudo avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) e sua relação com os atributos do solo em sistema de semeadura direta com diferentes sucessões de culturas de verão e de inverno.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Mudanças climáticas globais

O aumento da temperatura do planeta é uma realidade que a ciência conseguiu comprovar durante o século XX, conforme o primeiro relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1990). Desde então, inúmeros estudos têm apontado que o planeta aqueceu 1 °C no último século, resultante de uma série de atividades antrópicas, a exemplo das atividades agrícolas (AGHAKOUCHAK et al., 2014; DIFFENBAUGH et al., 2015; HORTON et al., 2015; MEDHAUG et al., 2017).

Diante disso, vêm se observando um comportamento insólito do efeito estufa, que é o principal fenômeno natural responsável por manter a temperatura média do planeta (BUCHA, 1991; PIRES, 2017). A ausência do efeito estufa deixaria o planeta coberto por gelo impossibilitando a existência de água no estado líquido, assim, implicaria na extinção de inúmeras espécies (FORSTER et al., 2007; SCHUUR et al., 2015). Portanto, o efeito estufa natural é substancialmente importante para que indivíduos da fauna e da flora possam desempenhar seus papéis no ecossistema (THOMAS et al., 2004).

Atualmente, sabe-se que o aumento no aquecimento do planeta está relacionado com a diminuição da transferência de calor para atmosfera (COTANA et al., 2014). Vários estudos têm mostrado que o aumento na temperatura do planeta só é possível por conta do efeito estufa “adicional” (FORSTER et al., 2007; HORTON et al., 2015; SCHUUR et al., 2015). Uma vez que o efeito estufa adicional é reflexo do acréscimo da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), vapores d'água e os clorofluorcarbonetos (CFC's) que são os gases traços pela potencialização do efeito estufa (OERTEL et al., 2016).

O comportamento desses gases na atmosfera atua de forma diferente quanto ao potencial de aquecimento, dado que o N<sub>2</sub>O e o CH<sub>4</sub> possuem potencial de aquecimento maior que do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014). No entanto, o dióxido de carbono é o principal gás responsável pelas mudanças climáticas, em decorrência da quantidade

com que é transferido para atmosfera em virtude da queima de combustíveis fósseis, desmatamento de florestas e pelo uso e mudança da terra (SCHNEIDER et al., 2001; ACHARD et al., 2002; VAN DER WERF et al., 2009; MOSS et al., 2010).

Caso a emissão de GEE continue acontecendo em excesso, várias consequências podem ocorrer de forma que não seja possível revertê-las. O aumento do nível do mar também é uma das preocupações pertinentes sobre as consequências do aquecimento do planeta. Estudos estimam que em 2100, o nível do mar poderá aumentar entre 0,046 e 0,051 m em consequência do derretimento das geleiras das montanhas (RAPER; BRAITHWAITE, 2006; SINGH et al., 2013). Alguns estudos estimam que o fenômeno de desertificação será potencializado no Brasil, sobretudo, no bioma Caatinga que é um dos mais vulneráveis a desertificação (NOBRE, 2011). Desse modo compreender a dinâmica do carbono por meio de pesquisas tanto nos oceanos quanto nos diferentes tipos de solo é muito importante, visto que ambos são os principais responsáveis pelo estoque de carbono.

## **2.2 O papel da agricultura nas mudanças climáticas**

As mudanças climáticas vêm ocorrendo ao longo do tempo e é uma real ameaça para agricultura (HOWDEN et al., 2007; SCHMIDHUBER; TUBIELLO, 2007; EVANGELISTA; YOUNG; BURNETT, 2013). Por exemplo, o aumento da temperatura do planeta poderá mudar a distribuição espacial e temporal das chuvas, sendo capaz de aumentar os riscos de veranicos no período de crescimento da maioria das culturas (RAMANATHAN; CRUTZEN; KIEHL, 2001; WANG; HO, 2002; AUSTIN et al., 2004; CANNAROZZO; NOTO; VIOLA, 2006; PIMAN et al., 2016). Em contraste, o excesso de chuva que também é uma realidade, que combinada com a não utilização de sistemas conservacionistas de cultivo, agrava o processo de degradação do solo por erosão (HUGHES, 2003; DIODATO et al., 2011). Uma vez que o uso de sistemas conservacionistas com deposição de resíduos culturais sobre o solo torna-se mais promissor quando se objetiva a conservação do solo (LAL, 2015).

Com o avanço tecnológico tem sido constatado um novo perfil, no panorama agrícola, que impulsionou a produção de grãos, fibras e biocombustíveis. Resultado também atribuído as mudanças nas práticas agrícolas e do uso da terra (FAO, 2017).

Concomitante a este crescimento houve um aumento no consumo de fertilizantes (233%) e da área de cultivo irrigado (73%) o que acabou intensificando as emissões de GEE, advindas da agricultura que é responsável por 12% das emissões líquidas de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014).

No Brasil, a demanda de produção impulsionou a abertura de novas fronteiras agrícolas, o que resultou em desmatamento e mudanças no uso da terra. Neste cenário, a pecuária assume papel importante, visto que 70% do desmatamento é oriundo das fazendas de grande e médio porte (FEARNSIDE, 2005; LATHUILLIÈRE et al., 2017). De acordo com o Painel de Mudanças Climáticas Brasileiro, entre 1990 e 2005 as emissões totais por conta da agropecuária aumentaram 37%, isso equivale em uma adição de 114 megatoneladas de CO<sub>2</sub>.

Embora a agricultura seja apontada como a segunda atividade antropogênica que mais influencia na emissão de GEE, será uma das atividades mais afetadas pelas mudanças climáticas, devido principalmente ao surgimento de novas doenças, e a alteração do ciclo fenológico das culturas de interesse agrônômico (CHAKRABORTY; TIEDEMANN; TENG, 2000; STRECK; ALBERTO, 2006; GORNALL et al., 2010; SINGH; PRASAD; REDDY, 2013).

Projeções apontam que o aumento da temperatura em 3 °C impossibilitará a produção de soja em 50% do território do estado de São Paulo, e com um aumento de 5,8 °C estima-se uma redução de 70% da área plantada para a cultura em todo o país, já a cultura do milho sofreria menos com esses impactos, devido sua própria característica fisiológica, de plantas C<sub>4</sub>, que possibilita maior resistência a altas temperaturas. Contudo, um aumento médio de 5,8 °C na temperatura global, ocasionaria o declínio de 5,1 milhões Km<sup>2</sup> da área de produção para 4,4 milhões Km<sup>2</sup> (ASSAD et al., 2008).

Em virtude disso, pesquisas visando recomendar práticas agrícolas sustentáveis vêm crescendo nas últimas décadas (MOITINHO et al., 2015, RODRIGUES et al., 2015; SANTOS; SIQUEIRA; COSTA, 2016, SIQUEIRA et al., 2016). Resultados de estudos envolvendo o manejo do solo com uso de culturas de cobertura tem revelado que a adoção desse manejo pode alcançar reduções significativas nas perdas de solo por erosão hídrica (VOLK; COGO, 2008; MCHUNU et al., 2011; PANAGOS et al., 2015; GAO et al., 2016). Outros serviços ecossistêmicos

podem ser proporcionados por meio da adoção de plantas de coberturas, como a melhoria da biodiversidade do solo e aumento do sequestro de carbono, o que permitiria o surgimento de inimigos naturais, contribuindo assim na redução do uso de agroquímicos no controle de pragas e doenças, e o uso mais eficiente da água para irrigação (WIESE; MAREK; HARMAN, 1998; MARTINS et al., 2009; SANTOS; SIQUEIRA; COSTA, 2016; SIQUEIRA et al., 2016; SOUZA et al., 2016; RIVERS et al., 2017).

Nesta linha de pesquisa, um novo desafio foi aberto ao estudar a influência dos resíduos vegetais na dinâmica do carbono do solo com relação às entradas, saídas e o estoque (ZOTARELLI et al., 2012; LAUDICINA et al., 2014). Sistemas que visam a conservação do solo sem revolvê-lo, com a substituição de implementos agrícolas (grade, subsoladores e arados), as plantas começaram a desempenhar essa função, a exemplo de plantas descompactadoras de solo. Deste modo, são consideradas importantes condicionadoras da qualidade física, química e biológica do solo (MARTINS et al., 2012; ROSOLEM et al., 2016; CALONEGO et al., 2017). Assim, a escolha das plantas que irão integrar as sequências de culturas em sistemas conservacionistas como sistema de semeadura direta torna-se primordial para obtenção potencial na do sistema tanto na produtividade das culturas quanto na conservação do solo (RAPHAEL et al., 2016).

### **2.3 Sistema de semeadura direta uma alternativa para mitigação de GEE**

O sistema de semeadura direta (SSD) caracteriza-se pela ausência de práticas de preparo do solo e pelo incremento e manutenção de cobertura morta remanescente dos cultivos (DERPSCH et al., 2014). De acordo com a Federação Brasileira de plantio direto na palha (FEBRAPDP) esse sistema começou a ser implantado no Brasil na década de 70 pelos agricultores da região sul do país. Após a consolidação do sistema na região, agricultores da região centro-oeste e sudeste começaram a aderir a prática (FEBRAPDP, 2015).

Atualmente, o sistema já ocupa 32 milhões de hectares em todo o território nacional, sendo que o governo tem como meta ampliar a utilização do SSD em mais 8 milhões de hectares até 2020 (DERPSCH et al., 2014; FEBRAPDP, 2015).

Estima-se que no mundo inteiro o SSD ocupe aproximadamente 120 milhões de hectares (FAO, 2017). Entretanto, somente a adoção da prática não é o suficiente para que o sistema alcance seu potencial máximo em termos de sustentabilidade e conservação do solo. De acordo com os dados obtidos pela FEBRAPDP (2015) no Brasil somente 2,7 milhões de hectares segue as orientações corretas recomendadas pelos pesquisadores, como por exemplo o uso de plantas adequadas para cada região, respeitando condições edafoclimáticas.

Diante desse panorama, o manejo indicado para o SSD envolve práticas como a rotação de culturas, sucessão de culturas durante o ano, utilização de plantas com alto potencial de produção de matéria seca de lenta decomposição, bem como uso de leguminosas para fixação biológica de nitrogênio-FBN (ROSOLEM et al., 2016; CALONEGO et al., 2017). Apesar disso, o governo brasileiro tem interesse em subsidiar o cultivo de leguminosas visando o aumento da FBN em 5,5 milhões de hectares até 2020, resultando em um sequestro de carbono de 10 milhões de Mg de CO<sub>2</sub> equivalentes (MAPA, 2012).

A qualidade de resíduo que é intrínseco ao tipo de planta escolhida para cobertura é de fundamental importância no sequestro de carbono, uma vez que para sequestrar 1 t/c são necessários 20 kg de P e 14 kg de S (HINES, 1997). Conforme estimativas feitas por Cerri et al. (2004), converter áreas de plantio convencional em cultivo de semeadura direta, traria um impacto na acumulação de carbono no solo em proporções de 0,5 Mg por hectare ao ano. Outros autores como Lal e Bruce (1999) também mencionam a importância dessa mudança, mas em regiões de clima temperado, mostrando que é possível dentro de um período de 25-50 anos, recuperar em até 50 a 75% do carbono orgânico perdido.

A escolha da leguminosa a ser implantada no SSD é de extrema importância, tanto para diminuir as entradas de fertilizante sintético quanto para a maximização no sequestro de C no solo (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000; SIX et al., 2002). Nesse cenário cultivo de crotalaria como cultura de entressafra apresenta-se com uma alternativa bastante perspicaz, devido ao alto potencial de produção de matéria seca de rápida decomposição, em razão sua baixa relação C/N e eficiência na fixação biológica de nitrogênio, que é de cerca de 200 a 400 kg/N/ha<sup>-1</sup> (MARCELO et al., 2012; ROSOLEM et al., 2016).

A utilização de milho no SDD também é essencial, mas a sua utilização como cultura de verão ou de inverno vai depender das condições edafoclimáticas de cada região e da necessidade de cada produtor. Entre os benefícios que o cultivo do milho fornece para o sistema destaca-se a manutenção de resíduos no solo, visto que esta cultura possui um alto potencial de produção de matéria seca de difícil decomposição (MARCELO et al., 2012). Aliás, o cultivo de milho em sistema de semeadura direta irá beneficiar o solo, por meio da estabilidade de agregados, diminuindo as perdas de solo por erosão e aumentando também o estoque de carbono.

Quando se trata de eficiência na acumulação do estoque de carbono no solo sob SSD, a prática de sucessões de culturas é quase que obrigatória, visto que a diversidade de cultivos na mesma área impulsiona atividade microbiana do solo, por conta da liberação de exsudatos vegetais ricos em polissacarídeos (MARTINS et al., 2012; FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017). O aumento da atividade microbiana resultará em maior liberação de agentes cimentantes como a glomalina, que irão melhorar o estado de agregação do solo resultando em maior acúmulo de carbono (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A alta variabilidade observada entre estimativas do estoque de carbono entre os estudos, pode ser em função das diferenças no histórico de cada área, usos e manejos atuais, classe de solo, período de adoção do sistema de semeadura direta e nos vários métodos utilizados para estimar e quantificar os estoques de carbono no solo além da profundidade utilizada para amostragem do solo (DINAKARAN et al., 2014).

A despeito da variabilidade nos valores de mudança de C no solo descritas na literatura, o que tem se observado é que em solos cultivados com SSD com sucessão de culturas são encontrados maiores estoques de carbono no solo (MARTINS et al., 2012). De forma análoga, existe poucos estudos sobre o papel de nitrogênio no processo de estocagem de carbono, uma vez considerando que a matéria orgânica apresenta, de modo geral, uma relação C/N baixa (entre 10 e 12), acredita-se que existe uma dependência de haver sobra no sistema, decorrente das entradas e saídas de nitrogênio (SISTI et al., 2004; JANTALIA et al., 2007; ZOTARELLI et al., 2012).

Nessa perspectiva, pesquisadores têm somado esforços para tentar compreender a dinâmica do carbono no SSD, no que diz respeito as entradas, saídas

e estoque de carbono (CERRI et al., 2004; LAL, 2004; SILVA-OLAYA et al., 2013; BAYER et al., 2016; GUZMAN et al., 2016). O governo brasileiro pretende até 2020 com a ampliação do SSD contribuir com um sequestro de carbono entre 16 a 20 milhões de Mg\ton de CO<sub>2</sub> equivalente (MAPA, 2012). Em decorrência disso, a realização de pesquisas que avalie diferentes adoções de sequências de culturas associadas a leguminosas e gramíneas é de suma importância para aumentar a eficiência do sistema em âmbito regional e nacional.

#### **2.4 Emissão de CO<sub>2</sub> em virtude das propriedades do solo**

O solo desempenha um papel importantíssimo no processo de emissão e sequestro de carbono, uma vez que ele é um dos maiores reservatórios de carbono da Terra (SIX et al., 2004; BAYER et al., 2016). Estima-se que haja de duas a três vezes mais carbono estocados nos solos quando comparado a vegetação, e carbono presente na atmosfera. Essa comparação pode chegar em até o dobro (FAO, 2017).

O tipo de manejo adotado no solo irá afetar diretamente na sua função de emissor ou mitigador de GEE. A adoção de manejos inadequados pode expor o carbono aos microrganismos que serão responsáveis pela mineralização da matéria orgânica o que resultará na transferência de gases do efeito estufa em especial o CO<sub>2</sub> para a atmosfera (SMITH et al., 2008; PAUSTIAN et al., 2016).

No solo, o CO<sub>2</sub> é produzido por meio da respiração das raízes e de processos biológicos que envolvem a decomposição da matéria orgânica, sendo posteriormente liberado pelos espaços porosos do solo por difusão ou fluxo de massa (BALL; SMITH, 1991; LAL, 2007a; LAL, 2009). A umidade e a temperatura do solo estão relacionadas diretamente aos processos relacionados tanto à produção quanto ao transporte de CO<sub>2</sub> do interior do solo para a atmosfera (BALL; SIMTH, 1991; EPRON et al., 2006; LAL, 2009; OERTEL et al., 2016).

A temperatura do solo concatenada com o conteúdo de água são fatores importantes no processo de emissão de CO<sub>2</sub> do solo no tempo e espaço. Isto se deve ao aumento de temperatura, por ela acelerar as reações de decomposição da matéria orgânica e aumentar a taxa respiratória dos microrganismos e das raízes, comportamento que influencia o fluxo de CO<sub>2</sub> (SILVA-OLAYA et al., 2013; ACRECHE

et al., 2014). Por sua vez, o conteúdo de água presente no solo pode favorecer ou coibir a  $FCO_2$ , por afetar a atividade microbiana e a difusão de gases (LAL, 2001). Esses efeitos são decorrentes principalmente da interação do conteúdo de água com o arranjo de poros do solo (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008).

Além dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, estarem associadas direta e indiretamente a  $FCO_2$  (LAL, 2007a; LAL, 2009; PANOSSO et al., 2009; OERTEL et al., 2016), outros fatores como o relevo e a relação C/N (carbono/nitrogênio) do material vegetal depositado no solo, também podem contribuir para maiores emissões de  $CO_2$  (KONDA et al., 2010; MOITINHO et al., 2015). No solo, a continuidade dos poros, ou seja, a estrutura, determina a dinâmica da emissão de  $CO_2$ , principalmente em relação a sua variabilidade espacial e temporal.

Vários estudos apontam a relação entre a emissão de  $CO_2$  e diversos atributos físicos do solo, tais como: densidade do solo, porosidade livre de água, macro e microporosidade, preenchimento de água nos poros e oxigenação do solo (XU; QI, 2001; SMART; PEÑUELAS, 2005; CHEN et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2012). No entanto, os microrganismos desempenham papel-chave nos atributos físicos do solo, principalmente na formação de agregados (SIX et al., 2002; WU et al., 2014). Estudos revelam a influência dos microrganismos na emissão/mitigação de carbono, principalmente por serem os principais decompositores de matéria orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; PAUSTIAN et al., 2016).

O conhecimento do estado de agregação do solo torna-se trivial quando se quer promover o aumento no estoque de carbono no solo. Isto porque, na formação de agregados do solo, o carbono orgânico muitas vezes é protegido fisicamente, resultando no maior reservatório de carbono no solo. Tal fato, elege o solo como importante mitigador de  $CO_2$  (LAL, 2007b).

Vale salientar que, além do solo desempenhar papel importante na emissão e estoque de carbono, ele também é afetado pelas mudanças climáticas. Contudo, a compreensão dessa interferência é bem complexa, em razão dos processos envolvidos de ordem direta e indireta, exigindo, portanto, mais estudos que abordem tal aspecto (CÉCILLON et al., 2010).

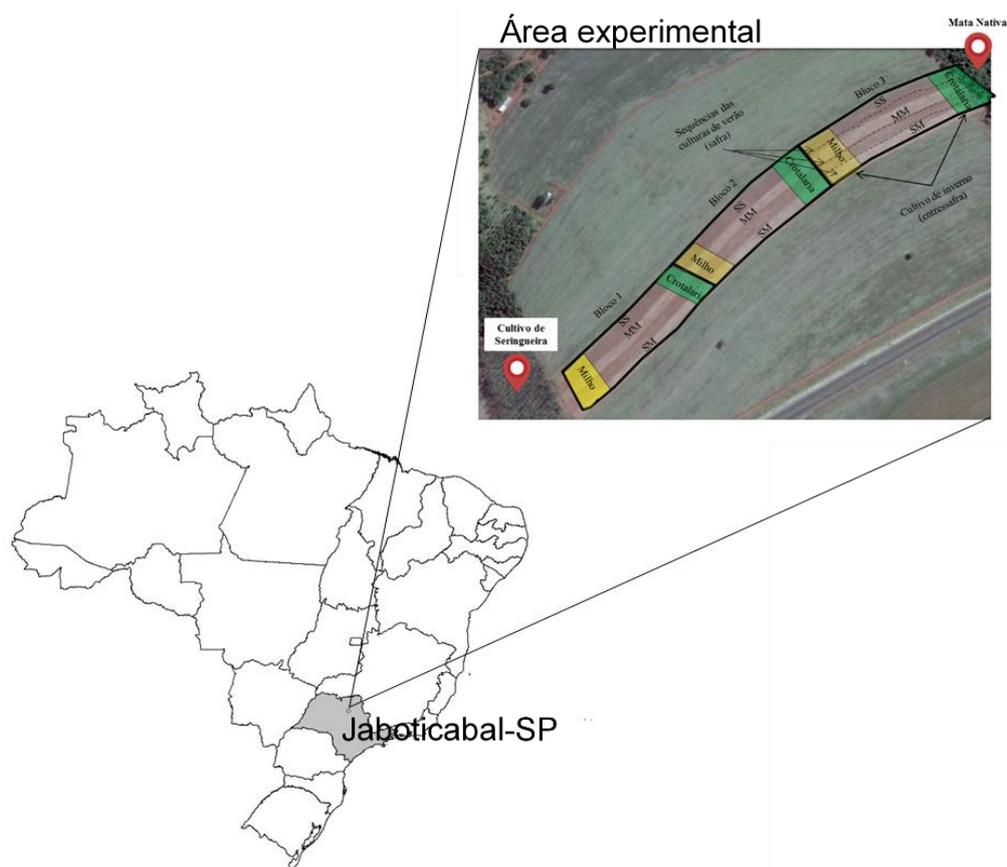
Diante do que foi supracitado, para melhor compreensão dos impactos diretos deve-se levar consideração tanto a distribuição das classes e estabilidade dos

agregados do solo, pois são atributos físicos do solo afetados diretamente pelo impacto da chuva, manejo adotado e características do solo (THOMAZ, 2017). Neste aspecto, a erosão do solo, entra como um dos meios de perdas de carbono no solo, sobretudo, quando se trata de áreas intensamente manejadas. Uma das alternativas para diminuir as perdas de carbono do solo seria adoção de sistemas de cultivo que adote o cultivo consorciado de diferentes espécies de gramíneas e leguminosas para aumento do conteúdo de matéria orgânica que irá reduzir os efeitos do processo erosivo e, conseqüentemente, diminuir a emissão de CO<sub>2</sub>, em razão da deposição de resíduos sobre o solo (HU; KUHN, 2014; LAL, 2015).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado no município de Jaboticabal, SP em área localizada nas coordenadas 21°15'22" S e 48°18'58" O (Figura 1), a 550 m de altitude durante os meses de julho e agosto de 2016 referente ao ano agrícola de 2015/2016.



**Figura 1.** Localização da área experimental.

O clima da região, segundo a classificação de Thornthwaite (1948), é do tipo B1rB'4a', mesotérmico úmido, com pequena deficiência hídrica, apresentando temperatura do mês mais quente superior a 22 °C e a do mês mais frio superior a 18 °C e precipitação média anual de 1,425 mm, com maiores volumes de chuva de outubro a março. A temperatura média anual é de 22,2 °C.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho eutrófico, textura argilosa (SANTOS et al., 2013), apresentando relevo suave ondulado (3-8%), com 556 g kg<sup>-1</sup> de argila, 63 g kg<sup>-1</sup> de silte e 381 g kg<sup>-1</sup> de areia na camada de 0-20 cm (Tabela 1).

Desde 2001 a área encontra-se sob sistema de semeadura direta e os resultados apresentados no presente estudos correspondem ao ano de 2016. Antes da implantação do sistema, foi utilizada para a produção de soja e milho em sistema convencional de preparo do solo por 25 anos.

**Tabela 1.** Teores de argila, área, silte e mineralogia para o horizonte A (0 – 20 cm) do solo da área experimental.

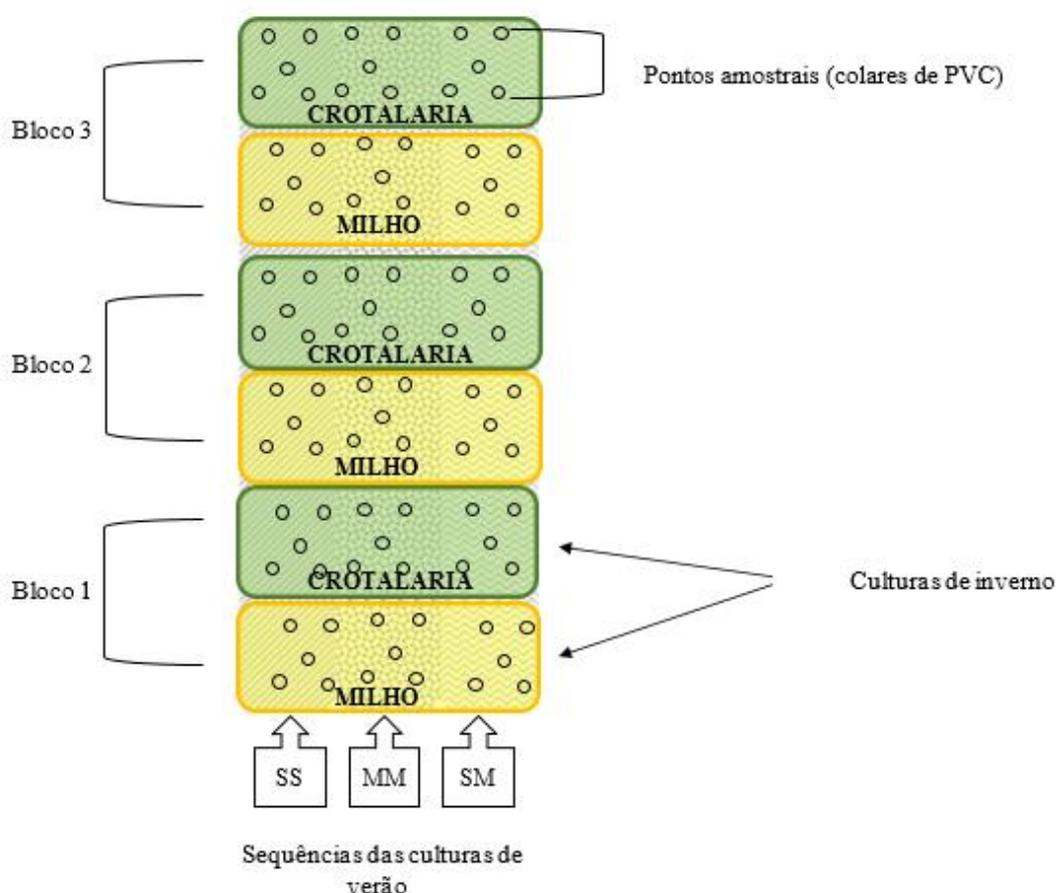
Atributo	Teor
	-----g kg <sup>-1</sup> -----
Argila <sup>a</sup>	556
Silte <sup>a</sup>	63
Areia <sup>a</sup>	381
	-----%-----
Fração argila <sup>b</sup>	
Fe total	12,2
Fe extraível em ditionita	11,9
Fe extraível em oxalato	0,24
Caulinita	82,6
Gibsita	12,4
Solo <sup>b</sup>	
SiO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1)	15,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1)	15,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1)	5,4
Cor (Sistema de Münsell)	2,5 YR 3/4

Fonte: Martins et al. (2009)<sup>a</sup> e Centurion (1998)<sup>b</sup>.

Antes da instalação do experimento os atributos químicos do solo para camada de 0-20cm foram: pH (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) = 5,0; Carbono orgânico = 11 g kg<sup>-1</sup>; P (resina) = 13 mg dm<sup>-3</sup>; K = 4,1, Ca = 15, Mg = 9, acidez potencial = 34 e CTC = 62,1,

em  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ ; saturação por bases = 45%. Para implantação do SSD foram realizadas operações de subsolagem a 40 cm de profundidade e de calagem para elevação da saturação por bases do solo para 70%. Também foram realizadas operações de aração e gradagem para incorporação do calcário com PRNT de 100%, aplicado na dose de  $1,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

O delineamento experimental foi em faixas com três blocos (Figura 2). Cada bloco foi composto por 6 parcelas subdivididas com uma área útil de  $200 \text{ m}^2$  ( $20 \times 10 \text{ m}$ ). Em cada parcela foram demarcados 5 pontos amostrais para a área útil de cada parcela, distribuídos de forma aleatória com distância mínima de 5 m entre os pontos. Para esta marcação foram inseridos no solo colares de PVC (com 10 cm de diâmetro) em cada um dos pontos a uma profundidade de 2 cm.



**Figura 2.** Área experimental: constituída das sucessões das sequências das culturas de verão com as culturas de inverno.

Os tratamentos consistiram nas combinações de três sequências de culturas de verão com duas de inverno, sendo as de verão: a monocultura do milho (*Zea mays* L.) (MM), a monocultura da soja (*Glycine max* L.) (SS) e a rotação soja e milho (SM), com cultivos intercalados aos anos, sendo o milho a cultura utilizada quando o estudo foi realizado. As culturas de inverno foram: crotalaria (*Crotalaria juncea* L.) e milho, semeadas entre fevereiro e março de cada ano (entressafra).

Nas sequências de verão, a cultura do milho foi implantada com espaçamento de 90 cm entre linhas (60 mil plantas ha<sup>-1</sup>). Para este ano foi utilizada a mesma variedade de milho (2B520) em SM e MM. Na sequência com a soja (SS) foi utilizada a variedade S3037 com espaçamento de 45 cm entre linhas (480 mil plantas ha<sup>-1</sup>).

Foi realizada adubação de plantio de 400 kg ha<sup>-1</sup> da formula NPK 8-28-16 para as áreas com milho e 300 kg ha<sup>-1</sup> da NPK 4-20-20 para área com monocultivo de soja, a adubação de cobertura do milho foi feita com 300 kg ha<sup>-1</sup> da formula NPK 20-00-20 para SM e MM no momento em que a planta encontrava-se com seis folhas desdobradas.

Para as culturas de inverno a adubação de cobertura só é realizada quando necessária, para a cultura do milho, o espaçamento entre linhas para o milho é de 90 cm (60 mil plantas ha<sup>-1</sup>) e para crotalaria 45 cm (555 mil plantas ha<sup>-1</sup>).

### **3.2 Determinação da massa seca e relação C/N dos resíduos das culturas**

Foi realizada a coleta em junho de 2016 ao acaso do resíduo vegetal em cada parcela experimental com um quadrado de ferro com área de 1 m<sup>2</sup>. Em seguida o resíduo vegetal foi colocado em estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 65 °C até atingir peso constante, posteriormente, esse material foi pesado para obter o peso da massa seca dos resíduos, em seguida foi realizada a determinação de carbono (C) e nitrogênio (N) para estimar a relação C/N dos resíduos (Tabela 2).

**Tabela 2.** Caracterização da massa seca e relação C/N dos resíduos para as sequências de verão.

Culturas de inverno	Sequências das culturas de verão			
	SM	MM	SS	Média
-----Matéria seca t ha <sup>-1</sup> -----				
Crotalaria	1,49	1,30	1,42	1,40
Milho	1,01	1,61	1,25	1,29
<b>Média</b>	1,25	1,46	1,33	-
-----Relação C/N do resíduo-----				
Crotalaria	84,3	83,5	51,1	73
Milho	74,5	102,1	55,2	77,3
<b>Média</b>	79,4	92,8	53,1	-

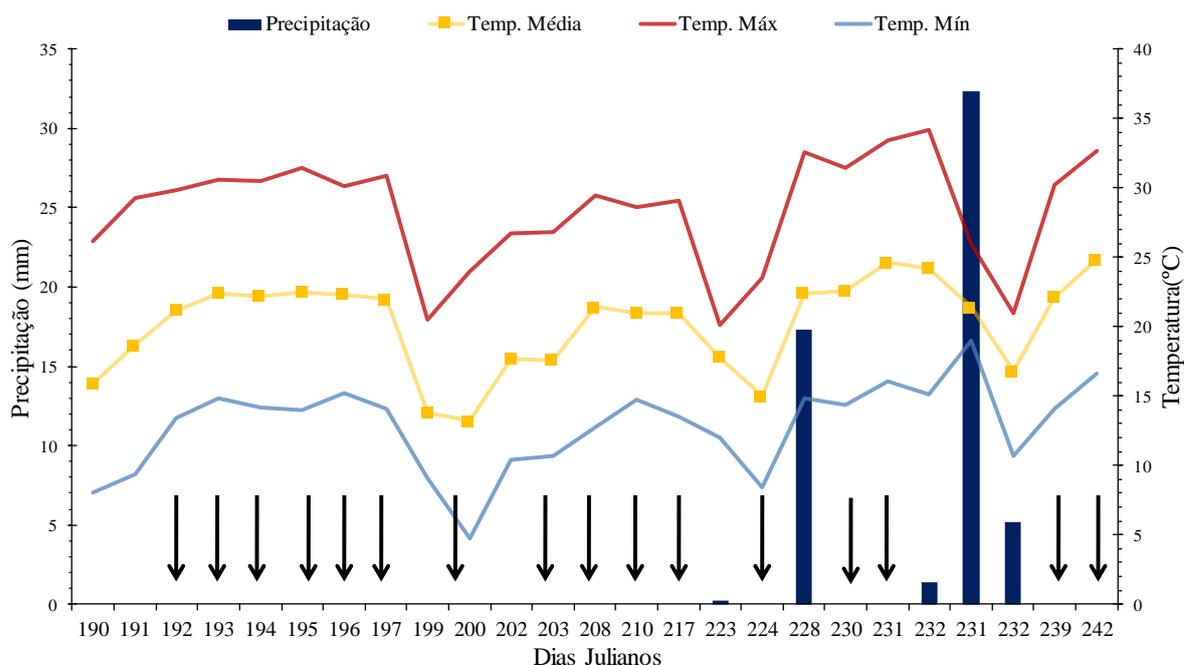
**SM**= rotação soja milho; **MM**= monocultura de milho; **SS**= monocultura de soja.

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

As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>), temperatura (Ts) e umidade do solo (Us) foram realizadas dentro de um período de 51 dias (10 de julho a 29 de agosto) com 16 avaliações, realizadas das 6 às 10h da manhã (Figura 3).

As avaliações da emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>) foram realizadas utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100), Nebraska EUA. Esse 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).

Simultaneamente as medições da FCO<sub>2</sub>, foram realizadas as medidas da temperatura do solo por meio de um termômetro automático e da umidade do solo utilizando-se de um sistema portátil TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália), que avalia a umidade disponível do solo (% em volume), na camada de 0-12 cm.



**Figura 3.** Valores da temperatura do ar (máxima, média e mínima) e precipitação para o período que compreendeu os dias de avaliação (julho e agosto), indicados pelas setas.

### 3.4 Determinação dos atributos físicos, matéria orgânica e nitrogênio total do solo

Para a determinação da porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e densidade do solo (Ds) foram retiradas amostras indeformadas com auxílio de amostrador adaptado a cilindros com dimensões médias de 5 cm de diâmetro interno e 4 cm de altura, sendo a coleta realizada no meio da camada de 0-20 cm (EMBRAPA, 2011). A porosidade livre de água (PLA) foi calculada pela diferença entre a fração da porosidade preenchida por água, determinada pela Us e o volume total de poros (VTP).

Para determinar os atributos referentes a agregação do solo, a amostragem foi realizada com auxílio de um enxadão na camada de 0-20 cm. O índice de estabilidade de agregados (IEA) e o diâmetro médio ponderado (DMP), foram determinados seguindo método sugerido por Nimmo e Perkins (2002) com aparelho de oscilação vertical (YODER, 1936). Após agitação em água os agregados ficaram distribuídos nas classes de > 4,76, 4,76–2, 2–1, 1–0,5, 0,5–0,25 e < 0,25 mm. Com a massa dos

agregados retida em cada peneira foi calculado o diâmetro médio ponderado dos agregados por meio da equação 1:

$$DMP = \frac{\sum_{(i=1)}^3 [(X_i \cdot W_i)]}{\sum_{(i=1)}^3 W_i} \quad (\text{eq. 1})$$

sendo,  $w_i$  a massa de agregados na  $i$ -ésima classe de tamanho com diâmetro médio  $x_i$ .

As amostras deformadas do solo para as análises de matéria orgânica (MOS) e nitrogênio total do solo compreenderam a camada de 0-20 cm do solo. A determinação dos teores de MOS foi feita seguindo a metodologia de espectrofotometria (RAIJ et al., 2001). O N total do solo foi determinado por digestão sulfúrica (VENDA, 2001). A relação C/N foi estimada pela razão entre os teores de C orgânico total e N total do solo. O estoque de carbono foi calculado com base na metodologia descrita por Veldkamp (1994), por meio da equação 2.

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times \text{E})/10 \quad (\text{eq. 2})$$

em que, EstC é o estoque de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), CO é o teor de carbono orgânico ( $\text{g kg}^{-1}$ ), Ds é a densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ ) e E é a espessura da camada estudada (0,20 m).

### 3.5 Análise de dados

Para melhor compreensão da variação da  $\text{FCO}_2$  em função dos atributos do solo em estudado foram realizados dois tipos de análises descritivas de forma temporal e espacial, sendo ambas processadas no programa SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, Cary, NC, EUA).

#### 3.5.1 Variação temporal

Esta análise foi realizada para  $\text{FCO}_2$ , Ts e Us. Os dados utilizados consistem nas médias diárias de cada ponto amostral para essas variáveis. As médias foram

submetidas a análise da variância com medidas repetidas no tempo (Teste F) para obter-se os valores de erro padrão. Também foi realizada uma análise de correlação de Pearson para compreender a variação da  $FCO_2$  em função da  $U_s$  e  $T_s$ .

### **3.5.2 Variação espacial**

A variação espacial foi realizada para emissão de  $CO_2$  ( $FCO_{2média}$ ), temperatura ( $T_{Smédia}$ ), umidade ( $U_{Smédia}$ ) e para os demais atributos do solo. Para  $FCO_{2média}$ ,  $T_{Smédia}$  e  $U_{Smédia}$  foram consideradas as médias acumuladas ao final das avaliações em cada ponto amostral, sendo que para as outras variáveis do solo, as médias corresponderam ao número de pontos em cada parcela em uma única amostragem. Este mesmo procedimento foi adotado por Moitinho et al. (2015).

Simultaneamente, as análises estatísticas, as pressuposições básicas da análise da variância e regressão, normalidade dos erros e homogeneidade das variâncias foram testadas para todos os atributos avaliados. Inicialmente as variáveis foram submetidas à análise da variância (Teste F). A comparação das médias foi realizada por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

Quando realizada a análise da variância de medidas repetidas no tempo, não foi observado efeito significativo para a interação entre as sequências das culturas de verão e as culturas de inverno ( $p > 0,005$ ). Contudo existe interação entre o tempo e as sequências das culturas de verão para as variáveis FCO<sub>2</sub> ( $F = 1,79$ ;  $p = 0,0057$ ), Us ( $F = 1,64$ ;  $p = 0,016$ ) e Ts ( $F = 2,71$ ;  $p < 0,001$ ), bem como para às culturas de inverno FCO<sub>2</sub> ( $F = 1,79$ ;  $p = 0,0057$ ), Us ( $F = 1,64$ ;  $p = 0,016$ ) e Ts ( $F = 2,71$ ;  $p < 0,001$ ).

Ao analisar a variação temporal para emissão de CO<sub>2</sub> (Figuras 4a e 4d) e umidade do solo (Figuras 4b e 4e) foi possível observar uma similaridade no padrão temporal em todas as sequências de culturas.

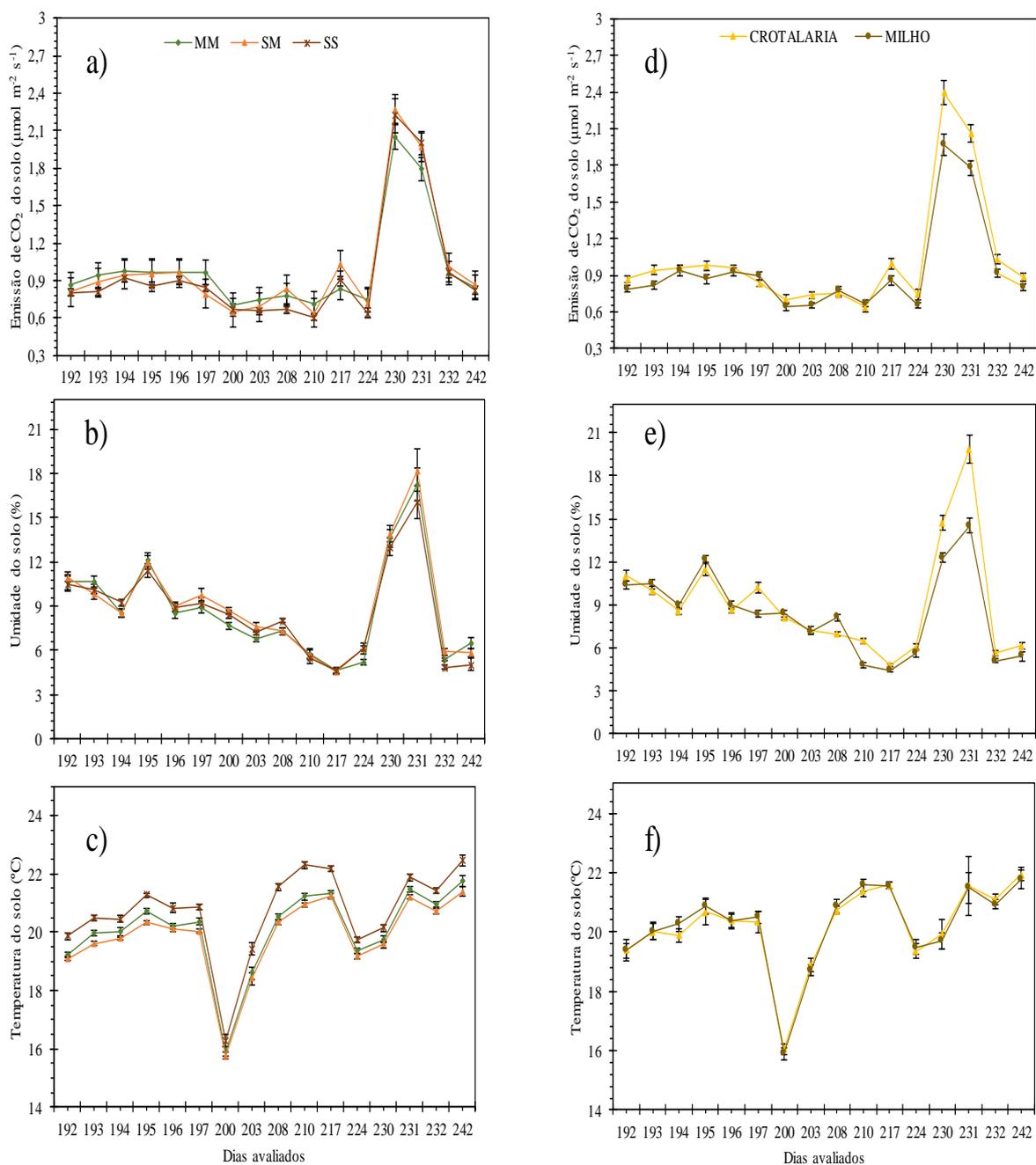
A influência das mudanças da umidade do solo sobre a sensibilidade da FCO<sub>2</sub> foi observada por meio de análise de correlação onde para as sequências das culturas de verão foi observada uma correlação forte de ( $r = 0,79$ ;  $p < 0,0001$ ), ( $r = 0,73$ ;  $p = 0,001$ ) e ( $r = 0,70$ ;  $p = 0,002$ ) entre essas duas variáveis, para MM, SM e SS respectivamente. Por sua vez para as culturas de inverno, o solo com cultivo de crotalaria, apresentou uma correlação entre FCO<sub>2</sub> e Us ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,0001$ ) mais forte que para o solo sobre resíduos de milho ( $r = 0,63$ ;  $p < 0,002$ ).

Maior efeito da variação da umidade solo na FCO<sub>2</sub> foi observado no dia 230, tal comportamento deve-se ao evento de precipitação ocorrido no dia 228 (Figura 3). Em virtude disso, foi realizada uma comparação percentual entre o dia 224 que antecedeu e o dia 230 que procedeu o evento precipitação para todas as sequências de culturas.

Dessa forma o solo sob resíduo da monocultura de soja apresentou um aumento de 346% enquanto que para rotação de culturas e monocultura de milho este aumento foi de 317% e 274%, do mesmo modo, para as culturas de inverno o solo sob resíduo de crotalaria teve um aumento de 321% enquanto que para o milho foi de apenas 298%.

Chavez et al. (2009) em estudo ao avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> em SSD em um latossolo vermelho também observaram aumento da FCO<sub>2</sub> e de umidade do solo após eventos de precipitação. Moreira e Siqueira (2006) afirmam que para que haja o

aumento da atividade respiratória dos microrganismos do solo é necessário que haja umidade suficiente para a sua atividade.



**Figura 4.** Variabilidade temporal da FCO<sub>2</sub> (a), Us (b) e Ts (c) para as seqüências das culturas de verão e da FCO<sub>2</sub> (d), Us (e) e Ts (f) para as culturas de inverno.

Os eventos de precipitação se concentraram ao final do experimento, que teve início em junho que é um período com pouca presença de chuva na região estudada (Figura 3).

Desse modo com a umidade do solo baixa, logo após a precipitação os poros do solo que estavam preenchidos por ar foram preenchidos por água. E com isso, houve um aumento da atividade microbiana, resultando em produção de CO<sub>2</sub> (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; BRADY; WEIL, 2013).

Por sua vez, a diminuição proeminente da emissão de CO<sub>2</sub> no dia 239 logo após um acúmulo de quase 40 mm de precipitação dentro do período de três dias (Figura 3) deve-se à falta de oxigenação proporcionada pela saturação do solo por água. Visto que mesmo em curtos períodos, eventos de precipitação podem preencher os poros do solo por água, de modo que dificulte ou até mesmo esgote o suprimento de oxigênio para o interior do solo, dessa maneira proporcionando um ambiente anaeróbico que irá cessar a produção de CO<sub>2</sub> pelos microrganismos que necessitam de oxigênio para realizar a sua respiração.

Contudo as variações observadas da FCO<sub>2</sub> após a ocorrência de precipitação podem estar relacionadas não somente a presença de chuva, mas também a influência de outros atributos do solo, principalmente com aqueles que atuam sobre o crescimento microbiano e na retenção de água, como por exemplo, a porosidade e o teor de matéria orgânica do solo (XU; QI, 2001; PANOSSO et al., 2009).

A temperatura do solo não apresentou correlação com a FCO<sub>2</sub> em escala temporal ( $p > 0,05$ ) possivelmente esse efeito da Ts sobre a FCO<sub>2</sub> pode ter sido influenciado pelo efeito da Us. Nesse sentido, alguns autores discutem que um problema adicional em se modelar o fluxo de CO<sub>2</sub> com a temperatura e a umidade do solo, decorre do fato de que essas podem covariar, tornando-se impossível separar os seus efeitos sobre a emissão de CO<sub>2</sub> do solo (DAVIDSON et al., 2000; SAVVA et al., 2013).

Em seu estudo La Scala et al. (2003) também não encontraram correlação da FCO<sub>2</sub> com Ts ao longo do tempo, indicando que a Ts isoladamente nem sempre é capaz de explicar a variabilidade temporal da FCO<sub>2</sub>, desse modo havendo sempre a necessidade de avaliar simultaneamente a Us.

## 4.2 Variação espacial da emissão de CO<sub>2</sub> e dos atributos solo

A análise da variância realizada para a emissão de CO<sub>2</sub> ( $FCO_{2média}$ ) não indicou significância para a interação entre as sequências de verão e as culturas de inverno ( $F = 1,29$ ;  $p = 0,51$ ) (Tabela 3). O mesmo ocorreu em relação a umidade ( $U_{Smédia}$ ) ( $F = 2,45$ ;  $p = 0,10$ ) e temperatura do solo ( $T_{Smédia}$ ) ( $F = 0,91$ ;  $p = 0,06$ ) (Tabela 3).

Para a  $FCO_2$  observou-se efeito significativo quando analisadas as culturas de inverno ( $F = 12,86$ ;  $p = 0,01$ ) onde o solo sob resíduos de crotalaria apresentou maior valor médio da  $FCO_{2média}$  ( $1,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) quando comparado ao solo sob resíduo do milho ( $0,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

Foi observado efeito significativo para  $T_{Smédia}$  apenas para as sequências das culturas de verão ( $F = 47,63$ ;  $p = 0,001$ ), com maior média observada no solo com a sequência da monocultura da soja (SS) ( $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Por outro lado, a  $U_{Smédia}$ , apresentou efeito significativo tanto para as sequências das culturas de verão ( $F = 33,17$ ;  $p = 0,003$ ) quanto para as culturas de inverno ( $F = 10,92$ ;  $p = < 0,0001$ ) com maiores valores médios para SM (8,99%) e a crotalaria (9,14%).

A quantidade, qualidade e distribuição dos resíduos vegetais influenciam nos valores de temperatura e umidade do solo (CHAVEZ et al., 2009; CAMPOS et al., 2011; PES et al., 2011). Uma vez que a presença de resíduo vegetal promove um efeito de isolamento térmico, favorecendo a maior retenção de água no solo com consequentes variações da temperatura (USSIRI; LAL, 2009).

Desta forma, o maior valor de  $T_{Smédia}$  observado na monocultura de soja pode estar relacionado ao tipo de resíduos proveniente desta leguminosa. Do mesmo modo a maior  $U_{Smédia}$  no solo com cultivo de crotalaria pode estar associada a maior quantidade de resíduos neste tratamento (Tabela 2). De acordo com Calonego et al. (2017), o sistema radicular da crotalaria ao favorecer o aumento da porosidade total do solo que auxilia na preservação da água no solo, em vista disso a microporosidade será a principal responsável pela manutenção da umidade do solo.

Nesse sentido, as sequências de culturas avaliadas no presente estudo podem ajudar a explicar as relações espaciais observadas entre a  $FCO_{2média}$  e a  $T_{Smédia}$ . A temperatura do solo foi a única variável que explicou a variação espacial da  $FCO_{2média}$  em todas as sequências de culturas.

**Tabela 3.** Emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>média), temperatura do solo (T<sub>Smédia</sub>) umidade do solo (U<sub>Smédia</sub>), porosidade total (PT), macroporosidade (Macro) e microporosidade do solo (micro), densidade do solo (Ds), porosidade livre de água (PLA), diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA) nas sequências de verão (SV) e culturas de inverno (CI).

Sequências de verão (SV)	FCO <sub>2</sub> média*	T <sub>Smédia</sub> *	U <sub>Smédia</sub> *	PT	Macro	Micro	Ds	PLA	DMP	IEA
	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(°C)	(%)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	(%)	(mm)	(%)
<b>Monocultura Milho (MM)</b>	0,99 a	20,08 b	8,72 b	0,450 a	0,096 a	0,354 a	1,44 a	36,33 a	2,43 a	82 a
<b>Rotação Soja/Milho (SM)</b>	1,00 a	19,85 b	8,99 a	0,442 a	0,094 a	0,351 a	1,46 a	35,21 a	1,77 b	69 c
<b>Monocultura Soja (SS)</b>	0,96 a	20,70 a	8,65 b	0,478 a	0,115 a	0,356 a	1,40 b	38,17 a	1,73 b	75 b
F (sequências de verão)	0,97	47,63	33,17	4,01	4,47	1,81	16,43	4,77	35,86	32,46
<i>p</i>	0,45	0,001	0,003	0,13	0,09	0,32	0,01	0,08	0,002	0,002
CV (%)	54,19	6,61	7,87	8,22	29,99	2,89	2,36	10,23	17,92	7,95
Culturas de inverno (CI)	FCO <sub>2</sub> média**	T <sub>Smédia</sub> **	U <sub>Smédia</sub> **	PT	Macro	Micro	Ds	PLA	DMP	IEA
	( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	(°C)	(%)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(g cm <sup>-3</sup> )	(%)	(mm)	(%)
<b>Crotalaria</b>	1,03 a	20,20 a	9,14 a	0,468 a	0,109 a	0,361 a	1,39 b	37,73 a	2,04 a	76 a
<b>Milho</b>	0,94 b	20,21 a	8,45 b	0,438 b	0,094 b	0,346 b	1,47 a	35,41 b	1,9 b	75 a
F (culturas de inverno)	12,86	0,013	10,92	14,79	3,68	14,44	27,22	9,11	4,06	0,291
<i>p</i>	0,01	0,91	<0,001	0,0002	0,05	0,0001	<0,001	0,003	0,04	0,59
CV (%)	51,44	7,45	45,03	8,15	36,38	5,09	5,25	9,95	15,64	6,99
F (SV x CI)	1,29	2,45	0,91	0,30	0,16	1,14	2,29	0,10	1,65	1,56
<i>p</i>	0,51	0,10	0,06	0,74	0,84	0,29	0,10	0,89	0,19	0,19

N = 30 (SV) e 45 (CI); \*(N = 480); \*\*(N = 720). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nas sequências de verão no solo sob monocultura do milho (MM) ( $R^2_{aj.} = 0,40$ ;  $p < 0,0001$ ), o modelo ajustado explicou 40% da variação da  $FCO_2$ , enquanto nas demais sequências: SM ( $R^2_{aj.} = 0,28$ ;  $p = 0,003$ ) e SS ( $R^2_{aj.} = 0,38$ ;  $p < 0,0001$ ) e na cultura de inverno com o milho ( $R^2_{aj.} = 0,39$ ;  $p < 0,0001$ ) e com a crotalaria ( $R^2_{aj.} = 0,31$ ;  $p < 0,0001$ ), os modelos foram capazes de explicar 28, 38, 39 e 31% da variação da  $FCO_2$ , respectivamente.

Outros autores têm observado relação entre a  $FCO_{2média}$  e a  $T_{Smédia}$  tanto em solos de floresta (DAVIDSON; BELK; BOONE, 1998) quanto em áreas agrícolas sob semeadura direta (SIQUEIRA NETO et al., 2009). A sensibilidade da decomposição do carbono do solo em função da temperatura do solo e seus efeitos sobre as mudanças climáticas, também tem sido abordada por diversos estudos (DAVIDSON; JANSSENS, 2006; BOND-LAMBERTY; THOMSON, 2010; PAUSTIAN et al., 2016; PRIES et al., 2017).

Para os atributos físicos do solo não foi observada significância ( $p > 0,05$ ) na interação entre as sequências de verão e as culturas de inverno (Tabela 3). Contudo, houve diferença significativa para a densidade do solo ( $D_s$ ) ( $F = 16,43$ ;  $p = 0,01$ ), DMP ( $F = 35,86$ ;  $p = 0,002$ ) e IEA ( $F = 32,46$ ;  $p = 0,002$ ) dentre as sequências das culturas de verão. Por outro lado, para às culturas de inverno, observou-se diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para todos os atributos físicos do solo, com exceção do IEA.

Os maiores valores da porosidade total ( $0,468 \text{ m}^3$ ), macroporosidade ( $0,109 \text{ m}^3$ ), microporosidade ( $0,361 \text{ m}^3$ ) e porosidade livre de água (37,73%) e menor valor médio da  $D_s$  ( $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ ) foram observados no solo com os resíduos da crotalaria. Esses resultados podem estar relacionados as características morfológicas dessa leguminosas. Visto que, a parte aérea da crotalaria apresenta grande potencial para produção de matéria seca, servindo como uma barreira física que protegendo a estrutura do solo (DINIZ et al., 2014; MANGARAVITE et al., 2014). O sistema radicular da crotalaria é mais profundo e possui maior diâmetro em relação as gramíneas, por este motivo dispõe de uma capacidade intrínseca sobre a qualidade física do solo no que diz respeito a descompactação, melhorando a agregação e matriz do solo (WILLIAMS; WEIL, 2004; RAPHAEL et al., 2016; CALONEGO et al., 2017).

Diante desse contexto, maior espaço poroso do solo com resíduos do cultivo de crotalaria pode ter influenciado na maior  $FCO_{2média}$ . Carvalho et al. (2016)

observaram maior emissão de CO<sub>2</sub> quando a crotalaria foi utilizada como cultura de sucessão, entretanto eles ressaltam que além de avaliar a emissão, também é necessário a avaliação do estoque de carbono, para apresentar conclusões mais consistentes ao se considerar o potencial de mitigação do sistema de semeadura direta.

Afim de compreender a relação da FCO<sub>2média</sub> com os atributos físicos do solo, realizou-se análise de regressão. No solo sob resíduo da monocultura de milho a FCO<sub>2média</sub> foi explicada somente pela microporosidade do solo ( $R^2_{aj.} = 0,26$ ;  $p = 0,004$ ). Em contraste no solo sob rotação de culturas (SM) a FCO<sub>2média</sub> foi respondida por mais atributos físicos, como a macroporosidade ( $R^2_{aj.} = 0,33$ ;  $p = 0,001$ ) e microporosidade do solo ( $R^2_{aj.} = 0,21$ ;  $p = 0,03$ ). Do mesmo modo, para monocultura de soja a microporosidade ( $R^2_{aj.} = 0,51$ ;  $p = 0,0001$ ), porosidade total do solo ( $R^2_{aj.} = 0,25$ ;  $p = 0,004$ ) e porosidade livre de água ( $R^2_{aj.} = 0,22$ ;  $p = 0,007$ ) foram os atributos físicos que conseguiram explicar a FCO<sub>2média</sub>.

Para as culturas de inverno, no solo sob resíduos do milho, a FCO<sub>2média</sub> foi explicada pela macroporosidade ( $R^2_{aj.} = 0,27$ ;  $p = 0,001$ ), enquanto que no solo com crotalaria, as variações espaciais da FCO<sub>2média</sub> foram explicadas somente pela microporosidade ( $R^2_{aj.} = 0,20$ ;  $p = 0,02$ ).

Em alguns casos as variações da emissão CO<sub>2</sub> deve-se as condições estruturais do solo, uma vez que, a aeração e a densidade interferem diretamente no processo de transporte gasoso no solo, tanto na entrada de oxigênio para a atividade microbiana aeróbia, quanto na saída de CO<sub>2</sub>, ou seja, resultado dessa atividade (TEIXEIRA et al., 2012).

Em estudos realizados sob Latossolo no estado de São Paulo, a FCO<sub>2</sub> também foi explicada pelos atributos físicos do solo. Por exemplo, Bicalho et al. (2014) em que a FCO<sub>2</sub>, foi explicada pela microporosidade do solo e Tavares et al. (2015) que encontraram relações de 58, 54, 51 e 31% entre a FCO<sub>2</sub> com densidade do solo, microporosidade, temperatura do solo e macroporosidade, respectivamente. Em virtude disso, é possível observar a importância da condição estrutural do solo para compreender as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera.

Ao avaliar o estado estrutural do solo em questão, observou-se diferença para índice de estabilidade dos agregados (IEA) somente em relação as sequências de

culturas de verão com maior média para o solo com monocultivo de milho (82%). Por outro lado, o diâmetro médio ponderado de agregados (DMP) diferiu para as sequências de culturas de verão e para as culturas de inverno onde as maiores médias foram observadas para o solo sob monocultivo de milho (2,43 mm) e para solo sob resíduos de crotalaria (2,04 mm).

O carbono orgânico é um dos principais responsáveis pela agregação do solo, uma vez que, existe uma relação exponencial entre essas duas variáveis (BLANCO-CANQUI; LAL, 2008; HELGASON; WALLEY; GERMIDA, 2010). Desse modo, melhor agregação do solo sob resíduos da monocultura do milho deve-se ao fato que solo sob cultivo de gramíneas tendem a apresentar maiores estoque de carbono (ADVIENTO-BORBE et al., 2007). Nessa área em questão, após cinco anos de implantação de sistema de semeadura direta, Martins et al. (2009) verificaram que melhor agregação do solo em MM estava relacionada a liberação de carbono orgânico e ao teor de polissacarídeos pelas raízes do milho.

Em decorrência da importância dos compostos orgânicos na agregação do solo o sistema radicular da crotalaria pode ter influenciado nos maiores valores de DMP dentre as culturas de inverno. Nesse sentido as raízes são a principais vias de liberação de exsudatos vegetais no interior do solo que acabam interferindo sobre a atividade microbiana (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; SIX et al., 2006; AUSTIN et al., 2017; FAUCON; HOUBEN; LAMBERS, 2017).

Em um solo com condições ideais para o desenvolvimento microbiano, esses organismos, irão promover a liberação agentes cimentantes, responsáveis pela melhor agregação do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; GUPTA; GERMIDA, 2015; RAHMAN et al., 2017). Em razão disso, melhor agregação no solo sob resíduos de crotalaria pode estar relacionada a atividade dos microrganismos.

Quando feita a análise de regressão do estoque de carbono, MOS, N total, e relação C/N com a  $FCO_{2média}$  tanto para as sequências das culturas de verão quanto para as culturas de inverno não foram encontrados modelos lineares ou quadráticos significativos ( $p > 0,05$ ). Porém, no presente estudo, o estoque de carbono ( $F = 34,61$ ;  $p = 0,002$ ) e os teores de MOS ( $F = 34,17$ ;  $p = 0,003$ ) (Tabela 4) diferiram apenas nas sequências das culturas de verão, com maiores valores observados para o estoque de carbono ( $41,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e a MOS ( $24,5 \text{ g dm}^{-3}$ ) no solo sob monocultura do milho.

**Tabela 4.** Matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total do solo (N total), relação C/N do solo e estoque de carbono do solo (EstC) nas sequências de verão (SV) e culturas de inverno (CI).

<b>Sequências de verão (SV)</b>	MOS	N <sub>total</sub> do solo	C/N do solo	EstC
	(g dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )		(Mg ha <sup>-1</sup> )
<b>Monocultura Milho (MM)</b>	24,50 a	1,68 a	8,73 a	41,13 a
<b>Rotação Soja/Milho (SM)</b>	23,03 b	1,50 a	8,78 a	37,82 b
<b>Monocultura Soja (SS)</b>	22,46 b	1,57 a	8,72 a	37,88 b
F (sequências de verão)	34,17	3,22	0,01	34,61
<i>p</i>	0,0003	0,14	0,98	0,002
CV (%)	4,21	17,18	18,42	4,63
<b>Culturas de inverno (CI)</b>	MOS	N <sub>total</sub> do solo	C/N do solo	EstC
	(g dm <sup>-3</sup> )	(g dm <sup>-3</sup> )		(Mg ha <sup>-1</sup> )
<b>Crotalaria</b>	23,51 a	1,52 b	9,33 a	38,65 a
<b>Milho</b>	23,15 a	1,64 a	8,16 b	38,14 a
F (Culturas de Inverno)	0,27	4,69	8,42	0,17
<i>p</i>	0,60	0,03	0,004	0,67
CV (%)	13,78	15,96	21,78	14,61
F (SV x CI)	0,078	0,60	0,15	0,60
<i>p</i>	0,092	0,54	0,86	0,55

N = 30 (SV) e 45 (CI). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Acredita-se que maior entrada de carbono por meio da fitomassa do resíduo com crotalaria (Tabela 2) acrescido a maior FCO<sub>2</sub>média do solo, explicam o fato de não ter observado diferença ( $p > 0,05$ ) para os estoques de carbono do solo nas culturas de inverno. Segundo Rosolem et al. (2016) a importância das leguminosas em acumular carbono no solo pode estar na colonização de raízes de leguminosas que é bastante importante nesse processo. Os autores salientam, que a relação entre leguminosas e a resiliência do carbono do solo é uma questão importante a ser considerada, visto que, para acumular carbono também é necessário compreender a dinâmica do nitrogênio no solo.

Entre os teores de N total ( $F = 4,69$ ;  $p = 0,03$ ) e relação C/N do solo ( $F = 8,42$ ;  $p = 0,004$ ) observou-se diferença somente para as culturas de inverno, onde o maior valor da relação C/N do solo foi observado sob resíduos da crotalaria (9,33) e de N total do solo (0,16 g dm<sup>-3</sup>) sob os resíduos da cultura do milho.

Maior estoque de carbono para o solo sob MM, deve-se ao já relatado anteriormente com relação ao estado de agregação do solo. Para alguns autores, o fato do milho possuir um sistema radicular denso, com uma boa distribuição no perfil do solo e alta taxa de regeneração, acaba fornecendo mais carbono para o solo o que resulta em maior estoque de carbono (MARTINS et al., 2009).

O cultivo de milho em agroecossistemas segundo Balesdent e Balabane (1996), possui uma relevante contribuição nos estoques de carbono no solo por meio de raízes. Austin et al. (2017) também destacam a importância das raízes no estoque de carbono no solo, pois segundo Schmidt et al. (2011) são mais eficientes na estocagem de carbono do que as folhas e galhos deixados sobre o solo. Gale, Cambardella e Bailey (1998) vão além e afirmam que até 75% das entradas de carbono no solo são de fontes subterrâneas advindas da biomassa das raízes e da rizodeposição.

Após dez anos de implantação do SSD, Marcelo et al. (2012) reportaram que matéria seca da fitomassa da crotalaria possui uma relação C/N em torno de 23 enquanto que a do milho fica em torno de 110. Desse modo, acredita-se que maior relação C/N do solo com resíduos de crotalaria (9,33) pode estar muito mais relacionado a deposição da fitomassa da cultura do milho. Uma vez que a resíduo vegetal depositada sobre o solo não foi composto unicamente da fitomassa da crotalaria, mas sim das sucessões dos cultivos de milho, soja e rotação no verão onde a crotalaria foi utilizada como cultura de inverno por um período de 14 anos.

Além disso, a adubação mineral mais a fixação biológica de nitrogênio no solo podem estar impulsionando a produção de fitomassa de milho no verão, que pode estar resultando na maior relação C/N do solo quando a crotalaria é a cultura de inverno.

Enquanto isso, os maiores teores de N total no solo sob cultivo de milho no inverno ( $1,64 \text{ g dm}^{-3}$ ) deve-se a adubação mineral para os cultivos de milho tanto no inverno quanto no verão juntamente com a presença de resíduo vegetal, uma vez que a palhada sobre o solo favorece a manutenção do N, pois diminui a volatilização, a lixiviação e percolação (BRADY; WELL, 2013).

## 5 CONCLUSÕES

Em Latossolo vermelho sob sistema de semeadura direta com mais de 14 anos de implantação a emissão de CO<sub>2</sub> é correlacionada a umidade do solo no tempo e explicada pelos atributos físicos do solo como, porosidade total, microporosidade, macroporosidade e temperatura do solo no espaço.

O solo sob resíduos do cultivo de crotalaria como cultura de inverno proporciona melhoria nos atributos físicos do solo, favorecendo maior emissão de CO<sub>2</sub>.

A monocultura de milho como cultivo de verão em sistema de semeadura direta promove maior estoque de carbono no solo. A crotalaria ou milho como cultura de inverno também proporcionam maior estoque para o solo.

Para considerar o potencial de mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> é imprescindível compreender as variações no estoque de carbono, uma vez que somente a avaliação da emissão de CO<sub>2</sub> do solo em curto prazo não pode ser vista de forma isolada como um parâmetro que indique ou não a sustentabilidade de um sistema de manejo.

## 6 REFERÊNCIAS

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H. J.; MAYAUX, P.; GALLEGOS, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J. P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, Washington, v. 297, n. 5583, p. 999–1002, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.1070656>>.

ACRECHE, M. M.; PORTOCARRERO, R.; CHALCO VERA, J.; DANERT, C.; VALEIRO, A. H. Greenhouse gas emissions from green-harvested sugarcane with and without post-harvest burning in Tucumán, Argentina. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 16, n. 2, p. 195–199, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12355-013-0270-5>>.

ADVIENTO-BORBE, M. A. A.; HADDIX, M. L.; BINDER, D. L.; WALTERS, D. T.; DOBERMANN, A. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. **Global Change Biology**, West Sussex, v. 13, n. 9, p. 1972–1988, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x>>.

AGHAKOUCHAK, A.; CHENG, L.; MAZDIYASNI, O.; FARAHMAND, A. Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought. **Geophysical Research Letters**, Hoboken, v. 41, n. 24, p. 8847–8852, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/2014GL062308>>.

ASSAD, E. D.; PINTO, H.; ZULLO, J.; MARIN, F.; PELLEGRINO, G. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, Brasília, v. 5, n. 5, p. 96–117, 2008.

AUSTIN, E. E.; WICKINGS, K.; McDANIEL, M. D.; ROBERTSON, G. P.; GRANDY, A. S. Cover crop root contributions to soil carbon in a no-till corn bioenergy cropping system. **Global Change Biology - Bioenergy**, West Sussex, v. 9, n. 7, p. 1252–1263, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/gcbb.12428>>.

AUSTIN, A. T.; YAHDJIAN, L.; STARK, J. M.; BELNAP, J.; PORPORATO, A.; NORTON, U.; RAVETTA, D. A.; SCHAEFFER, S. M. Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems. **Oecologia**, Heidelberg, v. 141, n. 2, p. 221–235, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00442-004-1519-1>>.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 9, p. 1261–1263, 1996. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00112-5)>.

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.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA F. C. B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 161, p. 86–94, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2016.03.011>>.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 3, p. 599–607, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832000000300013>>.

BICALHO, E. S.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; MIRANDA, J. G. V.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial variability structure of soil CO<sub>2</sub> emission and soil attributes in a sugarcane area. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 189, p. 206–215, 2014. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.043>>.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R.; Soil – Resilience and conservation. In: \_\_\_\_\_. **Principles of soil conservation and management**. Dordrecht: Springer Netherlands; 2008. p. 425–447.

BOND-LAMBERTY, B.; THOMSON, A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. **Nature**, London, v. 464, p. 579–582, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature08930>>.

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

BUCHA, V. Possible causes of enhanced greenhouse effect as due to natural and anthropogenic phenomena. **Advances in Space Research**, Oxford, v. 11, n. 3, p. 55–60, 1991.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P.; RIGON, J. P.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 85, p. 31–37, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.001>>.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1399–1407, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400004>>.

CAMPOS, B. H. C. D.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; NICOLOSO, R. D. S.; FIORIN, J. E. Long-term C-CO<sub>2</sub> emissions and carbon crop residue mineralization in an oxisol under different tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 819-832, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300017>>.

CANNAROZZO, M.; NOTO, L. V.; VIOLA, F. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000). **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, Oxford v. 31, n. 18, p. 1201–1211, 2006. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2006.03.022>>.

CARVALHO, A. M. D.; BUSTAMANTE, M. M. D. C.; COSER, T. R.; MARCHÃO, R. L.; MALAQUIAS, J. V. Nitrogen oxides and CO<sub>2</sub> from an Oxisol cultivated with corn in succession to cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1213–1222, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900021>>.

CÉCILLON, L.; DE MELLO, N. A.; DE DANIELI, S.; BRUN, J. Soil macroaggregate dynamics in a mountain spatial climate gradient. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 97, n. 1, p. 31–43, 2010. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1007/s10533-009-9341-9>>.

CENTURION, J. F. **Caracterização e classificação dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal**. 1998. 84 f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 1998.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; DAVIDSON, E. A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o sequestro de carbono. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n.3, p. 29–34, 2004.

CHAKRABORTY, S.; TIEDEMANN, A. V.; TENG, P. S. Climate change: potential impact on plant diseases. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 108, n. 3, p. 317–326, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00210-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00210-9)>.

CHAVEZ, L. F.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; LA SCALA, N.; ESCOBAR, L. F.; FIORIN, J. E.; CAMPOS, B. H. C. Carbon dioxide efflux in a rhodic hapludox as affected by tillage systems in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 325–334, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000200010>>.

CHEN, X.; DHUNGEL, J.; BHATTARAI, S. P.; TORABI, M.; PENDERGAST, L.; MIDMORE, D. J. Impact of oxygenation 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: <<https://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>>.

COTANA, F.; ROSSI, F.; FILIPPONI, M.; COCCIA, V.; PISELLO, A. L.; BONAMENTE, E.; PETROZZI, A.; CAVALAGLIO, G. Albedo control as an effective strategy to tackle Global Warming: A case study. **Applied Energy**, Oxford, v. 130, p. 641–647, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.02.065>>.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, West Sussex, v. 4, n. 2, p. 217–227, 1998.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, London, v. 440, p. 165–173, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature04514>>.

DAVIDSON, E. A.; VERCHOT, L. V.; CATTÂNIO, H.; ACKERMAN, I. L.; CARVALHO, E. M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, n. 1, p. 53–69, 2000.

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 137, p. 16–22, 2014 Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002>>.

DIFFENBAUGH, N. S.; SWAIN, D. L.; TOUMA, D.; LUBCHENCO, J. Anthropogenic warming has increased drought risk in California. **National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 112, n. 13, p. 3931–3936, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1422385112>>.

DINAKARAN, J.; HANIEF, M.; MEENA, A.; RAO, K. S. The chronological advancement of soil organic carbon sequestration research: A review. **National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**, Allahabad, v. 84, n. 3, p. 487–504, 2014.

DINIZ, E. R.; OLIVEIRA, V. T.; PEREIRA, W. D.; GUEDES, A. F.; SANTOS, R. H. S.; PETERNELLI, L. A. Decomposição e mineralização do nitrogênio proveniente do adubo verde *Crotalaria juncea*. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, p. 51–59, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2014v42n1p51-59>>.

DIODATO, N.; BELLOCCHI, G.; ROMANO, N.; CHIRICO, G. B. How the aggressiveness of rainfalls in the Mediterranean lands is enhanced by climate change. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 108, n. 3, p. 591–599, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0216-4>>.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2011. 212 p.

EPRON, D.; BOSCH, 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**, Nova York, v. 22, n. 5, p. 565–574, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0266467406003415>>.

EVANGELISTA, P.; YOUNG, N.; BURNETT, J. How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 119, n. 3–4, p. 855–873, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-013-0776-6>>.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Production:** crops. 2017. Disponível em: <[www.faostat.org](http://www.faostat.org)>. Acesso em: 18 jun. 2017.

FAUCON, M. P.; HOUBEN, D.; LAMBERS, H. Plant functional traits: Soil and ecosystem services. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 385–394, 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2017.01.005>>.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 113-123, jul. 2005.

FEBRAPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação. **Plantio Direto:** A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. Foz do Iguaçu: Parque Itaipu, 2015, 144 p.

FORSTER, P.; RAMASWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K.; TIGNOR, M. M. B.; MILLER, H. L. (Eds.). **Climate Change 2007: The physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 129–234.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A.; BAILEY, T. B. Surface residue–and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 1, p. 196–201, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2000.641196x>>.

GAO, Y.; DANG, X.; YU, Y.; LI, Y.; LIU, Y.; WANG, J. Effects of tillage methods on soil carbon and wind erosion. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 27, n. 3, p. 583–591, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2404>>.

GORNALL, J.; BETTS, R.; BURKE, E.; CLARK, R.; CAMP, J.; WILLET, K.; WILTSHIRE, A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, London, v. 365, n. 1554, p. 2973–2989, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>>.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Soil aggregation: Influence on microbial biomass and implications for biological processes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 80, p. A3–A9, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.09.002>>.

GUZMAN, J. G.; LAL, R.; BYRD, S.; APFELBAUM, S. I.; THOMPSON, R. L. Carbon life cycle assessment for prairie as a crop in reclaimed mine land. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 27, n. 4, p. 1196–1204, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2291>>.

HELGASON, B. L.; WALLEY, F. L.; GERMIDA, J. J. No-till soil management increases microbial biomass and alters community profiles in soil aggregates. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 46, n. 3, p. 390–397, 2010. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.10.002>>.

HINES, F. L. Nitrogen, sulfur, and phosphorus and the sequestering of carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 315–319.

HORTON, D. E.; JOHNSON, N. C.; SINGH, D.; SWAIN, D. L.; RAJARATNAM, B.; DIFFENBAUGH, N. S. Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. **Nature**, London, v. 522, n. 7557, p. 465–469, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature14550>>.

HOWDEN, S. M.; SOUSSANA, J.; TUBIELLO, F. N.; CHHETRI, N.; DUNLOP, M.; MEINKE, H. Adapting agriculture to climate change. **National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, n. 50, p. 19691–19696, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0701890104>>.

HU, Y.; KUHN, N. J. Aggregates reduce transport distance of soil organic carbon: Are our balances correct? **Biogeosciences**, Goettingen, v. 11, n. 22, p. 6209–6219, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5194/bg-11-6209-2014>>.

HUGHES, L. Climate change and Australia: trends, projections and impacts. **Austral Ecology**, Richmond, v. 28, n. 4, p. 423–443, 2003.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Scientific assessment of climate change**: World meteorological organization/united nations environmental programme. Geneva, Switzerland: Cambridge University Press, 1990.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Mitigation**. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

JANTALIA, C. P.; RESCK, D. V. S.; ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, n. 1–2, p. 97–109, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.005>>.

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>>.

KONDA, R.; OHTA, S.; ISHIZUKA, S.; HERIYANTO, J. WICAKSONO, A. Seasonal changes in the spatial structures of N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes from Acacia Mangium plantation soils in Indonesia. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 42, n. 9, p. 1512–1522, 2010.

LAL, R. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 12, n. 6, p. 519–539, 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.472>>.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, n. 5677, p. 1623–1627, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.1097396>>.

LAL, R. Soil science and the carbon civilization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 71, n. 5, p. 1425–1437, 2007a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2007.0001>>.

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Cham, v.12, n. 2, p. 303–322, 2007b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>>.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Rockville, v. 363, n. 1492, p. 815–830, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2185>>.

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>>.

LAL R. Soil carbon sequestration and aggregation by cover cropping. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 70, n. 6, p. 329–339, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2489/jswc.70.6.329>>.

LAL, R.; BRUCE, J. P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Policy**, New York, v. 2, n. 2, p. 177–185, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(99\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(99)00012-X)Get rights and content>.

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 and Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, n. 1–2, p. 244–248, 2006. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>>.

LA SCALA, N.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. Modelling short-term temporal changes of bare soil CO<sub>2</sub> emissions in a tropical agrosystem by using meteorological data. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 24, n. 1, p. 113–116, 2003. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00065-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00065-9)>.

LAUDICINA, V. A.; NOVARA, A.; GRISTINA, L.; BADALUCCO, L. Soil carbon dynamics as affected by long-term contrasting cropping systems and tillages under semiarid Mediterranean climate. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 73, p. 140–147, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.09.002>>.

LATHUILLIÈRE, M. J.; MIRANDA, E. J.; BULLE, C.; COUTO, E. G.; JOHNSON, M. S. Land occupation and transformation impacts of soybean production in Southern Amazonia, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 149, p. 680–689, 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.120>>.

MANGARAVITE, J. C. S.; PASSOS, R. R.; ANDRADE, F. V.; BURAK, D. L.; MENDONÇA, E. D. S. Phytomass production and nutrient accumulation by green manure species. **Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 5, p. 732–739, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201461050017>>.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

MARCELO, A. V.; CORÁ, J. E.; FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta: I-produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 553–1567, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000500020>>.

MARTINS, M. R.; CORA, J. E.; JORGE, R. F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, p. 22–29, 2009. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.11.003>>.

MARTINS, M. R.; ANGERS, D. A.; CORA, J. E. Co-accumulation of microbial residues and particulate organic matter in the surface layer of a no-till Oxisol under different crops. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 50, p. 208–213, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.03.024>>.

MCHUNU, C. N.; LORENTZ, S.; JEWITT, G.; MANSON, A.; CHAPLOT, V. No-till impact on soil and soil organic carbon erosion under crop residue scarcity in Africa. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 75, n. 4, p. 1503-1512, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.2136/sssaj2010.0359>>.

MEDHAUG, I.; STOLPE, M. B.; FISCHER, E. M.; KNUTTI, R. Reconciling controversies about the 'global warming hiatus'. **Nature**, London, v. 545, n. 7652, p. 41-47, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature22315>>.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; TEIXEIRA, D. D. B.; FERRAUDO, A. S.; LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO<sub>2</sub> emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum* spp.) production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.148, p. 127–132, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.012>>.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Ecologia do solo**. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006. p. 83–161.

MOSS, R. H.; EDMONDS, J. A.; HIBBARD, K. A.; MANNING, M. R.; ROSE, S. K.; VAN VUUREN, D. P.; CARTER, T. R.; EMORI, S.; KAINUMA, M.; KRAM, T.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; NAKICENOVIC, N.; RIAHI, K.; SMITH, S. J.; STOUFFER, R. J.; THOMSON, A. M.; WEYANT, J. P.; WILBANKS, T. J. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. **Nature**, London, v. 463, n. 7282, p. 747–756, 2010. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1038/nature08823>>.

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

NOBRE, P. **Mudanças climáticas e desertificação**: os desafios para o Estado Brasileiro. In: MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA — MCT. Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Campina Grande, Insa-PB, 2011.

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

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. **Carel**, Carmona, n. 6, p. 2339–2354, 2008.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; ALEWELL, C.; LUGATO, E.; MONTANARELLA, L. Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. **Land Use Policy**, Oxford, v. 48, p. 38-50, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.05.021>>.

PANOSSO, A. R.; MARQUES Jr. J.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Spatial and temporal variability of soil CO<sub>2</sub> emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275–282, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2009.09.008>>.

PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S.; REAY, D.; ROBERTSON, G. P.; SMITH, P. Climate-smart soils. **Nature**, London, v. 532, p. 49–57, 2016. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1038/nature17174>>.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 713–720, 2002. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300016>>.

PES, L. Z.; AMADO, T. J. C.; LA SCALA, N.; BAYER, C.; FIORIN, J. E. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical oxisol under contrasting tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 163-171, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.002>>.

PIMAN, T.; PAWATTANA, C.; VANSAROCHANA, A.; AEKAKKARARUNGROJ, A.; HORMWICHIAN, R. Analysis of historical changes in rainfall in Huai Luang Watershed, Thailand. **International Journal of Technology**, Depok, v. 7, n. 7, p. 1155-1162, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.14716/ijtech.v7i7.4709>>.

PIRES, J. C. M. COP21: The algae opportunity? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 79, p. 867-877, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.197>>.

PRIES, C. E. H.; CASTANHA, C.; PORRAS, R. C.; TORN, M. S. The whole-soil carbon flux in response to warming. **Science**, Washington, v. 355, p. 1420–1423, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.aal1319>>.

RAHMAN, M. T.; ZHU, Q. H.; ZHANG, Z. B.; ZHOU, H.; PENG, X. The roles of organic amendments and microbial community in the improvement of soil structure of a Vertisol. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 111, p. 84–93, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.11.018>>.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAMANATHAN, V. C. P. J.; CRUTZEN, P. J.; KIEHL, J. T.; ROSENFELD, D. Aerosols, climate, and the hydrological cycle. **Science**, Washington, v. 294, n. 5549, p. 2119-2124, 2001. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1126/science.1064034>>.

RAPER, S. C.; BRAITHWAITE, R. J. Low sea level rise projections from mountain glaciers and icecaps under global warming. **Nature**, London, v. 439, n. 7074, p. 311-313, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature04448>>.

RAPHAEL, J. P.; CALONEGO, J. C.; MILORI, D. M. B.; ROSOLEM, C. A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 45–53, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020>>.

RIVERS, A.; MULLEN, C.; WALLACE, J.; BARBERCHECK, M. Cover crop-based reduced tillage system influences Carabidae (Coleoptera) activity, diversity and trophic group during transition to organic production. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, p. 1-14, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S1742170516000466>>.

RODRIGUES, A. R.; SILVA, E.; SANTOS, G.; COUTINHO, J.; MADEIRA, M. Do improved pastures affect enzymatic activity and C and N dynamics in soils of the montado system? **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 38, n. 4, p. 535-546, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.19084/RCA15138>>.

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**, Chichester, v. 32, p. 495–503, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/sum.12309>>.

SANTOS, G. A. A.; SIQUEIRA, G. M.; COSTA, M. K. L. Diversidade da macrofauna do solo cultivado com cana-de-açúcar na fronteira Amazônica. In: SIQUEIRA, G. M.; SILVA, R. A.; COSTA, M. K. L. **Geotecnologias, agricultura de precisão e manejo dos recursos naturais**. 1 ed. São Luís: EDUFMA, 2016. p. 14–18.

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

SAVVA, Y.; SZLAVECZ, K.; CARLSON, D.; GUPCHUP, J.; SZALAY, A.; TERZIS, A. Spatial patterns of soil moisture under forest and grass land cover in a suburban area, in Maryland, USA. **Geoderma**, Amsterdam, v. 192, p. 202–210, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.013>>.

SCHMIDHUBER, J.; TUBIELLO, F. N. Global food security under climate change. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, v. 104, n. 50, p. 19703-19708, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104>>.

SCHMIDT, M. W.; TORN, M. S.; ABIVEN, S.; DITTMAR, T.; GUGGENBERGER, G.; JANSSENS, I. A.; NANNIPIERI, P. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, London, v. 478, p. 49–56, 2011. Disponível em: <<https://doi:10.1038/nature10386>>.

SCHNEIDER, S.; SARUKHAN, J.; ADEJUWON, J.; AZAR, C.; BAETHGEN, W.; HOPE, C.; MOSS, R.; LEARY, N.; RICHEL, R.; YPERSELE, J. VAN. Overview of impacts, adaptation, and vulnerability to climate change. In: MCCARTHY, J. J.; CANZIANI, O. F.; LEARY, N. A.; DOKKEN, D. J.; WHITE, K. S. (Eds.). **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. p. 75–103.

SCHUUR, E. A. G.; MCGUIRE, A. D.; SCHÄDEL, C.; GROSSE, G.; HARDEN, J. W.; HAYES, D. J.; NATALI, S. M. Climate change and the permafrost carbon feedback. **Nature**, London, v. 520, n. 7546, p. 171–179, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nature14338>>.

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, n. 1, p. 1–8, 2013.

SINGH, R. P.; PRASAD, P. V.; REDDY, K. R. Impacts of changing climate and climate variability on seed production and seed industry. **Advances in Agronomy**, Maryland Heights, v. 118, p. 49–110, 2013. Disponível em: <<https://doi:10.1016/B978-0-12-405942-9.00002-5>>.

SIQUEIRA, G. M.; DE FRANCA SILVA, E. F.; MOREIRA, M. M.; DE ARAUJO SANTOS, G. A.; SILVA, R. A. Diversity of soil macrofauna under sugarcane monoculture and two different natural vegetation types. **African Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 11, n. 30, p. 2669–2677, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2016.11083>>.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. D. P.; PICCOLO, M. D. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): I- Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1013–1022, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400025>>.

SISTI, C. P. J.; SANTS, H. P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R., URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 76, p. 3958, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.007>>.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 7–31, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>>.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.; DE MORAES SA, J. C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no tillage. **Agronomy**, Basel, v. 22, n. 7-8, p. 755–775, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/agro:2002043>>.

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: <<https://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. 247–57, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.07.011>>.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; McCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; McALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Rockville, v. 363, n. 1492, p. 789–813, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>>.

SOUZA, J. V., SAAD, J. C., SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M., & RODRÍGUEZ-SINOBAS, L. No-till and direct seeding agriculture in irrigated bean: Effect of incorporating crop residues on soil water availability and retention, and yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 170, p. 158–166, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.002>>.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Simulação do impacto da mudança climática sobre a água disponível do solo em agroecossistemas de trigo, soja e milho em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 424–433, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000200011>>.

TAVARES, R. L. M.; DE SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S.; LA SCALA, N.; PANOSSO, A. R.; CAMPOS, M. C. C. Soil CO<sub>2</sub> emission in sugarcane management systems. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science**, Stockholm, v. 65, n. 8, p. 755–762, 2015.

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/10.1590/S0100-06832012000500010>>.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F. N.; SIQUEIRA, M. F.; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARSVELD, A. S.; MIDGLEY, G. F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, London, v. 427, n. 6970, p. 145–148, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/nature02121>>.

THOMAZ, E. L. Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 165, p. 210–217, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2016.08.018>>.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **American Geographical Society**, Hoboken, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

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 and Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39–47, 2009. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1016/j.still.2008.11.008>>.

VAN DER WERF, G. R.; MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; OLIVIER, J. G. J.; KASIBHATLA, P. S.; COLLATZ, G. J.; RANDERSON, J. T. CO<sub>2</sub> emissions from forest loss. **Nature Geoscience**, London, v. 2, n. 11, p. 737–738, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo671>>.

VELDKAMP, E. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 175–180, 1994.

VENDA, P. À. **Método de análise:** Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

VOLK, L. B. S.; COGO, N. P. Interrelation of underground plant biomass with soil aggregate stability and rainfall erosion of a soil under different managements. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1713–1722, 2008.

WANG, B.; HO, L. Rainy season of the Asian–Pacific summer monsoon. **Journal of Climate**, Boston, v. 15, n. 4, p. 386–398, 2002.

WIESE, A. F.; MAREK, T.; HARMAN, W. L. No-tillage increases profit in a limited irrigation-dryland system. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 11, n. 2, p. 247–252, 1998. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2134/jpa1998.0247>>.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n.4, p. 1403–1409, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2004.1403>>.

WU, J.; YU, M.; XU, J.; DU, J.; JI, F.; DONG, F.; LI, X., SHI, J. Impact of transgenic wheat with wheat yellow mosaic virus resistance on microbial community diversity and enzyme activity in rhizosphere soil. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, n. 6, e98394, 2014. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0098394>>.

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.

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

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 132, p. 185–195, 2012.