



CAMILA VIANA VIEIRA FARHATE

**“EMISSÕES DE CO₂: EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS
E PREPARO DO SOLO NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL”**

CAMPINAS

2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

CAMILA VIANA VIEIRA FARHATE

“EMISSIONES DE CO₂: EFEITO DA ROTAÇÃO DE CULTURAS E PREPARO DO SOLO NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL”

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza

Coorientador: Dr. João Luís Nunes Carvalho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DA ALUNA CAMILA V. VIEIRA FARHATE, E ORIENTADA PELO PROF. DR. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA.

Assinatura do orientador

CAMPINAS

2015

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

F225e Farhate, Camila Viana vieira, 1989-
Emissões de CO₂ : efeito da rotação de culturas e preparo do solo na renovação do canavial / Camila Viana Vieira Farhate. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Zigomar Menezes de Souza.
Coorientador: João Luís Nunes Carvalho.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Cana-de-açúcar. 2. Crotalaria. 3. Matéria orgânica. I. Souza, Zigomar Menezes de, 1970-. II. Carvalho, João Luís Nunes. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: CO₂ emissions : effect of crop rotation and soil tillage on the renewal of cane field

Palavras-chave em inglês:

Sugar cane

Sunnhemp

Organic matter

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestra em Engenharia Agrícola

Banca examinadora:

Zigomar Menezes de Souza [Orientador]

Newton La Scala Junior

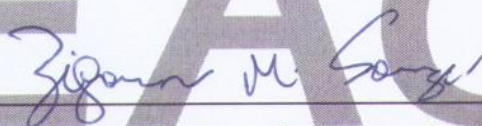
Janaina Braga do Carmo

Data de defesa: 23-02-2015

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Camila Viana Vieira Farhate**, aprovada pela Comissão Julgadora em 23 de fevereiro de 2015, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

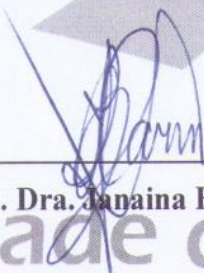
FEAGRI



Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza – Presidente e Orientador
Feagri/Unicamp



Prof. Dr. Newton La Scala Junior – Membro Titular
FCAV/Unesp



Profa. Dra. Janaina Braga do Carmo – Membro Titular
UFSCar

Faculdade de
Engenharia Agrícola
Unicamp

RESUMO

A influência de práticas agrícolas na emissão de gases do efeito estufa é assunto de grande interesse, especialmente quando se trata do CO₂, o principal componente do efeito estufa adicional. O preparo do solo é uma das atividades agrícolas que mais promove a decomposição de matéria orgânica e emissões de CO₂ para a atmosfera. O rompimento dos agregados de solo promovido pelo preparo convencional, expõe a matéria orgânica, conduzindo à oxidação rápida e emissão de CO₂ para a atmosfera. Logo, acredita-se que a adoção do sistema de plantio com preparo do solo reduzido conciliado a rotação de culturas na cana-de-açúcar possa contribuir para um balanço positivo do CO₂. Portanto, a pesquisa baseia-se nas seguintes hipóteses: i) As operações de preparo do solo de forma convencional associadas à adoção da rotação de culturas com *Crotalaria juncea* potencializam as emissões de CO₂ do solo; ii) A rotação de culturas na cana-de-açúcar, em solos de textura arenosa, proporciona maiores variações na emissão de CO₂ e nos atributos do solo em relação aos solos de textura argilosa. Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do preparo do solo e da rotação de culturas na emissão de CO₂ e suas correlações com os atributos de dois solos de classes texturais distintas, cultivados com cana-de-açúcar. O trabalho foi conduzido em condições de campo em duas usinas do estado de São Paulo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. A parcela envolve área com e sem rotação e a subparcela duas condições de preparo de solo (cultivo mínimo e preparo convencional). Cada subparcela foi composta por 15 linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento de 1,5 m e 34 m de comprimento. Foram realizadas avaliações periódicas nas áreas visando acompanhar modificações na emissão de CO₂ nos atributos químicos, físicos, carbono da biomassa microbiana. Houve maior emissão de CO₂ na área de solo argiloso. A rotação de culturas aumentou a emissão de CO₂ apenas na área de solo arenoso devido os resíduos de culturas provenientes da rotação de culturas terem modificado os atributos físicos que favoreceram as emissões de CO₂. A emissão de CO₂ foi maior na área de solo argiloso em relação ao solo arenoso. Nas áreas de solo arenoso e argiloso o efeito do preparo foi pouco claro, tendo mais destaque a rotação de culturas sobre os atributos do solo.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, crotalaria, matéria orgânica.

ABSTRACT

The influence of agricultural practices on the issue of greenhouse gases is a matter of great interest, especially when it comes to CO₂, the main component of the additional greenhouse effect. Soil preparation is one of the agricultural activities that will promote the decomposition of organic matter and CO₂ emissions to the atmosphere. Disruption of aggregates of the soil by conventional tillage promoted, exposes the organic matter oxidation and leading to the rapid flow of CO₂ into the atmosphere. Therefore, it is believed that the adoption of planting system with reduced soil preparation reconciled crop rotation in the culture of sugar cane can contribute to a positive balance of CO₂. Therefore, the research is based on the following assumptions: i) the preparation of conventional soil operation associated with the adoption of crop rotation with *Crotalaria juncea* potentiate the CO₂ emissions of the soil ii) Crop rotation in sugar cane, in sandy soils, provides greater variations in soil CO₂ flux and soil properties in relation to clayey soils. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of tillage and crop rotation on a CO₂ stream and their correlation with the attributes of two different textural classes of soils cultivated with sugar cane. The work was conducted under field conditions in two plants in the state of São Paulo. The experimental design was a randomized block in split plot with four replications. The plot involves an area with and without rotation and the subplots two soil preparation conditions (minimum tillage and conventional tillage). Each subplot consisted of 15 lines of sugar cane, with spacing of 1.5 m and 34 m long. Periodic evaluations were performed in order to monitor changes in the areas of CO₂ flow in the chemical, physical, microbial biomass carbon. There was a higher CO₂ emissions of the clay soil area. Crop rotation increased CO₂ emissions only in sandy soil area because the crop residues from crop rotation have modified the physical attributes that favored the CO₂ emissions. The CO₂ emissions was higher in clay soil area in relation to the sandy soil. In the areas of sandy soil and clay the effect of the preparation was unclear, with more emphasis in crop rotation on the soil.

Key-words: Sugar cane, sunn hemp, organic matter.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESE	4
3. OBJETIVOS.....	4
3.1 Geral.....	4
3.2 Específicos	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Sistema de preparo do solo na cana-de-açúcar	5
4.1.1 Preparo convencional	5
4.1.2 Sistemas conservacionistas de preparo do solo	5
4.2 Rotação de culturas	10
4.3 Emissão de CO ₂ do solo.....	11
5. MATERIAL E MÉTODOS	17
5.1 Localização do experimento e histórico da área	17
5.2 Atributos Químicos.....	23
5.3 Atributos físicos	23
5.5 Análises da emissão de CO ₂	25
5.6 Análise dos dados	27
6. RESULTADOS	28
6.1 Umidade e temperatura do solo	29
6.2 Emissão de CO ₂	30
6.3 Emissões de CO ₂ acumuladas.....	34
6.4 Atributos físicos e microbiológicos do solo	36
6.5 Atributos químicos do solo	38
6.6 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emissão de CO ₂ e atributos do solo.....	41
7. DISCUSSÃO.....	43
7.1 Efeito da umidade e temperatura solo na emissão de CO ₂	43
7.2 Efeitos dos atributos do solo sobre as emissões de CO ₂ no solo	45
7.2.1 Solo argiloso	45

7.2.2	Solo Arenoso	48
7.3	Efeitos da rotação de culturas e preparo do solo nos atributos físicos.....	51
8.	CONCLUSÃO	55
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
	ANEXOS.....	73

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Elbe Antonio Vieira e Lucinete Viana Vieira, por acreditarem na minha capacidade e lutarem para minha formação ser concretizada.

Ao meu esposo, amigo e companheiro André Pregnholato Farhate por todo amor, apoio, carinho, cuidado, paciência e cumplicidade.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Ao Nosso Senhor Jesus Cristo, sempre presente em todos os momentos de minha vida iluminando meus caminhos.

Aos meus pais, Elbe Antonio Vieira e Lucinete Viana Vieira pela dedicação e apoio.

À minha irmã, Rafaela Viana Vieira, pela compreensão e carinho.

Ao meu Marido André P. Farhate, pela dedicação, paciência, carinho e incentivo.

Ao professor Dr. Zigomar Menezes de Souza, pela orientação na condução deste estudo.

Ao meu co-orientador Dr. João Luis Nunes Carvalho, sem o auxílio do qual este trabalho não seria possível.

Aos companheiros e amigos de trabalho: Allan C. Mendes de Sousa, Ana Paula G. Santos, Leandro C. Barbosa, Guilherme Castioni pelo convívio por todo este tempo.

Aos alunos de Iniciação Científica Lucas Brunetti, Talita Fredericci e Raissa Ré que muito contribuíram para a realização desse trabalho.

À Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização dos meus estudos.

À Usina Iracema e Usina Santa Fé, pela concessão da área experimental.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) – Processo n° 130270/2013-0 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – Processo n° 2013/21696-3, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores membros da Banca.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o êxito deste trabalho.

Muito Obrigada!

*O temor do Senhor
é o princípio da sabedoria;
todos os que cumprem os seus preceitos
revelam bom senso.
Ele será louvado para sempre!
Salmos 111:10*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de cana-de-açúcar por Unidade da Federação. (Fonte: Conab, 2014)	1
Figura 2. Localização das áreas experimentais no estado de São Paulo, município de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé).....	17
Figura 3. Croqui das áreas experimentais com os sistemas de manejo implantados nos município de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé). PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas;	18
Figura 4. a) Sistema portátil LI-8100 com o sensor de temperatura acoplado e; (b) sistema portátil TDR.....	26
Figura 5. Temperatura média, máxima, mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de avaliação da emissão de CO ₂ nas áreas experimentais localizadas na usina Iracema (solo argiloso) e usina Santa Fé (solo arenoso).	28
Figura 6. Umidade do solo (A), temperatura (B) e emissão de CO ₂ (C) diário na área experimental de solo argiloso com os tratamentos avaliados e seus respectivos erros padrões. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas.	31
Figura 7. Umidade do solo (A), temperatura (B) e emissão de CO ₂ (C) diário na área experimental de solo arenoso com os tratamentos avaliados e seus respectivos erros padrões. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas.	32
Figura 8. Emissões de CO ₂ acumulados após o preparo do solo nos diferentes sistemas de manejos na área experimental de solo argiloso e arenoso. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas. Letras minúsculas comparam a utilização da rotação de culturas, dentro de cada sistema de preparo do solo estudado. Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo, dentro da utilização de rotação de culturas, para cada tratamento estudado, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Localização e características edafoclimáticas das áreas avaliadas nas áreas experimentais localizada nos municípios de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé).	17
Tabela 2. Caracterização granulométrica das áreas experimentais de Iracemápolis (solo argiloso) e Nova Europa (solo arenoso).	19
Tabela 3. Macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), diâmetro médio ponderado (DMP), resistência tênsil do agregado (RT) e resistência do solo à penetração, obtidos nas áreas experimentais de solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).	20
Tabela 4. Caracterização química das áreas experimentais de Iracemápolis (solo argiloso) e Nova Europa (solo arenoso).	21
Tabela 5. Informações gerais das áreas experimentais localizadas na usina Iracema (solo argiloso) e usina Santa Fé (solo arenoso).	22
Tabela 6. Emissão de CO ₂ na linha e entrelinha de cana-de-açúcar nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso e arenoso.	33
Tabela 7. Valores médios dos atributos físicos e microbiológico nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).	36
Tabela 8. Valores médios dos atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).	39
Tabela 9. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emissão de CO ₂ e atributos do solo nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).	41

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AG = Areia grossa

AF = Areia fina

AT = Areia total

PCCR = Preparo convencional com rotação de culturas

CMCR = Cultivo mínimo com rotação de culturas

PCSR = Preparo convencional sem rotação de culturas

CMSR = Cultivo mínimo sem rotação de culturas

P = Fósforo

K = Potássio

S = Enxofre

Ca = Cálcio

Mg = Magnésio

Al = Alumínio

H+Al = Acidez potencial

SB = Soma de bases trocáveis

CTC = Capacidade de troca de cátions

V% = Saturação por bases

m = Saturação por alumínio

C = Carbono

CO₂ = Dióxido de carbônico

RB = Respiração basal. Emissão de CO₂ avaliada em Laboratório

CBM = Carbono da Biomassa Microbiana

qCO₂ = Quociente metabólico

Us = Umidade do solo

Ts = Temperatura do solo

Ds = Densidade do solo

DMP = Diâmetro médio ponderado

PT = Porosidade total

Macro = Macroporosidade

Micro = Microporosidade

RP = resistência do solo à penetração

RT = Resistência tênsil do agregado

CV = Coeficiente de variação

r = Coeficientes de correlação de Pearson

1. INTRODUÇÃO

Historicamente a cana-de-açúcar é um dos principais produtos agrícolas brasileiros sendo de grande importância para economia nacional, uma vez que gera inúmeros empregos diretos e indiretos contribuindo para um superávit da balança comercial. O crescimento da demanda nacional e mundial por etanol combustível, de forma rápida e acentuada, tem provocado um aumento significativo do número de usinas pelas diversas regiões brasileiras (SOUZA; MIZIARA, 2010).

O Brasil possui grandes vantagens na produção e exportação do etanol, pois dispõe de área, solo, clima favorável e tecnologia de produção desde o plantio da cultura até sua transformação em bicomcombustível (GALDOS et al., 2009). Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento, o Brasil tem liderado o ranking dos produtores mundiais de cana-de-açúcar ao longo da história e suas lavouras continuam em crescente expansão. A produção nacional de cana-de-açúcar na safra 2014/15 é estimada em 672 milhões de toneladas, com aumento de 2,0% em relação à safra 2013/14, que foi de 659 milhões de toneladas. Atualmente o país possui uma área destinada à produção de cana-de-açúcar de 9,1 milhões hectares distribuídos em todos os estados (Figura 1), sendo o estado de São Paulo o maior produtor brasileiro, responsável por 52% da produção nacional (CONAB, 2014).

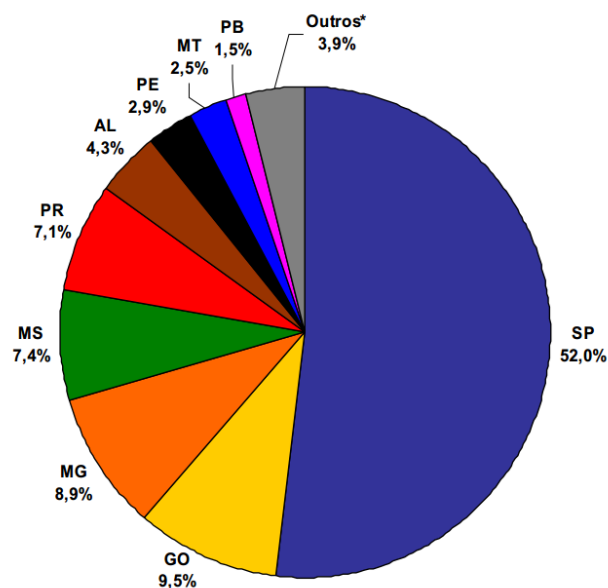


Figura 1. Área de cana-de-açúcar por Unidade da Federação. (Fonte: Conab, 2014)

No entanto, o setor sucroenergético tem sofrido profundas modificações nos últimos anos, sobretudo na região Centro-Sul do país. Dentre as principais mudanças destaca-se a rápida redução da queima do canavial e, como consequência um aumento correspondente da colheita e do plantio mecanizado (SOUZA et al., 2005). Nesse sistema utilizam-se colhedoras autopropelidas que cortam e trituram as folhas, bainhas, ponteiros e uma quantidade variável de pedaços do colmo e em seguida lançam no solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal, denominada palha ou palhada (SOUZA et al., 2012).

A deposição de palha gerada pela colheita mecanizada da cana-de-açúcar aumentam os estoques de carbono do solo (GALDOS et al., 2009), proporcionam reduções significativas nas emissões totais de gases do efeito estufa (GALDOS et al., 2010), permitem a cobertura do solo, protegendo contra a erosão (LUCA et al., 2008), melhoram a qualidade física e química do solo (CANELLAS et al., 2003), aumenta a estabilidade de agregados (MACHADO et al., 2010), eleva a infiltração da água no solo (CANELLAS et al., 2003) e atuam ainda na proteção do solo contra o efeito dos raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura e a amplitude térmica do solo (SILVA et al., 2011).

Assim, a colheita da cana crua torna-se de grande importância para o sistema, permitindo maior sustentabilidade à atividade canavieira, uma vez que elimina a queima do canavial, ficando sobre o solo a palhada residual da colheita, formando uma espessa camada de palha que protege o solo das intempéries e melhora suas condições químicas, físicas e biológicas (CANTARELLA, 2010).

Entretanto, tão importante como manter o solo coberto durante o ciclo é fazer o manejo adequado durante a reforma do canavial, pois a utilização de sistemas de preparo do solo, que se caracterizam pelo revolvimento excessivo das camadas superficiais, promove a aceleração dos processos de decomposição impedindo obtenção de todos os benefícios gerados pela palha da cana-de-açúcar oriunda da colheita mecanizada (SOUZA et al., 2012; EVANGELISTA et al., 2013).

Atualmente há grande preocupação da comunidade científica com os impactos oriundos de práticas de cultivo e manejo dos solos para uso agrícola e pesquisas têm sido elaboradas visando encontrar práticas de manejos menos agressivas, que visem redução da intensidade e frequência de preparo do solo, manutenção dos resíduos culturais a fim de promover a manutenção da qualidade e produtividade do sistema.

Para isso, alguns indicadores podem ser utilizados para o monitoramento e avaliação da eficiência dos sistemas de uso e manejo do solo. Um deles é a avaliação das emissões de CO₂ produzido na superfície do solo, pois a produção de CO₂ está diretamente ligada à decomposição aeróbia da matéria orgânica pelos microrganismos, sendo possível avaliar a atividade microbiana, por meio da liberação de CO₂ do solo.

O preparo do solo é uma das atividades agrícolas que mais influenciam a decomposição de matéria orgânica e emissões de CO₂ para a atmosfera (PANOSSO et al., 2006; LAL, 2007, LA SCALA et al., 2008, TEIXEIRA et al., 2011). O rompimento dos agregados do solo, como evidenciado pela redução do seu diâmetro, expõe a matéria orgânica, conduzindo à oxidação rápida e emissão de CO₂ para a atmosfera (SIX et al., 2000, BALOTA et al., 2004, SCHWARTZ et al., 2010). Além disso, o preparo do solo pode causar efeito adicional sobre as emissões de CO₂ por meio da incorporação de fragmentos e restos de material orgânico a partir de culturas anteriores sobre o solo, tais como resíduos de cana (TEIXEIRA et al., 2011). Desta forma o preparo inadequado do solo por meio de arações e gradagens sucessivas, podem resultar em emissões significativas de CO₂ para atmosfera.

A utilização de práticas de manejo conservacionistas pode promover a mitigação das emissões de CO₂ influenciadas pelo preparo do solo e ao mesmo tempo melhorar a qualidade do solo e a produtividade da cultura (LAL, 2004; JOHNSON et al., 2007). Outra estratégia de manejo que poderia auxiliar na adoção dessas práticas de manejo conservacionistas é a utilização da rotação de culturas durante a reforma do canavial, uma vez que o material vegetal oriundo da rotação é considerado um importante recurso para melhorar as características edáficas, sendo um componente chave para regular o acúmulo de carbono no solo e as emissões de gases do efeito estufa.

Dessa forma, estudos sobre adoção de manejos adequados nas atividades agrícolas visando à diminuição das emissões de CO₂ são fundamentais, pois acredita-se que a adoção de sistemas de manejo conservacionistas, que preservem o carbono no solo protegendo-o por meio do contínuo aporte de resíduos orgânicos e mínima mobilização do solo, possam contribuir para mitigação das emissões de CO₂ do solo e conservação do carbono no solo.

2. HIPÓTESE

A pesquisa baseia-se nas seguintes hipóteses:

1. As operações de preparo do solo de forma convencional associadas à adoção da rotação de culturas com *Crotalaria juncea* potencializam as emissões de CO₂ do solo.
2. A rotação de culturas na cana-de-açúcar, em solos de textura arenosa, proporciona maiores variações na emissão de CO₂ e nos atributos do solo em relação aos solos de textura argilosa.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do preparo do solo e da rotação de culturas na emissão de CO₂ e suas correlações com os atributos de dois solos de classes texturais distintas, cultivados com cana-de-açúcar.

3.2 Específicos

Para o cumprimento deste objetivo, são apresentados a seguir os objetivos específicos:

1. Avaliar a emissão de CO₂, umidade e temperatura do solo submetido a diferentes condições de preparo de solo e rotação de culturas.
2. Determinar a granulometria do solo, densidade do solo, porosidade do solo, estabilidade de agregados, resistência tênsil do agregado, resistência do solo à penetração ao longo do perfil do solo em área cultivada com cana-de-açúcar sob diferentes condições de manejo do solo e teores de argila.
3. Monitorar as modificações químicas do solo nos diferentes sistemas de manejo em ambos os solos estudados.
4. Determinar a correlação entre os atributos do solo e a emissão de CO₂ nos diferentes sistemas de manejo em ambos os solos estudados.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Sistema de preparo do solo na cana-de-açúcar

4.1.1 Preparo convencional

O preparo do solo para implantação do canavial representa uma etapa crucial, pois criam condições ideais para o desenvolvimento das raízes, ocasionando consequentemente maiores produções. Além disso, contribui para a longevidade da cultura, considerando que só será revolvido novamente após o quinto ou sexto corte, conforme a variedade (TAVARES et al., 2010; CARVALHO et al., 2011).

O preparo convencional caracteriza-se por promover a inversão das camadas aráveis do solo por arações e gradagens, ocasionando aumento da macroporosidade do solo em relação à microporosidade (MARTORANO et al., 2009, VOLK; COGO, 2009). Estes resultados, possivelmente, estão associados à mobilização estrutural da superfície do solo, devido à ação mecânica dos implementos (SILVA JUNIOR et al., 2013).

Atualmente a grande maioria do cultivo da cana-de-açúcar está sob o sistema de manejo convencional, paralelamente ocorre um aumento da intensidade de uso da mecanização agrícola na cultura da cana-de-açúcar. A combinação desses dois fatores tem promovido modificações físicas e mecânicas no solo, favorecendo a intensificação de processos de degradação da estrutura do solo, erosão e compactação do solo (ARAÚJO et al., 2004; ASSIS; LANÇAS, 2010; OLIVEIRA et al., 2011). Além de decréscimo expressivo nos estoques de matéria orgânica do solo (ADIKU et al., 2008; LEITE et al., 2010).

Logo a adoção de sistemas de cultivo conservacionistas, tais como o plantio direto e o cultivo mínimo, têm substituído os sistemas convencionais aumentando a capacidade produtiva dos solos, melhorando as condições físicas em função da redução da intensidade do preparo do solo.

4.1.2 Sistemas conservacionistas de preparo do solo

Implementação de sistemas de agricultura de conservação, mais especificamente o plantio direto, tem vantagens econômicas e ambientais importantes das quais vale a pena destacar o acúmulo de carbono orgânico no solo, principalmente nas camadas mais

superficiais quando comparados aos sistemas com preparo convencional (CANELLAS et al., 2010). Como resultado, o sistema plantio direto é considerado um potencial meio de atenuar o aumento da concentração de CO₂ atmosférico (TOPAKCI et al., 2011; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012).

Os princípios básicos da adoção desse sistema de plantio direto, como ausência de revolvimento do solo, adubações em superfície ou nas linhas de plantio, bem como o acúmulo superficial dos resíduos das culturas levam a inúmeras vantagens, como a redução da emissão de CO₂ para a atmosfera e atuam ainda no aumento do estoque de carbono e nitrogênio no solo (ARATANI et al., 2009; CARVALHO et al., 2010).

Apesar das alterações proporcionadas pelo plantio direto, cultivos sucessivos de uma única espécie comercial podem esgotar ou reduzir o estoque dos nutrientes no solo em virtude da exportação pela colheita e a reposição insuficiente dos mesmos por meio dos fertilizantes, sendo fundamental a realização da rotação de culturas (BRESSAN et al., 2013). Segundo Govaerts et al. (2005, 2006) o plantio direto com manutenção dos resíduos culturais e a rotação de culturas resulta em um solo com boa qualidade biológica, física e química, em comparação com as práticas convencionais.

No entanto, a adoção do plantio direto na cultura da cana-de-açúcar tem algumas peculiaridades, uma vez que durante o 5 ou 6 ciclo da cultura, tratores e colhedoras movimentam-se nas linhas de plantio da cultura, resultando em elevados índices de compactação de solo durante a reforma do canavial. Carvalho et al. (2011), avaliando as alterações nos atributos físicos em diferentes sistemas de preparo do solo, observou que o sistema de plantio direto propiciou menores valores de porosidade total, maiores valores de densidade do solo e resistência do solo à penetração.

Os autores justificam que esses resultados devem-se ao menor revolvimento pelos implementos agrícolas, mantendo sua estrutura, que além de permanecerem imobilizadas, foram submetidas ao tráfego de máquinas. Bertol et al. (2001) apontam que a ausência de preparo por longo tempo, reduz a porosidade (principalmente macroporos) e eleva a densidade do solo. Tormena et al. (2002), ao avaliarem o preparo mínimo, plantio direto e plantio convencional em Latossolo Vermelho distrófico, observaram densidade elevada na camada subsuperficial em todos os sistemas de preparo, principalmente pelo efeito do tráfego

excessivo de máquinas agrícolas, sendo que o plantio direto, apresentou os valores maiores valores.

O aumento da densidade do solo acarreta diminuição do volume total de poros, redução da permeabilidade e da infiltração de água, quebra dos agregados e aumento da resistência do solo à penetração, o que ocasiona prejuízos á qualidade física do solo (SILVA et al., 2000).

Tais condições, geralmente resultam na formação de camadas compactadas. Secco (2003), constatou compactação mais intensa em dois Latossolos Vermelhos, ambos manejados sob plantio direto, após determinar valores de densidade do solo e de resistência do solo à penetração entre 1,54 e 1,62 Mg m⁻³ e 2,65 e 3,26 MPa, respectivamente.

Quanto mais úmido estiver o solo durante o tráfego nas áreas cultivadas, mais intensa será a compactação, além disso, as diferentes proporções de argila, silte e areia das diferentes classes de solo também são determinantes na compactação do solo (ROQUE et al., 2011; SOUZA et al., 2012).

Neste sentido, em muitos casos, faz-se necessária adoção de algumas operações para descompactação do solo utilizando técnicas como aração profunda e subsolagem, porém, tais técnicas além de possuírem alto custo e necessitarem de altos gastos de energia, também podem levar a degradação física do solo (DOMSCH et al., 2006).

A diferença do sistema plantio direto em relação ao cultivo mínimo é que em muitas unidades agrícolas do estado não se atinge simultaneamente os três princípios de implantação e continuação do sistema de plantio direto que são a rotação de culturas sem repetição sucessiva, presença permanente de cobertura vegetal, viva e/ou morta sobre o solo e a ausência de revolvimento do solo (RAMOS et al., 2013).

Logo, em cana-de-açúcar, o sistema plantio direto não é aplicado em sua plenitude, mas sim um cultivo mínimo com reduzido revolvimento de solo, dado que é necessária a sulcagem da área para a implantação do canavial. Apesar da sulcagem do solo, esse cultivo mínimo conta com a presença de palhada como cobertura e o menor trânsito de maquinário, garantindo melhores produtividades e menores perdas, bem como, menor degradação do solo (GARBIATE et al., 2011).

Sendo assim, o sistema de cultivo mínimo representa uma alternativa ao plantio direto e o preparo convencional do solo e sua utilização têm sido cada vez mais comuns, por

promover inúmeros benefícios, tais como, melhoria da estrutura, porosidade, retenção e infiltração da água no solo (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2008b).

Em áreas onde a colheita da cana é feita de forma mecânica, compactação do solo causada por máquinas agrícolas é inevitável, uma vez que todo o equipamento é extremamente pesado e apresente pequena superfície de contato com o solo. Neste caso os produtores utilizam a prática cultural de subsolagem profunda na entrelinha da soca, para promover a descompactação do solo após as operações de colheita mecânica (CASTRO et al., 2014).

Nesse contexto, o objetivo do cultivo mínimo é reduzir o número de operações agrícolas necessárias no preparo do solo que antecede o plantio da cana mantendo na superfície os resíduos culturais. No conceito de cultivo mínimo está implícita a ideia de movimentar o quanto menos possível a superfície do solo (STOLF, 1985; TAVARES et al., 2010).

O método de cultivo mínimo do solo, com a escarificação sendo uma de suas principais representantes, resulta mobilização do solo, podendo chegar aos 0,40 m de profundidade, com baixo grau de fragmentação dos agregados (VOLK; COGO, 2014). Jacobs et al. (2009), relata em seu trabalho que o sistema de cultivo mínimo é capaz aumentar a ocorrência e a estabilidade de macroagregados em relação a outros sistemas de preparo do solo.

Os mesmos autores verificaram que o cultivo mínimo, em longo prazo, resultou em uma melhor proteção física da matéria orgânica representando maiores concentrações de carbono orgânico e nitrogênio. Moraru e Rusu (2010), avaliando a influência do sistema de preparo convencional do solo em comparação com sistema alternativo de cultivo mínimo, observaram aumento do conteúdo de matéria orgânica do solo, agregação e permeabilidade do solo. Tavares et al. (2010) observaram que o cultivo mínimo conciliado à colheita de cana crua potencializam, a adição e o acúmulo de material orgânico no sistema.

De acordo com Lal (1997), mudanças no ambiente do solo, influenciadas pelas práticas inadequadas de manejo, podem levar a um declínio no estoque de matéria orgânica e, conseqüentemente, no aumento da emissão de CO₂ para atmosfera. Isso pode ser entendido pela fragilidade condicionada ao solo quando manejado de forma incorreta, onde o teor de carbono pode ser mineralizado e transferido para atmosfera na forma de CO₂, porém, sob condições adequadas de manejo, o sistema poderá sequestrar CO₂ (CERRI et al., 2006).

As vantagens do sistema de cultivo mínimo do solo podem ser usadas para melhorar a baixa produtividade dos solos com reduzida estabilidade estrutural, bem como armazenamento de água e conservação do solo em todos os ecossistemas (MORARU; RUSU, 2010). Além disso, o custo de produção da cana-de-açúcar no cultivo mínimo diminui aproximadamente 30% quando comparado ao sistema de plantio convencional (BEBEDINI; CONDE, 2008).

Portanto, práticas de conservação tais como cultivo mínimo, colheita da cana crua e rotação de culturas são obrigatórios para apoiar a sustentabilidade econômica e ambiental da cultura da cana-de-açúcar.

4.2 Rotação de culturas

Atualmente a adubação verde tem se destacado como uma das principais práticas de rotação de culturas (OLIVEIRA et al., 2012), sendo de grande importância para o manejo de solos, uma vez que melhora os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, promove melhor controle de pragas, doenças e plantas invasoras, bem como aumentos significativo da produtividade do canavial (FERNANDES et al., 2012).

Para cultura da cana-de-açúcar, a adoção da rotação de culturas ocorre normalmente após o quarto ou quinto corte, uma vez que o canavial é reformado (DUARTE JUNIOR; COELHO, 2008a). Para tanto, a quantidade e qualidade da biomassa produzida pela cultura de rotação é um aspecto importante e deve ser levado em consideração no momento da escolha da espécie adequada.

A utilização de leguminosas na rotação de cultivos pode ser importante para o suprimento de nitrogênio às culturas subsequentes, sobretudo em solos com baixo teor de matéria orgânica, podendo resultar em economia de fertilizantes nitrogenados (CALONEGO; ROSOLEM, 2010).

Diversas espécies de leguminosas podem ser empregadas para esse fim, mas de modo geral, observa-se uma preferência pela *Crotalaria juncea* na região centro sul do país (OLIVEIRA et al., 2007). Geralmente, o plantio das crotalárias em rotação de cultivos ocorre no período de setembro a dezembro, possibilitando o plantio do próximo ciclo de cultivo da cana-de-açúcar de fevereiro a abril do ano seguinte. A crotalaria é uma planta de fácil adaptação e tem sido utilizada com sucesso em rotação de culturas em reforma de canaviais, uma vez que proporciona a melhor relação custo-benefício para ser usada em cultivo prévio à instalação do canavial, destacando-se em relação à produção de material vegetal e ao acúmulo de nutrientes, em especial ao de nitrogênio (AMBROSANO et al., 2011).

Segundo Carpin et al. (2008) o estágio de florescimento é o momento ideal para o manejo e ou dessecação das plantas de cobertura, em razão do maior acúmulo de fitomassa e nutrientes. A dessecação é uma das etapas mais importantes no manejo dos adubos verdes para sucessão da cultura da cana-de-açúcar, pois a adequada dessecação da cobertura vegetal facilita sobremaneira as operações de implantação de um novo canavial, podendo dispensar operações para incorporação dos adubos verdes favorecendo o emprego do cultivo mínimo (OLIVEIRA NETO et al., 2011).

Dos benefícios relevantes resultantes do uso de leguminosas como adubos verdes podem ser citados a adição de nitrogênio ao solo, manutenção da matéria orgânica do solo, reciclagem de nutrientes, cobertura do terreno minimizando problemas com erosão e controlando plantas daninhas; diminuição populacional e controle de nematoides e redução de problemas com a compactação do solo (MIRANDA et al., 2011). Além disso, esta prática de manejo resulta em melhor produtividade e reduz a necessidade de aplicação de fertilizantes minerais (ROSSETTO et al., 2008).

O sistema de produção de cana-de-açúcar com cultivo convencional sem rotação de culturas, ou seja, com reforma em pousio, provoca a crescente perda de produtividade ao longo dos anos devido à perda na fertilidade natural do solo e dificuldade no controle de ciclo de pragas de solo, características típicas dos principais problemas em monoculturas (CRUZ; MAGALHÃES, 2013).

Segundo Adiku et al. (2008) a gestão de resíduos culturais e a rotação de culturas são fatores determinantes do carbono orgânico do solo e sua dinâmica. Contudo, para entender esse comportamento é necessário levar em consideração a textura do solo, pois esta influencia tanto na emissão de CO₂ como acúmulo de carbono (SUGIHARA et al., 2012).

4.3 Emissão de CO₂ do solo

Algumas práticas agrícolas, como mudanças do uso do solo, a exemplo de conversão de vegetação natural para pastagem e agricultura, além de manejos do solo com intenso revolvimento, estão diretamente relacionadas às emissões de CO₂ no solo (DENDOOVEN et al., 2012, ROSA et al., 2014). No Brasil, mais de 70% da emissão dos gases causadores do efeito de estufa (GEE) está relacionada com a mudança de uso da terra e a atividade agropecuária (CERRI et al., 2007).

Entretanto, apesar da atividade agropecuária ser uma importante fonte de GEE, a adoção de práticas de manejo conservacionistas pode reverter esta tendência e podem ser importantes estratégias para mitigação das emissões. Por exemplo, a conversão de cana queimada para cana crua pode funcionar como mitigador das emissões de CO₂ para atmosfera, seja por meio da redução da queima de biomassa e ainda pelo aumento dos estoques de carbono do solo em áreas de cana crua (GALDOS et al., 2009).

As emissões de CO₂ do solo fazem parte do balanço global do elemento nos sistemas terrestres, onde ocorrem entradas via fotossíntese e perdas provenientes da respiração radicular, da atividade dos microrganismos e da mineralização da matéria orgânica do solo (CERRI et al., 2004; CARLISLE et al., 2006). O CO₂ emitido pelo solo é produzido essencialmente pela respiração das raízes das plantas e pela decomposição da matéria orgânica promovida pela ação dos microrganismos. No caso de solos desprovidos de vegetação, a produção de CO₂ em seu interior é totalmente relacionada à atividade microbiana (LA SCALA et al., 2000a; PANOSSO et al., 2008), o que invariavelmente resultará em redução dos estoques de carbono e degradação do solo.

Além da produção de CO₂, faz parte do processo de emissão o transporte do gás do interior do solo até a superfície, que é governado pela equação de difusão, ou seja, a taxa com que o CO₂ é liberado do solo para a atmosfera é controlada pelo gradiente de concentração de CO₂ existente entre o solo e a atmosfera (PANOSSO et al., 2008). Segundo FANG et al. (1999) a produção e transporte de CO₂ no solo são dois processos que regem a emissão de CO₂ a partir da superfície do solo e a distribuição espacial do CO₂ no interior do solo.

A qualidade estrutural de um solo pode ser avaliada pelo DMP dos agregados. Agregados maiores normalmente são de boa qualidade, apresentando boa distribuição de tamanho dos poros (BERTOL et al., 2000; SOUZA et al., 2014). A distribuição do tamanho de poros é um dos principais atributos físicos que condiciona as taxas de infiltração de água e difusão de oxigênio no solo (BAYER et al., 2000). Logo, baixos valores de DMP são prejudiciais, pois, indicam a existência de condições desfavoráveis à drenagem de água no solo e a difusão de oxigênio.

A estabilidade dos agregados e a textura do solo são atributos que apresentam grande influência sobre as emissões de CO₂, principalmente porque refletem no tamanho dos poros (CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012). A porosidade não só viabiliza o armazenamento e o transporte do gás, como também a compactação do solo, ou seja, a alteração nos percentuais de macro e microporosidade, afeta as raízes dos vegetais e as atividades microbianas, responsáveis pela respiração do solo (SIQUEIRA NETO et al., 2011; GOUTAL et al., 2012).

A densidade do solo apresenta influência na porosidade total e distribuição dos tamanhos dos poros (TORMENA et al., 1998). Altos valores de densidade do solo, pode limitar a oxigenação no solo devido à diminuição do número de poros, o que pode ser um fator

limitante para a atividade microbiana e as emissões de CO₂ do solo subsequentes (BICALHO et al., 2014). Epron et al. (2004) encontraram correlação negativa da densidade do solo com a emissão de CO₂ em solo de floresta na Guiana. Xu e Qi (2001) detectaram correlação significativa negativa da emissão de CO₂ com densidade do solo.

A resistência do solo à penetração das raízes está relacionada com a permanência da continuidade dos poros (GENRO JUNIOR et al., 2004). Magalhães et al. (2009) avaliando a resistência do solo à penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um latossolo, encontrou correlação negativa com a porosidade. Brito et al. (2009), relataram que a emissão de CO₂ do solo foi maior na área que apresentou menor densidade do solo e resistência do solo à penetração, maior quantidade de agregados e macroporosidade do solo, onde a macroporosidade viabiliza a emissão de O₂ e CO₂ do solo.

A resistência tênsil do agregado está diretamente ligada à porosidade do solo e consequentemente as emissões de CO₂. O aumento de matéria orgânica no solo resulta em maior porosidade do agregado e aumento no número e na força das ligações entre as partículas, ocasionando aumento da resistência tênsil (TORMENA et al., 2008).

Além disso, as emissões de CO₂ de solos agrícolas estão diretamente relacionadas com as condições de umidade e temperatura do solo (SMITH et al., 2003; CARBONELL-BOJOLLO et al., 2012), uma vez que estes atributos do solo são essenciais para o metabolismo da microbiota do solo (SANTOS et al., 2014). Xu e Qi (2001) encontraram correlação inversa entre as emissões de CO₂ e o teor de água no solo (> 19%). Os autores apontam que efeito negativo da alta umidade do solo pode estar relacionado com a disponibilidade de O₂ no espaço poroso do solo, o que afeta a atividade microbiana. O alto conteúdo de água pode impedir a difusão de O₂ no solo, impedindo a decomposição e produção de CO₂. Panosso et al. (2008) avaliando a emissão de CO₂ em áreas de cana crua e cana queimada, verificaram correlação inversa (-0,53) entre a emissão de CO₂ e o teor de água no solo nas áreas onde a prática de queima da cana para a colheita foram adotadas.

As emissões de CO₂ também são afetadas pela meteorologia, por exemplo, pela ocorrência de precipitações (MORELL et al., 2010). Durante o período mais seco do ano, o a emissão de CO₂ do solo é impulsionado principalmente pelo solo (ROCHETTE et al., 1991; PANOSSO et al., 2006). Kosugi et al. (2007) relataram que, em regiões, onde a variação de

temperatura é pequena, o teor de água no solo é mais indicada para estimar a variação da respiração do solo.

As precipitações têm grandes efeitos sobre as emissões de CO₂ no solo e podem levar à perdas significativas de carbono na forma de CO₂ (ROCHETTE et al., 1991). Reichstein et al. (2003), trabalhando com solos arenosos e argilosos na Europa e América do Norte, observaram correlação significativa direta entre a precipitação anual e respiração do solo. Os autores apontam que a precipitação pode influenciar de forma direta e indireta a respiração do solo. A influência direta ocorre por meio de limitação de água a microbiota do solo e a influência indireta é causada pela influencia da precipitação no desenvolvimento da vegetação, uma vez que a massa de raízes também apresenta correlação direta com as emissões de CO₂ no solo.

Esta influência indireta é causada pelo efeito de precipitações na produtividade da vegetação, uma vez que essas duas variáveis apresentam correlação positiva. Assim, a precipitação tem importância para a respiração do solo de duas formas, a influência direta por meio de limitação de água na microbiota do solo e da influência indireta via produtividade vegetal (respiração das raízes) (REICHSTEIN et al., 2003).

O material orgânico presente sobre o solo também influencia a emissão de CO₂, pois serve como substrato à atividade microbiana do solo, refletindo em aumento da emissão de CO₂ (EVANYLO; MCGUINN, 2009). Além disso, a maior quantidade de palhada residual presente na superfície do solo oferece um habitat oportuno aos microrganismos favorecendo a atividade microbiana (FRANCHINI et al., 2007).

Os atributos microbiológicos são de grande importância em estudos sobre CO₂ do solo, visto que a biomassa microbiana representa o destino inicial do processo de transformação do carbono no solo, sendo influenciada principalmente pela disponibilidade de carbono, nitrogênio, fósforo, enxofre, teor de água no solo, aeração, pH e granulometria do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). De acordo com Jenkinson e Ladd (1981), a atividade microbiana é a principal responsável pela decomposição de resíduos orgânicos no solo, pela ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo, exercendo influência na estocagem de carbono, disponibilização de nutrientes para as plantas e emissão de CO₂. Em estudo de Xu e Qi (2001), a emissão de CO₂ apresentou correlação significativa e positiva com a biomassa microbiana, biomassa das raízes, nitrogênio, matéria orgânica e teor de magnésio.

O fósforo é um elemento químico relacionado com a atividade microbiana do solo, podendo ser considerado um fator limitante à dinâmica da intensidade dessa atividade, devido à sua importância no metabolismo dos microrganismos (NORDGREN, 1992). Schwendenmann et al. (2003), investigando a variação espacial e temporal da emissão de CO₂ em florestas, observaram a influência do teor de carbono do solo e da concentração de fósforo na emissão de CO₂ do solo.

É possível observar considerável variação nos teores de carbono do solo em função da textura, isto porque os solos têm diferentes capacidades de retenção e proteção à decomposição da matéria orgânica, devido à superfície específica que cada material apresenta, ou seja, quanto maior for esta superfície, mais matéria orgânica humificada poderá ser adsorvida (LEPSCH et al., 1982). Balesdent et al. (2000) apontam que o contato do carbono com a matriz do solo pode reduzir biodegradação.

Outro fator importante para potencializar as emissões de CO₂ são as operações de preparo do solo. O preparo do solo influencia fortemente a emissão de CO₂ por meio da criação de condições mais favoráveis para a oxidação e mineralização do carbono orgânico no solo, por meio do aumento da aeração do solo, da desagregação do solo e do maior contato entre resíduo do solo (LA SCALA et al., 2008; SCHWARTZ et al., 2010; BILANDZIJA et al., 2014). O preparo do solo destrói os agregados e expõe a matéria orgânica protegida, que juntamente com temperatura e umidade do solo adequado, acelera a decomposição da matéria orgânica do solo (GRANDY et al., 2006).

Estudos têm sugerido que os sistemas de plantio convencional envolvendo arações e gradagens geram um maior impacto sobre as emissões de CO₂ do que os sistemas de preparo reduzido ou cultivo mínimo. Silva-Olaya et al. (2013), avaliando as emissões de CO₂ em diferentes sistemas de preparo do solo, observaram que a adoção do cultivo mínimo reduz as emissões de CO₂ do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. Morell et al. (2010), estudando o efeito no curto prazo de chuvas sobre a emissão de CO₂, em diferentes sistemas de manejo do solo, notaram que a emissão de CO₂ foi significativamente maior nos sistemas de cultivo mínimo e plantio direto, quando comparados sistemas de preparo convencional do solo, dentro de um período de três dias depois da chuva.

Além disso, a respiração das raízes pode ser responsável por metade da emissão de CO₂ emitida no solo (ANDERSON, 1992; JANSSENS et al., 1998). Maiores concentrações de

raízes são encontrados nas camadas mais próximas a superfície do solo e perto do centro das plantas de cana-de-açúcar, indicando um crescimento concentrado do sistema radicular neste local. Uma pequena quantidade de raízes metabolicamente ativas é observada entre as linhas de cultura da cana (OTTO et al., 2009). Reth et al. (2005) encontrou correlação positiva entre a massa de raízes e a emissão de CO₂, onde as amostras com maior massa de raízes apresentaram as maiores emissões de CO₂ (p <0,01).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização do experimento e histórico da área

A condução dos experimentos ocorreu em duas áreas experimentais nas usinas Iracema (Grupo São Martinho) e Santa Fé (Grupo Itaquerê), localizadas nos municípios de Iracemápolis e Nova Europa, respectivamente. A distribuição destas usinas no estado de São Paulo encontra-se na Figura 2.

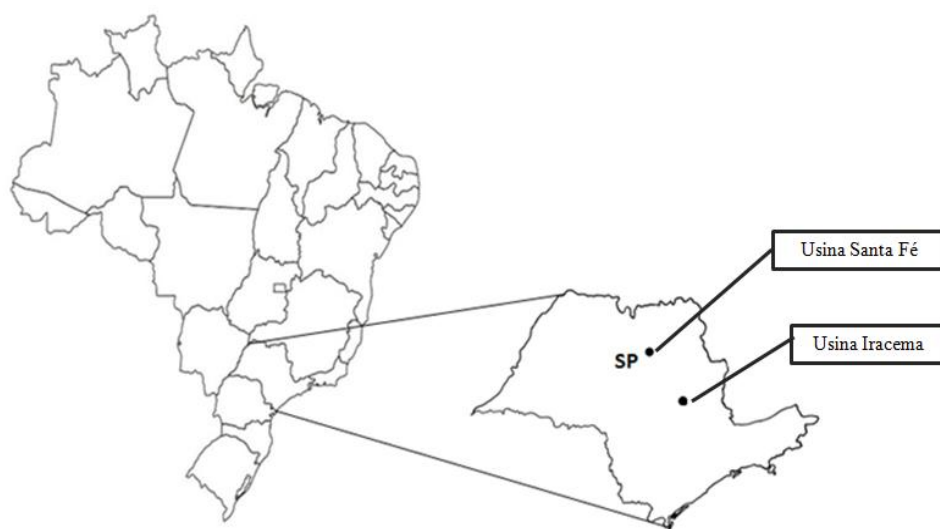


Figura 2. Localização das áreas experimentais no estado de São Paulo, município de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé).

A escolha das áreas está relacionada às usinas estarem localizadas em condições edafoclimáticas distintas (Tabela 1) e, apresentarem diferentes tipos de solo, o que poderá influenciar na decomposição de resíduos vegetais e consequentemente na emissão de CO₂.

Tabela 1. Localização e características edafoclimáticas das áreas avaliadas nas áreas experimentais localizada nos municípios de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé).

Características	Usinas	
	Iracema	Santa Fé
Coordenadas geográficas	22° 34'S e 47° 31'O	21°46'S e 48° 33'O
Altitude (m)	608	490
Precipitação média anual (mm)	1.420	1.311
Classificação climática de Köppen	Cfa	Aw
Tipo de solo	Latossolo Vermelho eutroférico	Latossolo Vermelho-Amarelo álico

O delineamento experimental das áreas foi o de blocos ao acaso no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. A parcela envolve a área com e sem rotação e na subparcela duas condições de preparo de solo (cultivo mínimo e preparo convencional). Cada unidade experimental contém 15 linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento de 1,5 m e 34 m de comprimento. Tratamentos que foram implantados:

Rotação de culturas: i) área sem rotação de culturas; ii) área com rotação de culturas com *Crotalaria juncea* durante a reforma do canavial.

Sistemas de preparo do solo: i) preparo convencional (PC) – subsolagem, gradagens e sulcação; ii) Cultivo mínimo (CM) – subsolagem e sulcação. Em ambos os tratamentos foram adotados tráfego convencional realizado na usina, inclusive durante a colheita.

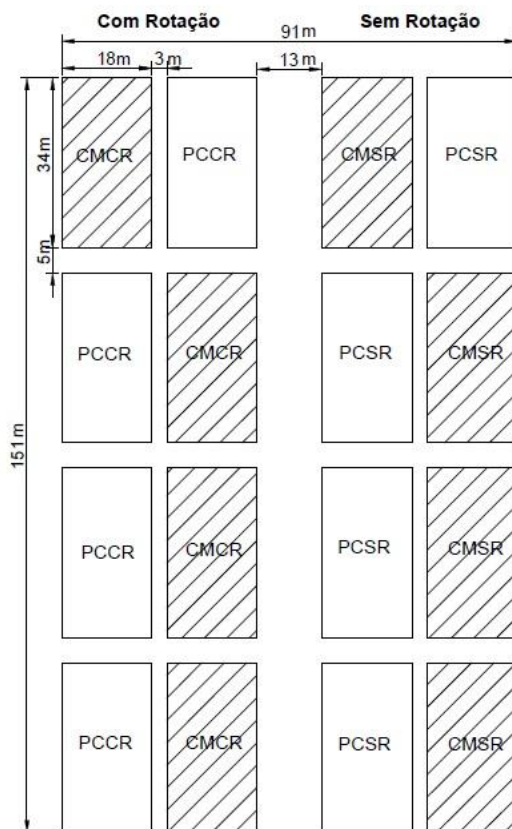


Figura 3. Croqui das áreas experimentais com os sistemas de manejo implantados no município de Iracemápolis (usina Iracema) e Nova Europa (usina Santa Fé). PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas;

O experimento na área argilosa teve início em 2012 e na área arenosa em 2013, com a colheita mecânica da cana-de-açúcar e coleta de solo para caracterização da área. As caracterizações físicas e químicas encontram-se descritas nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2. Caracterização granulométrica das áreas experimentais de Iracemápolis (solo argiloso) e Nova Europa (solo arenoso).

Profundidade	AG	AF	AT	Silte	Argila	Textura
g kg						
Solo Argiloso						
0,00-0,10	61	87	148	206	646	Muito Argilosa
0,10-0,20	58	87	145	189	666	Muito Argilosa
0,20-0,40	48	78	126	188	686	Muito Argilosa
0,40-0,60	38	55	93	168	739	Muito Argilosa
0,60-1,00	29	56	85	157	758	Muito Argilosa
Solo Arenoso						
0,00-0,10	378	442	820	36	144	Areia Franca
0,10-0,20	398	393	791	48	161	Areia Franca
0,20-0,40	369	420	788	43	168	Franco Arenosa
0,40-0,60	320	452	772	44	184	Franco Arenosa
0,60-1,00	332	423	755	48	197	Franco Arenosa

AG = areia grossa AF = areia fina; AT = areia total; n=4.

Tabela 3. Macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro), porosidade total (PT), densidade do solo (DS), diâmetro médio ponderado (DMP), resistência tênsil do agregado (RT) e resistência do solo à penetração, obtidos nas áreas experimentais de solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).

Profundidade	Macro	Micro	PT	Ds	DMP	RT	RP	Θ
	m ⁻³ m ⁻³			kg m ⁻³	mm	kPa	MPa	m ³ m ⁻³
Solo Argiloso								
0,00-0,10	0,11	0,44	0,55	1,38	2,35	163,21	0,90	0,30
0,10-0,20	0,12	0,45	0,57	1,37	1,77	129,43	1,62	0,30
0,20-0,40	0,19	0,39	0,58	1,27	1,01	214,13	1,66	0,32
0,40-0,60	0,17	0,47	0,64	1,17	1,17	90,55	1,31	0,32
0,60-1,00	0,20	0,42	0,62	1,15	1,16	132,51	-	-
Solo Arenoso								
0,00-0,10	0,16	0,17	0,33	1,67	0,39	57,16	1,09	0,14
0,10-0,20	0,18	0,17	0,35	1,61	0,37	54,27	1,56	0,15
0,20-0,40	0,16	0,18	0,34	1,51	0,37	70,61	1,64	0,17
0,40-0,60	0,15	0,17	0,32	1,55	0,33	50,41	1,35	0,16
0,60-1,00	0,18	0,18	0,36	1,52	0,35	45,14	-	-

n= 4.

Tabela 4. Caracterização química das áreas experimentais de Iracemápolis (solo argiloso) e Nova Europa (solo arenoso).

Nova Europa (Solo arenoso):						
Profundidade	pH CaCl ₂	Ca	Mg	K	CTC	SB
		cmol _c dm ⁻³				
Solo Argiloso						
0,00-0,10	4,37	2,03	0,87	0,76	9,04	3,66
0,10-0,20	4,37	1,85	0,75	0,69	9,28	3,29
0,20-0,40	4,50	1,77	0,72	0,72	7,64	3,21
0,30-0,60	4,68	1,82	0,65	0,67	6,99	3,14
0,60-1,00	4,67	1,65	0,60	0,71	6,60	2,96
Solo Arenoso						
0,00-0,10	4,93	2,33	0,45	0,15	4,98	2,92
0,10-0,20	4,73	2,18	0,28	0,10	5,05	2,55
0,20-0,40	4,68	2,00	0,30	0,10	4,73	2,40
0,30-0,60	4,68	2,10	0,28	0,10	4,73	2,48
0,60-1,00	4,35	1,55	0,28	0,10	4,60	1,93

K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; SB = soma de bases trocáveis; CTC = capacidade de troca de cátions; n=4.

A implantação dos experimentos foi realizada inicialmente pela eliminação mecânica da soqueira e subsolagem a 0,40 m de profundidade, devido à detecção nas duas áreas de uma camada compactada que poderia limitar o crescimento de raízes no ciclo subsequente.

Para o plantio *Crotalaria juncea* foram distribuídos em cada área 25 kg ha⁻¹ de sementes em linha com espaçamento de 0,5 m no período recomendado de plantio da leguminosa. Ao final do ciclo da cultura foram lançados ao acaso 4 molduras metálicas contendo 1 m² para avaliar a produção de matéria seca da crotalaria. Foram produzidas 8 t ha⁻¹ de matéria seca de crotalaria na área de solo argiloso e 14 t ha⁻¹ na área de solo arenoso.

Em abril de 2013 e 2014, na área de solo argiloso e arenoso, respectivamente, a crotalaria foi dessecada e roçada a 0,05 m de altura. Na área de solo argiloso esta operação foi realizada por meio de um trator Case MXM 150 cv 4x4 e uma roçadeira deslocável Agritecha. Na área de solo arenoso foi utilizado um trator Massey Ferguson Advanced 275 cv 4x2 e uma roçadeira deslocável.

Em ambas as áreas foram instaladas os mesmos tratamentos. Nas parcelas onde o preparo convencional foi implantado, foram realizadas duas gradagens e sulcação e, nas parcelas em que o cultivo mínimo foi realizado apenas a sulcação. Na área de solo argiloso, as parcelas de preparo convencional foram preparadas por meio de duas gradagens leves utilizando grade hidráulica de 36 discos da Baldan e trator Case MXM 200 cv e, sulcação a

0,30 m de profundidade utilizando um trator Valtra BH 180 4x4 e um sulcador Driade duas linhas. Nas parcelas em que o cultivo mínimo foi montado ocorreu uma sulcação a 0,30 m de profundidade com o mesmo equipamento utilizado no preparo convencional.

Na área de solo arenoso, as parcelas com o sistema convencional foram preparadas por meio de duas gradagens utilizando uma grade aradora intermediária Santa Izabel de 44 discos e um trator Valtra BT 210 cv 4x4 e sulcação a 0,30 m de profundidade com sulcador de duas linhas. Nas parcelas em que o cultivo mínimo foi instalado ocorreu apenas a sulcação utilizando o mesmo equipamento do preparo convencional.

Nas áreas experimentais os colmos foram distribuídos manualmente no sulco de plantio, cortados em pedaços menores e posteriormente com auxílio de um cobridor foi realizada a cobertura. Na área de solo argiloso foi utilizado um cobridor de 2 linhas e um trator Massey Ferguson Advanced 275 cv 4x2. Na área de solo arenoso foi utilizado um cobridor DMB de 2 linhas e um trator New Holland TL85E 88 cv para cobertura do sulco de plantio. Nessa ocasião em ambas as áreas foram aplicadas 0,5 L ha⁻¹ de fungicida e 250 g ha⁻¹ do inseticida regente.

As informações referentes à data de plantio da crotalária, data de dessecação, produção de massa seca (MS), data de plantio da cana, adubação e variedade cultivada encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5. Informações gerais das áreas experimentais localizadas na usina Iracema (solo argiloso) e usina Santa Fé (solo arenoso).

Eventos	Usina Iracema	Usina Santa Fé
Plantio da crotalária	22/01/2012	22/02/2014
Dessecação da crotalária	04/04/2013	24/04/2014
Produção de matéria seca	8 t ha ⁻¹	14 t ha ⁻¹
Plantio da cana	22/04 a 26/04/2013	30/04 a 01/05/2014
Adubação da cana	300 kg ha ⁻¹ (12-23-23)	500 kg ha ⁻¹ (05-25-23)
Variedade cultivada	RB 96-6928	RB 86-7515

As coletas de solo para avaliação dos atributos físicos do solo (densidade, porosidade, teor de água no solo, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados e resistência tênsil do agregado) ocorreram durante a caracterização da área e ao término da coleta de CO₂.

Para isso, durante a caracterização foram coletadas amostras de solo até um metro, nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m, 0,30-0,40 m, 0,40-0,60 m e 0,60-1,00 m. Ao término das coletas de CO₂ foram coletadas amostras de solo apenas nas profundidades de 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m uma vez que as operações de preparo do solo após a caracterização foram realizadas no máximo até 0,40m.

5.2 Atributos Químicos

Para análise dos atributos químicos realizou-se amostragem de solo até 0,40 m de profundidade. Todas as amostras foram levadas ao laboratório, secas ao ar e em seguida passadas em peneira de 2,0 mm. Foram realizadas determinações do pH do solo (CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹), cátions trocáveis (Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺), fósforo disponível (resina), carbono orgânico (oxidação por via úmida), acidez potencial, CTC potencial e saturação de bases de acordo com metodologia proposta por Raij et al. (2001).

5.3 Atributos físicos

a) Análise granulométrica

Foram determinadas as frações de areia, silte e argila utilizando terra fina seca ao ar pelo método da pipeta com solução de Hidróxido de Sódio 0,1 (NaOH) com agente dispersante para caracterização de ambos os solos (CAMARGO et al., 1986).

b) Densidade e porosidade do solo

A densidade do solo foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra, segundo metodologia da Embrapa (2011). A porosidade foi calculada a partir da mesa de tensão e a microporosidade correspondeu à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação (EMBRAPA, 2011). A porosidade total foi obtida segundo Embrapa (2011) e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

c) Teor de água no solo e resistência do solo à penetração

As medições foram realizadas no mesmo dia para todos os tratamentos de uma mesma repetição, buscando-se, dessa forma, eliminar o efeito da variação do teor de água no solo, que

foi determinado pelo método gravimétrico em amostras deformadas (EMBRAPA, 2011). Para determinação da resistência do solo à penetração, foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar com ângulo de cone de 30°. A transformação da penetração da haste do aparelho no solo (cm/impacto) em resistência à penetração foi obtida pela fórmula de Stolf (1991), a seguir:

$$R = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M + m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

onde R é a resistência à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² * 0,098 = MPa); M a massa do êmbolo, 4 kg (Mg - 4 kgf); m a massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (Mg - 3,2 kgf); h a altura de queda do êmbolo, 40 cm; x a penetração da haste do aparelho, cm/impacto, e A a área do cone, 1,29 cm².

d) Estabilidade de agregados

Os índices de estabilidade de agregados foram determinados de acordo com o método descrito por Kemper e Chepil (1965), onde as amostras de solo deformado foram levadas ao peneiramento por meio do vibrador Prooutest. Os agregados que passaram pela peneira de 9,52 mm e que ficaram retidos na peneira de 4,76 mm foram utilizados. Após serem secos ao ar, os agregados foram saturados por dez minutos e posteriormente levados ao conjunto de peneiras para o peneiramento em água por 30 minutos. Foram utilizadas cinco peneiras com os diâmetros de 4,76, 2,0, 1,0, 0,5 e 0,25 mm, para obtenção das seguintes classes de agregados C₁ (9,52-4,76 mm), C₂ (4,76-2,0 mm), C₃ (2,0-1,0 mm), C₄ (1,0-0,5 mm), C₅ (0,5-0,25 mm) e C₆ (< 0,25 mm).

e) Cálculo da resistência tênsil do agregado

Foi calculado conforme descrito por Dexter e Kroesbergen (1985):

$$RT = 0,576 * \left(\frac{P}{D^2} \right) \quad (2)$$

em que RT é a resistência tênsil; 0,576, o coeficiente de proporcionalidade resultante da relação entre a carga compressiva aplicada e o estresse tênsil gerado no interior do agregado;

P, a força necessária para a quebra tênsil do agregado (N); e D, o diâmetro efetivo (m). O diâmetro efetivo (D) foi calculado conforme Watts e Dexter (1998):

$$D = Dm \left(\frac{M}{M_0} \right)^{1/3} \quad (3)$$

em que M é a massa do agregado individual (g); M_0 , a massa média dos agregados na população (g); e Dm, o diâmetro médio dos agregados (mm), definido pela média dos tamanhos das peneiras [(12,5 + 19,0)/2 = 15,75 mm]. Usualmente, a medida da resistência tênsil dos agregados de solo é expressa em kPa. O equipamento utilizado foi um dinamômetro-IMPAC, marca Lutron, modelo FG-20 kg.

5.4 Análise Microbiológica

a) Carbono da biomassa microbiana

Foi determinado pelo método da fumigação-extração, proposto por Vance et al. (1987). As amostras de solo foram umedecidas e a umidade corrigida para 60% da capacidade de campo, sendo que parte das amostras foi fumigada com clorofórmio previamente purificado e permanecendo por um período de 24 h. Após a fumigação, foi feita a extração das amostras fumigadas e não fumigadas, utilizando 50 mL de K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, foi feita a determinação do carbono por dicromatometria, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal.

5.5 Análises da emissão de CO₂

Foram feitas avaliações em ambas as áreas no período da manhã por meio de cinco colares de PVC (diâmetro = 10 cm e altura = 7 cm), distribuídos em cada uma das 16 parcelas (total de 80 colares) e inseridos 2 cm no solo. A emissão foi avaliada com auxílio de uma câmara de solo fabricada pela companhia LI-COR, Nebraska, EUA (Figura 4A). O equipamento é um sistema fechado com volume interno de 991 cm³, com área de contato com o solo de 71,6 cm² e colocado sobre os colares de PVC, para realização das leituras evitando, assim, possíveis distúrbios mecânicos no perfil do solo, que poderiam superestimar os valores das emissões.

A temperatura do solo foi avaliada em todos os pontos estudados, utilizando o sensor de temperatura, que é parte integrante do sistema do LI-6400. Esse sensor consiste de uma

haste de 0,20 m, que é inserida no interior do solo, o mais perpendicular possível em relação à superfície, na região próxima ao local onde foram instalados os colares de PVC para a avaliação da emissão de CO₂.

A umidade do solo foi avaliada simultaneamente com a medição da concentração de CO₂ por meio do aparelho TDR (Figura 4B). A sonda Thetaprobe ML2 (Delta-T Devices, Cambridge, UK) é um instrumento de fabricação inglesa que mensura diretamente o teor água no solo, correspondendo ao conteúdo de umidade volumétrica, por meio do princípio de geração de ondas que liberam um pulso eletromagnético para um conjunto de hastes sendo a reflexão medida no domínio do tempo (TDR).

As avaliações da emissão de CO₂, temperatura e teor de água no solo foram iniciadas 24 horas após as operações dos preparos do solo em ambas as áreas e foram realizadas no horário entre 8 e 10 h da manhã com duração de 1 minuto e 30 segundo para cada leitura. As leituras foram conduzidas até a estabilização da emissão CO₂. Após a estabilização, as leituras passaram a ser realizadas semanalmente, até se confirmar a constância das emissões.

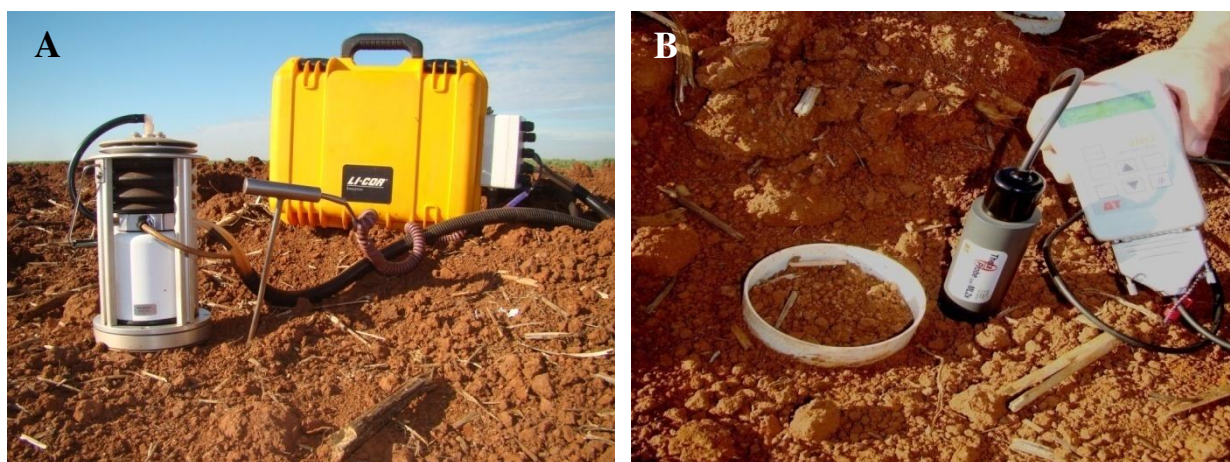


Figura 4. a) Sistema portátil LI-8100 com o sensor de temperatura acoplado e; (b) sistema portátil TDR.

As emissões de CO₂ registradas nos cinco colares de cada parcela (2 linha e 3 entrelinha) foram agregadas em uma única medida por meio da média ponderada (levando em consideração uma área de 27% para a linha e 73% para entrelinha). O fluxo de CO₂ do solo acumulado durante todo período de estudo foram estimadas pelo método da integral da área debaixo das curvas de emissão versus o tempo.

5.6 Análise dos dados

Todos os dados foram testados em relação à hipótese de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Quando essa condição foi respeitada, realizou-se a análise de variância ao nível de 5% de probabilidade por meio *software* SAS®, e apresentando significância para as interações, os dados foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

6. RESULTADOS

Os dados climáticos referentes aos períodos experimentais de ambas as áreas foram obtidos em postos meteorológicos localizados nas próprias usinas. Os dados de temperatura do ar, precipitação durante a condução dos experimentos são apresentados na Figura 5.

A temperatura média registrada na área com solo argiloso foi de 19 °C, a máxima 31 °C e a mínima de 4 °C. A precipitação total durante o período foi de 153,3 mm (Figura 5). Na área de solo arenoso a temperatura média registrada foi de 20 °C, a máxima 33 °C e a mínima de 7 °C. A precipitação total durante o período foi de 73,20 mm. Os dados de temperatura média, máxima e mínima foram semelhantes nas duas áreas experimentais. No entanto, no tocante à precipitação, o registrado na área de solo argiloso foi 52,25% superior ao registrado na área de solo arenoso.

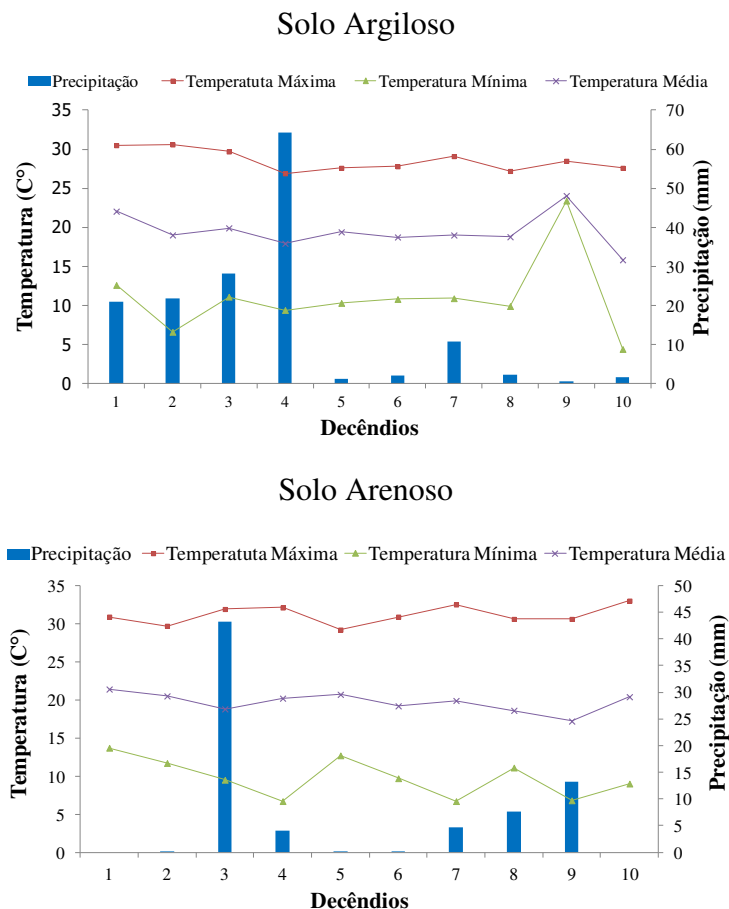


Figura 5. Temperatura média, máxima, mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período de avaliação da emissão de CO₂ nas áreas experimentais localizadas na usina Iracema (solo argiloso) e usina Santa Fé (solo arenoso).

6.1 Umidade e temperatura do solo

Com relação aos dados obtidos na área de solo argiloso, a umidade do solo foi alta logo nos primeiros dias após o preparo do solo (Figura 6A), devido à ocorrência de precipitações na área (Figura 5). A umidade mínima do solo registrada foi de 0,07, 0,06, 0,10 e 0,07 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$ para os respectivos tratamentos PCCR, CMCR, PCSR e CMSR. Esses valores foram atingidos entre o 10° e 17° dia após o preparo do solo, no mês de junho de 2013. Os maiores valores de umidade do solo variaram de 0,31 a 0,34 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$ e, foram registrados no período final do experimento no mês de agosto de 2013.

Com relação à umidade média na área de solo argiloso, foi registrado 0,18, 0,18, 0,19 e 0,18 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$ para os tratamentos PCCR, PCSR, CMCR e CMSR, respectivamente (Figura 6A). Observa-se que a área de cultivo mínimo com rotação de culturas apresentou o maior valor de umidade média em relação ao mesmo tratamento da área com rotação de culturas sendo 8,43% superior ($p < 0,05$).

A temperatura mínima registrada no solo foi de 16,7, 17,5, 16,9, 17,2 °C para os tratamentos PCCR, PCSR, CMCR e CMSR, respectivamente (Figura 6B). Essas temperaturas foram alcançadas 37 dias após o preparo, no mês de julho de 2013. A temperatura máxima do solo variou de 23,95 a 24,92 °C sendo estas registradas no início do experimento, entre o 5° e o 7° dia após o preparo. A temperatura média do solo exibiu pequena variação, 20,20 a 20,62 °C.

Na área experimental de solo arenoso, a umidade mínima do solo foi de 0,02, 0,01, 0,02 e 0,02 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$ para os tratamentos PCCR, PCSR, CMCR e CMSR, respectivamente (Figura 7A). A umidade máxima do solo foi de 0,13, 0,09, 0,15 e 0,11 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$ nos tratamentos PCCR, PCSR, CMCR e CMSR, respectivamente. Os dados médios de umidade do solo foram semelhantes entre os tratamentos variando de 0,06 a 0,07 $\text{kg}^1 \text{kg}^{-1}$, porém, verifica-se que esses valores são 50,16% inferiores aos obtidos na área de solo argiloso no mesmo período do ano devido às poucas ocorrências de precipitação.

Os dados de temperatura do solo foram em média 6,95% superiores aos registrados na área de solo argiloso (Figuras 6B e 7B). A temperatura mínima variou de 16,12 a 16,58 °C entre os tratamentos. A temperatura máxima do solo variou de 25,71 a 29,45 °C.

6.2 Emissão de CO₂

As emissões de CO₂ registradas na área de solo argiloso, no período de 27 de abril a 03 de agosto de 2013 foram maiores logo nos primeiros dias após o preparo, se comportando de maneira semelhante a temperatura e umidade do solo (Figuras 6A, B e C). No entanto, por volta do 40º dia após o preparo do solo, observou-se estabilização das emissões de CO₂, a partir de então mudanças significativas no teor de água no solo não provocaram alterações nas emissões.

A ocorrência de chuvas na área argilosa levou a aumentos na emissão de CO₂ do solo de até 10 vezes em relação ao dia anterior podendo ser observado três grandes picos durante o período avaliado, 7º, 15º e 23º dia após o preparo (Figuras 6A, B e C).

Na área de solo arenoso as emissões de CO₂ foram avaliadas de 04 de maio a 08 de agosto de 2014 juntamente com a temperatura e umidade do solo (Figuras 7A, B e C). Da mesma forma que no solo argiloso, as emissões de CO₂ registradas no solo arenoso, foram maiores logo nos primeiros dias após o preparo seguindo à mesma tendência da temperatura e umidade do solo. No entanto, as emissões médias obtidas foram inferiores as do solo argiloso. Além disso, observa-se que a emissão de CO₂ no solo arenoso demorou mais para se estabilizar, se tornando constante por volta dos 55º dia após o preparo.

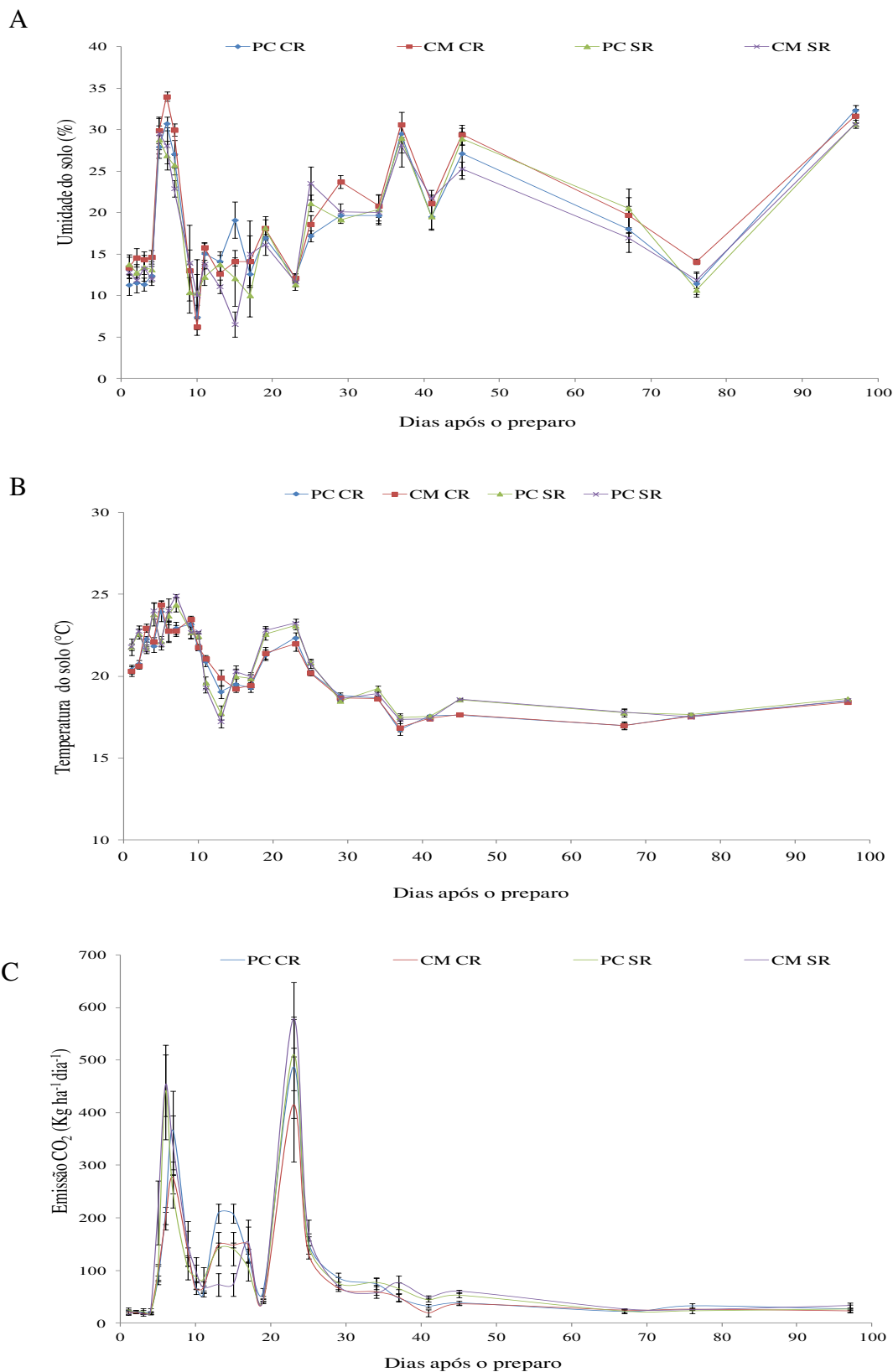


Figura 6. Umidade do solo (A), temperatura (B) e emissão de CO₂ (C) diário na área experimental de solo argiloso com os tratamentos avaliados e seus respectivos erros padrões. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas.

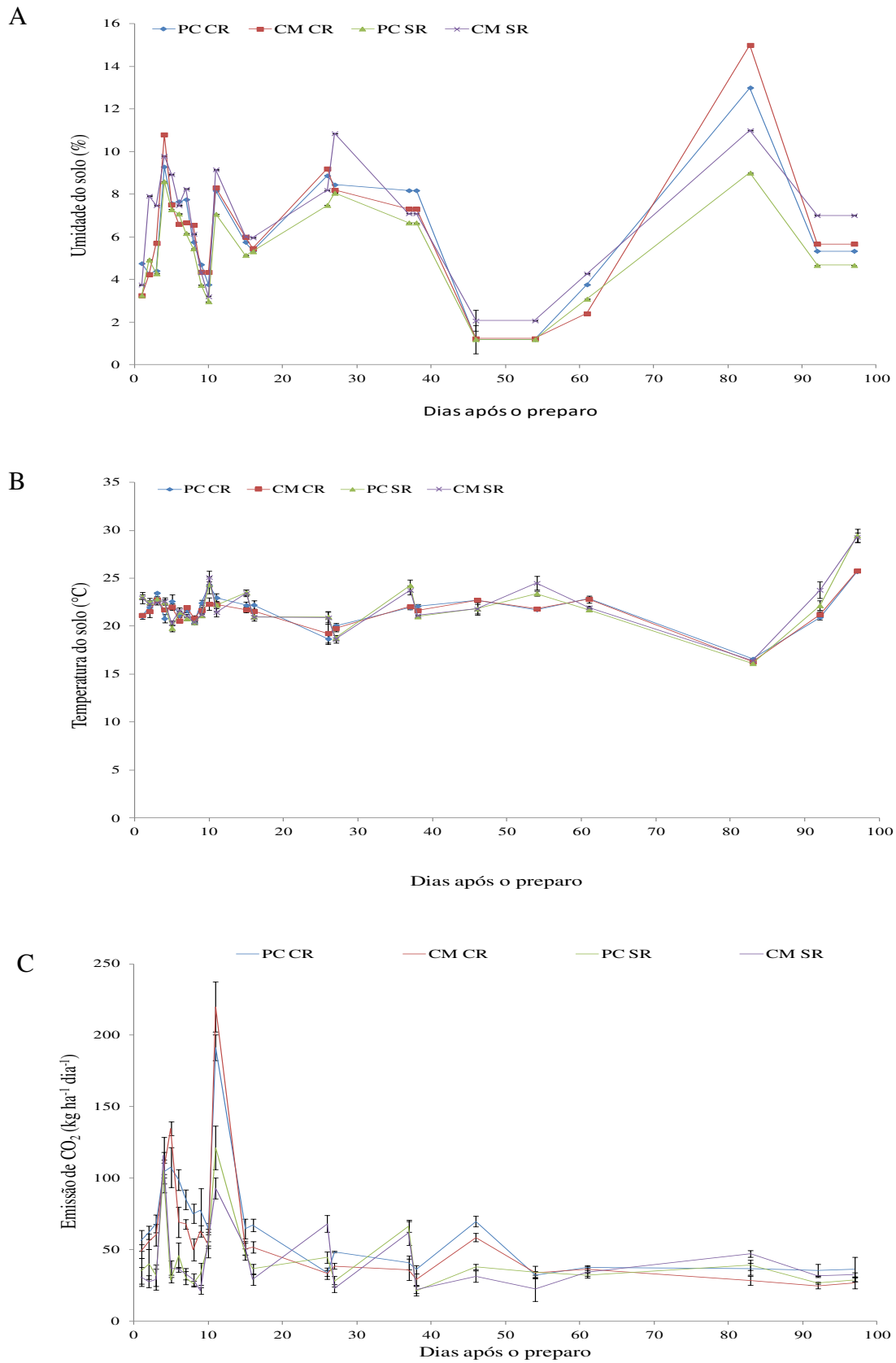


Figura 7. Umidade do solo (A), temperatura (B) e emissão de CO_2 (C) diário na área experimental de solo arenoso com os tratamentos avaliados e seus respectivos erros padrões. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas.

Na área de solo argiloso, as emissões foram maiores na linha de plantio da cana-de-açúcar em todos os tratamentos ($p < 0,05$) (Tabela 6). As emissões na linha de plantio foram 8,7, 43,8, 58,7 e 43,3% superiores em relação à entrelinha para os tratamentos PCCR, CMCR, PCSR e CMSR, respectivamente. Verifica-se que a menor diferença na emissão da linha e entrelinha, ocorreu no tratamento PCCR e maior no tratamento PCSR.

Tabela 6. Emissão de CO₂ na linha e entrelinha de cana-de-açúcar nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso e arenoso.

Tratamento	Linha	Entrelinha	Emissão de CO ₂ Média
Solo Argiloso			
PCCR	106,8 a	98,2 b	100,5
PCSR	152,6 a	93,9 b	109,7
CMCR	123,2 a	79,4 b	91,2
CMSR	151,6 a	108,2 b	119,9
Solo Arenoso			
PCCR	68,9 a	63,7 a	65,1
PCSR	69,3 a	34,5 b	43,9
CMCR	66,2 a	57,7 a	59,9
CMSR	61,6 a	33,1 b	40,8

Emissão de CO₂ = kg ha⁻¹ dia⁻¹; PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. A emissão de CO₂ média foi calculada por meio da média ponderada dos valores da linha e da entrelinha, levando em consideração uma área de 27% para a linha e 73% para entrelinha.

Observa-se na área de solo argiloso que os tratamentos sem rotação de culturas apresentaram os maiores emissões de CO₂ na linha de plantio (PCSR = 152,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e CMSR = 151,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹) sendo 24,4% superiores aos dados obtidos na linha dos tratamentos com rotação de culturas (Tabela 6). O mesmo ocorreu para entrelinha, os tratamentos sem rotação de culturas apresentaram emissão de CO₂ 12,1% superior aos tratamentos com rotação de culturas.

O tratamento CMCR no solo argiloso, apresentou a menor emissão de CO₂ na entrelinha de plantio, 79,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e consequentemente o menor emissão de CO₂ média (Tabela 6). Em contraste o tratamento de CMSR apresentou elevada emissão de CO₂ na linha e na entrelinha de plantio, sendo 151,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹ e 108,2 kg ha⁻¹ dia⁻¹, respectivamente, e consequentemente a maior emissão de CO₂ média.

Na área de solo arenoso o comportamento das emissões de CO₂ foi diferente em relação ao solo argiloso, pois não houve diferença na emissão CO₂ registrada na linha e na entrelinha para os tratamentos com rotação de culturas ($p < 0,05$) (Tabela 6). No entanto, nas áreas sem rotação de culturas a emissão de CO₂ na linha de plantio foi 50,1% e 46,3% superior na entrelinha dos tratamentos PCSR e CMSR, respectivamente. As áreas com rotação de culturas também apresentaram emissão de CO₂ média superior às áreas sem rotação de culturas sendo essa diferença em média 32,3%.

As maiores emissões no solo arenoso foram registradas na linha do tratamento PCSR 69,3 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Tabela 6). As menores emissões ocorreram na entrelinha do tratamento CMSR, 33,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹ seguida da entrelinha do tratamento PCSR, 34,6 kg ha⁻¹ dia⁻¹.

6.3 Emissões de CO₂ acumuladas

Na área de solo argiloso, a emissão de CO₂ acumulada do solo apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) no tratamento de cultivo mínimo com rotação de culturas, com valor de 6,1 t ha⁻¹ (Figura 8). Comparando os dados obtidos no tratamento CMCR (6,1 t ha⁻¹) com o CMSR (7,5 t ha⁻¹) nota-se uma diferença de 18,83% entre os tratamentos, indicando influência positiva da associação da rotação de culturas na mitigação da emissão de CO₂. No entanto, os tratamentos de preparo convencional com rotação e sem rotação não se diferenciaram, apresentando valores de emissão de CO₂ acumulada de 7,1 e 6,9 t ha⁻¹, respectivamente.

A área experimental de solo arenoso apresentou comportamento diferente, uma vez que as áreas sem rotação de culturas, tanto de preparo convencional como de cultivo mínimo, apresentaram os menores valores de emissão de CO₂ acumulada 4,0 e 3,9 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 8). As áreas com rotação de culturas apresentaram os maiores valores, sendo de 5,3 t ha⁻¹ para o preparo convencional e 4,9 t ha⁻¹ para o cultivo mínimo. Em médias as emissões de CO₂ foram 21,7% superiores nas áreas com rotação de culturas efeito não estatisticamente significativo ($p < 0,05$).

Nos solos argiloso e arenoso, não foram observadas diferenças entre os sistemas de preparo do solo estudados ($p < 0,05$) (Figura 8). Em média a emissão de CO₂ na área de solo argiloso foi de 6,9 t ha⁻¹ e na área de solo arenoso a emissão média acumulada foi de 4,5 t ha⁻¹, sendo 34,6% inferior.

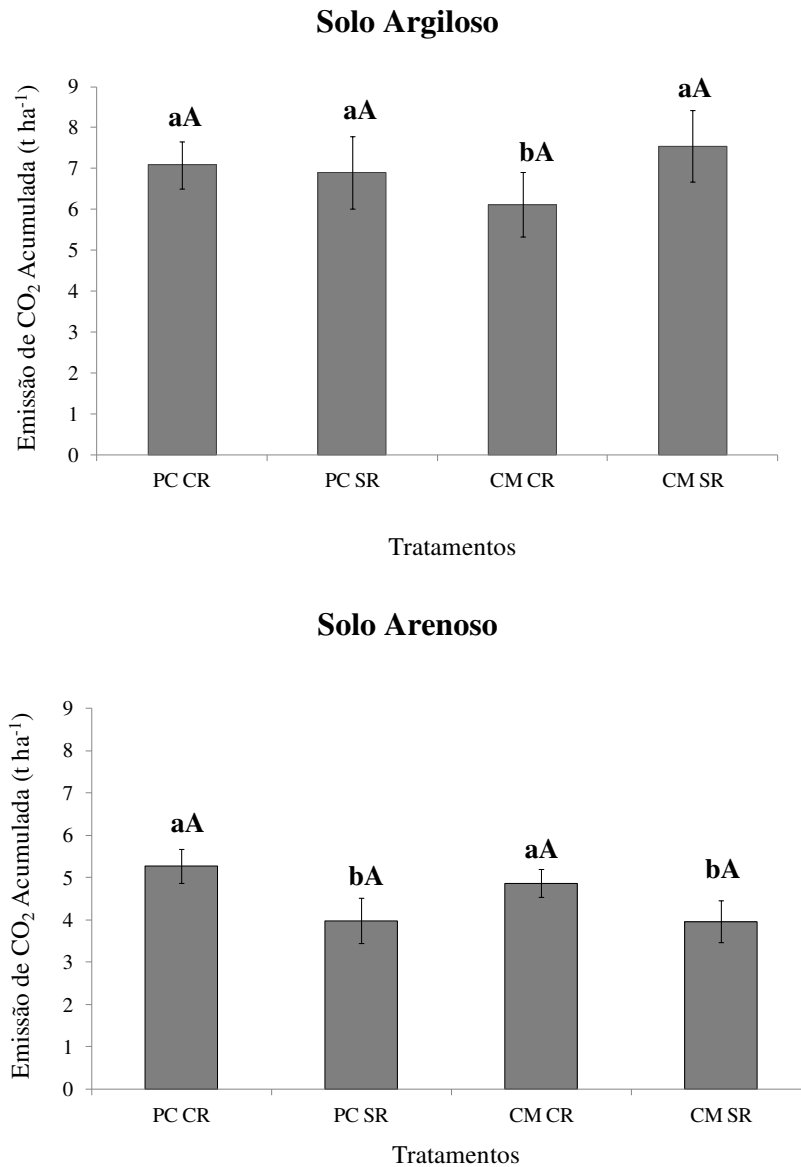


Figura 8. Emissões de CO₂ acumulados após o preparo do solo nos diferentes sistemas de manejos na área experimental de solo argiloso e arenoso. PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas. Letras minúsculas comparam a utilização da rotação de culturas, dentro de cada sistema de preparo do solo estudado. Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo, dentro da utilização de rotação de culturas, para cada tratamento estudado, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

6.4 Atributos físicos e microbiológicos do solo

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov mostraram normalidade dos dados para todos os atributos avaliados ($p < 0,05$). Na Tabela 7 estão os dados das interações entre a rotação de culturas e o sistema de preparo do solo empregado.

Tabela 7. Valores médios dos atributos físicos e microbiológico nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).

Variável	Rotação de Culturas x Preparo do Solo				CV
	PCCR	PCSR	CMCR	CMSR	
Solo Argiloso					
CBM	534 aA	613 aA	616 aA	668 aA	10,87
Ds	1,09 aA	1,14 aA	0,98 bA	1,16 aA	4,86
DMP	1,66 aA	1,23 aA	1,03 bB	1,41 aA	15,06
PT	0,62 aA	0,59 aA	0,64 aA	0,58 bB	7,13
Macro	0,11 aA	0,08 bA	0,10 aA	0,05 bB	17,65
Micro	0,51 aA	0,52 aA	0,54 aA	0,52 aA	9,66
RP	2,16 aA	2,28 aB	2,16 bA	3,37 aA	13,75
RT	146 aA	168 aA	150 aA	159 aA	18,61
Solo Arenoso					
CBM	388 aA	321 bA	396 aA	340 bA	8,66
Ds	1,57 aA	1,67 aA	1,62 aA	1,71 aA	3,85
DMP	0,52 aA	0,37 aA	0,65 aA	0,50 aA	30,31
PT	0,37 aA	0,34 bA	0,34 aB	0,33 bA	4,25
Macro	0,18 aA	0,12 bA	0,14 aB	0,08 bB	11,69
Micro	0,19 bA	0,23 aA	0,20 bA	0,25 aA	6,07
RP	0,78 bA	1,11 aB	0,82 bA	1,28 aA	9,21
RT	58,59 aA	45,10 bA	54,29 aA	51,69 aA	7,26

PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas; CBM = carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Ds = densidade do solo (kg m^{-3}); DMP = diâmetro médio ponderado (mm); PT = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Macro = macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Micro= microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); RP= resistência do solo à penetração (MPa); RT = resistência tênsil do agregado (kPa); CV = coeficiente de variação (%). Letras minúsculas comparam a utilização da rotação de culturas, dentro de cada sistema de preparo do solo estudado. Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo, dentro da utilização de rotação de culturas, para cada tratamento estudado, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferenças ($p < 0,05$) entre os valores médios de carbono da biomassa microbiana (CBM) na área de solo argiloso (Tabela 7). No solo arenoso, tanto as áreas de preparo convencional como as de cultivo mínimo apresentaram diferença com relação ao uso

da rotação de culturas, onde foi possível observar menores valores de CBM nas áreas sem rotação de culturas.

A densidade do solo no solo argiloso apresentou diferença entre as áreas de cultivo mínimo com e sem rotação (Tabela 7), sendo encontrados os menores valores nas áreas de cultivo mínimo com rotação, $0,98 \text{ kg m}^{-3}$ e, maiores, $1,16 \text{ kg m}^{-3}$, na área de cultivo mínimo sem rotação ($p < 0,05$). Em relação ao solo arenoso não houve diferenças entre os atributos avaliados.

Houve diferença entre as áreas de cultivo mínimo com e sem rotação onde as áreas de cultivo mínimo sem rotação de culturas apresentaram valores de diâmetro médio ponderado (DMP) de 27,66% superiores as áreas de cultivo mínimo com rotação (Tabela 7). Na área de solo arenoso não houve diferença entre os tratamentos, provavelmente em função do alto coeficiente de variação obtido para esse atributo.

A porosidade total (PT), por sua vez, foi influenciada em função do uso da rotação de culturas na área de textura argilosa, onde, as áreas de CMCR apresentaram os maiores valores de PT em relação às áreas de CMSR (Tabela 7). Na área de solo arenoso, houve diferença entre as áreas de PCCR e PCSR na ordem de 8,10%, e entre as áreas de CMCR e CMSR na ordem de 2,94%. Verificou-se diferença entre os sistemas de preparo do solo nas áreas com rotação de culturas, se destacando o preparo convencional com relação ao cultivo mínimo.

Observa-se que tanto no solo argiloso como no arenoso, as áreas com rotação de culturas apresentaram volume de macroporos superiores as áreas sem rotação de culturas (Tabela 7). Também houve diferença entre os sistemas de preparo de solo em ambas as áreas. Na área de solo argiloso o sistema de preparo convencional apresentou maior macroporosidade em relação ao cultivo mínimo na área sem rotação de culturas. Na área de solo arenoso ocorreu o mesmo, o preparo convencional se destacou em relação o mínimo, no entanto, nas áreas com rotação de culturas.

Não verificou efeito da rotação de culturas e do sistema de preparo do solo na microporosidade da área de textura argilosa (Tabela 7). Porém, na área arenosa observa-se valores de microporosidade nas parcelas com rotação de culturas 21% inferiores aqueles registrados nas áreas sem rotação.

Os maiores valores de resistência do solo à penetração (RP) no solo argiloso foram observados nas áreas de cultivo mínimo sem rotação (3,37 MPa), sendo superior aos valores

obtidos na área de cultivo mínimo com rotação, 2,16 MPa e, preparo convencional sem rotação 2,28 MPa (Tabela 7). Comparando os resultados de RP na área de solo arenoso, verifica-se que o tratamento de cultivo mínimo sem rotação apresentou diferença em relação aos demais tratamentos, 1,28 MPa. Nota-se ainda que em ambas as áreas os maiores valores de RP do solo foram obtidos nos tratamentos sem rotação de culturas, sendo essa diferença de 22% para o solo argiloso e 33% para o solo arenoso.

Os valores médios de resistência tênsil (RT) observados no solo argiloso não sofreram influência dos tratamentos utilizados (Tabela 7). Contudo, na área de solo arenoso, as áreas de preparo convencional com e sem rotação se diferenciaram entre si, apresentando na área de preparo convencional RT 23% superior à área sem rotação.

6.5 Atributos químicos do solo

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov mostraram normalidade dos dados para todos os atributos químicos avaliados ($p < 0,05$) (Tabela 8). As alterações nos atributos químicos foram mais intensas no solo argiloso podendo ser observado variação para os atributos Al, P, CO, CTC e V%. No solo arenoso foi observada variação significativa apenas para os dados dos atributos Al e Ca.

Observa-se que na área de solo argiloso, a área de cultivo mínimo com rotação de culturas apresentou maiores valores de Al trocável, 60% superior à área sem rotação de culturas (Tabela 8). Nas áreas de solo arenoso, as áreas de preparo convencional com e sem rotação de culturas apresentaram valores superiores de Al ($0,15$ e $0,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente) em relação às áreas de cultivo mínimo com e sem rotação de culturas.

Na área de solo arenoso houve diferença para o teor de Ca disponível (Tabela 8). Sendo que as áreas com cultivo mínimo sem rotação apresentaram valores superiores, 27,21%, em relação às áreas de preparo convencional sem rotação de culturas. Analisando os dados de fósforo trocável na área de solo argiloso, observa-se que as áreas de preparo convencional com rotação apresentaram maiores valores em relação às áreas de preparo convencional sem rotação de culturas e cultivo mínimo com rotação de culturas. Na área de solo arenoso, não foi observada diferença entre os tratamentos.

Em relação ao carbono orgânico (CO) na área de solo argiloso, as áreas de preparo convencional com rotação de culturas apresentam valores superiores em relação às áreas de

preparo convencional sem rotação de culturas e cultivo mínimo com rotação de culturas (Tabela 8). Observa-se que as áreas de preparo convencional sem rotação obtiveram os menores valores de CO, 19,33 g dm⁻³, sendo 17,14% inferior as áreas de preparo convencional com rotação de culturas, 7,95% inferior ao cultivo mínimo sem rotação de culturas e 6,43% inferior ao cultivo mínimo com rotação de culturas. As áreas de solo argiloso apresentaram valores superiores de CO em relação ao solo de textura arenosa.

Tabela 8. Valores médios dos atributos químicos do solo nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).

Variável	Rotação de culturas x Preparo do solo				CV
	PCCR	PCSR	CMCR	CMSR	
Solo Argiloso					
pH	4,37 aA	4,63 aA	4,53 aA	4,7 aA	2,61 aA
Al	0,32 aA	0,25 aA	0,50 aA	0,20 bA	26,58
Ca	2,40 aA	2,33 aA	2,17 aA	2,57 aA	14,74
Mg	1,03 aA	1,17 aA	1,03 aA	1,20 aA	13,78
K	1,80 aA	1,63 aA	1,63 aA	1,58 aA	23,79
P	54,50 aA	20,00 bA	26,50 aB	24,67 aA	14,77
CO	2,03 aA	2,04 aA	2,04 aA	1,75 bB	3,71
Estoque de C	88,68 aA	78,91 bA	89,14 aA	76,22 bB	6,54
CTC	10,83 aA	9,87 bA	10,30 aB	9,98 aA	2,01
V	48,29 aA	51,97 aA	46,89 bA	53,57 aA	10,35
Solo Arenoso					
pH	4,70 aA	4,55 aA	4,72 aA	4,72 aA	2,99
Al	0,15 aA	0,20 aA	0,00 aB	0,00 aB	52,16
Ca	1,33 aA	1,07 bB	1,35 aA	1,47 aA	8,38
Mg	0,5 aA	0,45 aA	0,63 aA	0,50 aA	17,38
K	0,16 aA	0,14 aA	0,12 aA	0,13 aA	18,5
P	16,5 aA	13 aA	15,33 aA	11,25 aA	27,5
CO	0,66 aA	0,59 bA	0,62 aB	0,57 bB	3,06
Estoque de C	41,47 aA	37,00 bA	38,76 aB	35,51 bB	4,93
CTC	4,61 aA	4,61 aA	4,69 aA	4,43 aA	8,06
V	43,16 aA	36,01 aA	44,78 aA	47,04 aA	16,47

PCCR = preparo convencional com rotação de culturas; PCSR = preparo convencional sem rotação de culturas; CMCR = cultivo mínimo com rotação de culturas; CMSR = cultivo mínimo sem rotação de culturas; pH em CaCl₂; Al = alumínio (cmol_c dm⁻³); Ca = cálcio (cmol_c dm⁻³); Mg = magnésio (cmol_c dm⁻³); K = potássio (cmol_c dm⁻³); P = fósforo extraído pelo método resina (mg dm⁻³); CO = carbono orgânico (g dm⁻³); Estoque de C = estoque de carbono (Mg C⁻¹ ha⁻¹); CTC = capacidade de troca de cátions (cmol_c dm⁻³); V = saturação por bases (%); CV = coeficiente de variação (%). Letras minúsculas comparam a utilização da rotação de culturas, dentro de cada sistema de preparo do solo estudado. Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo, dentro da utilização de rotação de culturas, para cada tratamento estudado, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na área de solo argiloso, as áreas com rotação de culturas apresentaram maior estoque de carbono que as áreas sem rotação de culturas (Tabela 8). Sendo registrado o maior estoque

carbono na área de CMCR e menor estoque de carbono no tratamento de CMSR. Na área de solo arenoso, ocorreu o mesmo comportamento, onde as áreas com rotação de culturas apresentaram estoque de carbono em média 9% superior as áreas sem rotação de culturas.

Os valores de CTC na área de solo argiloso variaram de $9,87 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ a $10,83 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 8). O preparo convencional com rotação de culturas apresentou valores superiores aos demais tratamentos para esse atributo. Em relação à saturação por bases o tratamento com cultivo mínimo com rotação de culturas obteve o menor valor em relação ao cultivo mínimo sem rotação, sendo 12,46% inferior.

6.6 Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emissão de CO₂ e atributos do solo

Na área de solo argiloso observou correlação direta entre emissão de CO₂ e a umidade do solo ($r = 0,63$) (Tabela 9). Esses resultados indicam que o teor de água no solo, variou dentro de um intervalo em que seu aumento resultou em maior atividade microbiana sem, contudo, limitar a oxigenação do solo.

Tabela 9. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emissão de CO₂ e atributos do solo nos diferentes sistemas de manejos nas áreas experimentais com solo argiloso (Iracemápolis) e arenoso (Nova Europa).

Variável		Solo Argiloso	Solo Arenoso
Microbiológica	CBM	0,16	0,56*
	Us	0,63**	0,10
	Ts	-0,37	-0,32
	Ds	-0,24	-0,52*
	DMP	0,37	0,42
	PT	0,02	-0,35
	Macro	-0,25	0,62*
	Micro	0,19	-0,72**
	RP	0,50	-0,35
	RT	-0,16	0,62*
Física	pH	0,31	0,45
	H+Al	0,05	-0,13
	Al	-0,60*	-0,03
	Ca	0,34	0,16
	Mg	0,26	0,42
	K	0,01	0,31
	P	0,06	0,58*
	CO	0,30	0,31
	CTC	-0,22	0,40
	V%	0,62*	0,41

CBM = carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$); Us= Umidade do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Ts= Temperatura do solo ($^{\circ}\text{C}$); Ds = densidade do solo (kg m^{-3}); DMP = diâmetro médio ponderado (mm); PT = porosidade total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Macro = macroporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Micro = microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); RP = resistência do solo à penetração (MPa); RT = resistência tênsil do agregado (kPa); pH em CaCl_2 ; Ca = cálcio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); Mg = magnésio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); K = potássio ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); P = fósforo extraído pelo método resina (mg dm^{-3}); CO = carbono orgânico (g dm^{-3}); CTC = capacidade de troca de cátions ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); V = saturação por bases (%); CV = coeficiente de variação (%). Letras minúsculas comparam a utilização da rotação de culturas, dentro de cada sistema de preparo do solo estudado. Letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo do solo, dentro da utilização de rotação de culturas, para cada tratamento estudado, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. *Valores significativos do coeficiente de correlação ($p < 0,05$); ** Valores significativos do coeficiente de correlação ($p < 0,01$).

Na área de solo arenoso verificou maior número de correlações entre a emissão de CO₂ e os atributos físicos do solo em relação à área de solo argiloso (Tabela 9). Os resultados obtidos demonstram baixa correlação da emissão de CO₂ com a Us, Ts, DMP, PT e RP, indicando pouca influência desses atributos na emissão de CO₂. No entanto, verificou-se correlação direta entre emissão de CO₂ e macroporosidade ($r = 0,62$) e RT ($r = 0,62$) e correlações inversas com a microporosidade do solo ($r = -0,72$) e Ds ($r = -0,52$).

Em relação aos atributos químicos do solo, a área de solo argiloso apresentou correlação positiva com a saturação por bases (V%), ($r = 0,62$) e negativa com o alumínio trocável (Al) ($r = -0,60$) ambos diretamente relacionados à fertilidade do solo e consequentemente a atividade dos microrganismos. Na área de solo arenoso foi encontrada correlação apenas entre a emissão de CO₂ e o fósforo trocável (P) ($r = 0,58$).

7. DISCUSSÃO

7.1 Efeito da umidade e temperatura solo na emissão de CO₂

Com base nos resultados de temperatura, umidade do solo e emissão de CO₂ apresentados nas Figuras 6 e 7, observa-se comportamento semelhante entre esses atributos, principalmente nos primeiros dias após o preparo do solo em ambas as áreas experimentais. A influência da temperatura e umidade do solo nas emissões de CO₂ foi relatada por diversos autores (KOSUGI et al., 2007; PANOSSO et al., 2008; SIQUEIRA NETO et al., 2011; LENKA; LAL, 2013; SONG et al., 2013). De acordo com Smith et al. (2003) a temperatura e umidade do solo geram efeito direto sobre a emissão de CO₂. Reth et al. (2005), analisando a influência de temperatura do solo, umidade do solo, pH e massa de raízes na emissão de CO₂, verificaram que a temperatura e umidade do solo são os fatores mais importantes que influenciam a emissão de CO₂ do solo.

No entanto nesse estudo, não foi observada correlação entre a emissão de CO₂ e a temperatura do solo, uma vez que, durante o período experimental a temperatura do solo apresentou pequenas variações e manteve-se próxima a temperatura ideal para a atividade microbiana nas áreas estudadas (Figura 6B e 7B). O mesmo ocorreu em outros estudos realizados no estado de São Paulo por La Scala et al. (2006), Panosso et al. (2009) e Silva-Olaya et al. (2013) que registraram temperaturas médias em torno de 27, 20 e 23 °C, respectivamente. Por outro lado, a umidade do solo apresentou maior variação durante o período experimental nos solos argiloso e arenoso (Figuras 6A e 7A), demonstrando maior influência deste atributo na emissão de CO₂.

A ação conjunta da temperatura do solo ótima, o teor de água no solo e a exposição da matéria orgânica, ocasionada pelo revolvimento do solo ou sulcação, influenciaram a emissão de CO₂, nos primeiros dias após o preparo. Porém, nesse trabalho, alguns dias após o preparo esse comportamento diminuiu tanto no solo argiloso como no solo arenoso. Segundo Panosso et al. (2006) centenas de quilogramas de carbono por hectare podem ser transferidos para a atmosfera na forma de CO₂, nas primeiras semanas após as operações de preparo do solo.

Avaliando o comportamento das emissões de CO₂ após as práticas de preparo do solo convencional e reduzido, Panosso et al. (2006), verificaram que a emissão de CO₂ apresentou grandes variações, ocorrendo uma tendência geral de queda ao longo dos dias após o preparo.

La Scala et al. (2006), quantificaram a emissão de CO₂ influenciado pelo preparo do solo e, observaram redução alguns dias após o plantio, mesmo com a ocorrência de precipitação. Tal fato provavelmente é consequência do decréscimo do carbono lábil ocasionado pelo preparo do solo, uma vez que a atividade microbiana do solo é limitada pelo carbono (ZAK et al., 2000; SWANSTON et al., 2002; DE GRYZE et al., 2004; TEIXEIRA et al., 2010).

A escassez de precipitações durante a realização do experimento e o baixo conteúdo de argila na área de solo arenoso ocasionou umidade do solo 50% inferior à área de solo argiloso (Figuras 6A e 7A). Tal fato, associado com o menor conteúdo de matéria orgânica do solo, provavelmente foram os fatores limitantes da emissão de CO₂, uma vez que, a emissão média diária na área de solo arenoso foi 51% menor que na área de solo argiloso. Com esses resultados, pode-se inferir que, nas áreas e locais amostrados, os solos com textura argilosa apresentam maior microporosidade e maior capacidade de armazenamento de água que os solos de textura arenosa. Resultados semelhantes foram observados por Beutler et al. (2002) estudando a retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes classes texturais.

Apenas a área de solo argiloso apresentou correlação direta ($r = 0,63$) entre a emissão de CO₂ e a umidade do solo (Tabela 9). Correlações diretas entre a umidade e a emissão de CO₂ foram encontrados em outros estudos sob diferentes condições de solo (LA SCALA et al., 2006; CORRADI et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2013).

A ausência de correlação na área de solo arenoso provavelmente ocorreu em função dos baixos valores de umidade registrados, que variaram de 5,6 a 6,9% (Figura 7A). De acordo com Vicent et al. (2006) os valores ótimos de umidade do solo variam entre 25% e 40%, acima desta faixa a emissão de CO₂ é limitado pelo excesso de água e falta de oxigênio no solo e, abaixo limita a respiração do solo pela seca. As variações da umidade no solo arenoso foram todos abaixo dos valores considerados ótimos, sendo limitante durante todo o período experimental.

Além da questão hídrica, outro fator que pode ter limitado a emissão de CO₂ na área de solo arenoso são aspectos nutricionais, pois este solo apresentava menores conteúdos de nutrientes, como menores teores de carbono orgânico e estoque de carbono que a área de solo argiloso (Tabela 8). La Scala et al. (2000b) investigando as emissões de CO₂ e suas correlações com os atributos do solo na região tropical desprovido de vegetação, observaram

que a emissão de CO₂ do solo foi linearmente correlacionado com a CTC do solo, com o carbono total.

Em relação aos tratamentos, no solo argiloso, a área de CMCR apresentou umidade média 8,43% superior à área de CMSR, demonstrando efeito positivo da rotação de culturas na retenção de água no solo. Essa mesma observação tem sido relatada por diversos autores, onde maiores valores médios de umidade têm sido observados em sistemas de manejo que envolve menores perturbações e presença resíduos culturais sobre a superfície do solo (MOITINHO et al., 2013; SILVA-OLAYA et al., 2013; CAMPOS, et al., 2011).

No solo arenoso o tratamento PCSR apresentou a menor umidade média. Provavelmente devido à perturbação física do solo causada pelo preparo convencional. Segundo Silva-Olaya et al. (2013) a mobilização do solo ocasionada pelo preparo expõe maior área de superfície do solo à atmosfera, proporcionando maior área de evaporação e, consequentemente, maior perda de água. Logo, sistemas de preparo do solo que envolve menores perturbações físicas ajudam a manter ou conservar a umidade do solo.

7.2 Efeitos dos atributos do solo sobre as emissões de CO₂ no solo

7.2.1 Solo argiloso

Por meio da análise da emissão de CO₂ na linha e na entrelinha de plantio da cana-de-açúcar, nota-se que em todos os tratamentos da área de solo argiloso as emissões na linha foram superiores as emissões da entrelinha ($p < 0,05$) (Tabela 6). Este padrão indica que a alta mobilização do solo causada pela sulcação, somada a respiração do sistema radicular da cana-de-açúcar que se forma dentro do sulco são importantes contribuintes para a variabilidade da respiração do solo.

O estudo de Reth et al. (2005) demonstraram que a presença de raízes finas afetou significativamente a emissão de CO₂, havendo correlação em quase todos os tratamentos, onde amostras com maior massa de raízes apresentaram maior emissão de CO₂. Janssens et al. (1998) verificaram que a respiração das raízes pode ser responsável por metade da emissão de CO₂ do solo. Drescher et al. (2011) avaliaram o efeito de intervenções mecânicas com a mobilização de solo em um área manejada com o sistema plantio direto e, observaram que a sulcação para a semeadura das culturas de inverno e verão, promoveram a mobilização de toda

a camada superficial. Como reflexo desse processo, não houve expressão do efeito dos tratamentos em nenhum dos atributos avaliados. Genro Junior et al. (2004) apontam uma mobilização de cerca de 30% do solo a cada operação de sulcação, em áreas com espaçamento entrelinhas da ordem de 0,17 m.

Além disso, a adubação realizada diretamente no sulco durante o plantio da cana-de-açúcar também pode ter contribuído para maiores emissões de CO₂ na linha de plantio. Embora esta seja uma prática comum e necessária, a disponibilidade de nutrientes proporcionada pela adubação cria um ambiente mais favorável à atividade dos microrganismos e conseqüentemente ao aumento das emissões de CO₂ (BRADY; WELL, 2008).

Nesse trabalho, o efeito dos diferentes preparos de solo pode ser visualizado somente na entrelinha de plantio, uma vez que tanto as linhas do preparo convencional como as do cultivo mínimo foram sulcadas para o plantio da cana. No início do experimento, cinco meses antes do período de avaliação da emissão de CO₂, a área total foi submetida a uma subsolagem, devido à detecção durante a caracterização de uma camada compactada que poderia limitar o crescimento de raízes no ciclo subsequente. Logo, no tratamento de cultivo mínimo, especificamente na entrelinha, há reflexos apenas desta operação de preparo na emissão de CO₂. Porém, no tratamento de preparo convencional as entrelinhas foram submetidas a esta operação e a duas gradagens, refletindo os efeitos dessas operações agrícolas na emissão de CO₂.

O tratamento CMCR apresentou a menor emissão de CO₂ na entrelinha de plantio 79,39 kg ha⁻¹ dia⁻¹, conseqüentemente apresentou a menor emissão de CO₂ acumulada em comparação aos demais tratamentos 6,12 t ha⁻¹ (p < 0,05) (Figura 8). A emissão de CO₂ obtido neste solo está na mesma ordem de grandeza do observado em outros solos argilosos. Por exemplo, La Scala et al. (2006), quantificaram o efeito do preparo do solo sobre a emissão de CO₂ na região de Ribeirão Preto, São Paulo e observaram emissão de CO₂ de 8,95 t ha⁻¹ nos tratamentos de cultivo mínimo durante os 27 dias de avaliação. Silva-Olaya et al. (2013) avaliaram a adoção de diferentes sistemas de preparo do solo em área de cana-de-açúcar na mesma região do presente estudo e observaram menor emissão de CO₂ nos sistemas de preparo que envolveram menor revolvimento de solo, onde o cultivo mínimo apresentou emissão de CO₂ de 5,37 t ha⁻¹ durante 44 dias de avaliação.

Os valores de emissão de CO₂ do solo obtidos nesse estudo demonstram os efeitos da rotação de culturas e do preparo do solo conforme condições reais de campo, uma vez que nas parcelas experimentais estudadas existia a presença de plantas de cana-de-açúcar. Desse modo, a emissão de CO₂ avaliada é resultante tanto da respiração das raízes das plantas como da atividade microbiana do solo. La Scala et al. (2006) e Silva-Olaya et al. (2013) avaliaram apenas o efeito da atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica do solo, sem considerar a emissão de CO₂ proveniente da respiração de raízes, devido a ausência de plantas na área experimental durante o período de avaliação.

A área de CMCR apresentou a menor emissão de CO₂ quando comparada a área de CMSR. Analisando os atributos físicos e químicos entre esses dois tratamentos que poderiam contribuir com esse resultado, observa-se maior umidade, menor densidade do solo e resistência do solo à penetração, maior porosidade total e macroporosidade, maior estoque de carbono nas áreas de CMCR (Tabelas 7 e 8), porém, essas condições não são consideradas limitantes para a produção e transporte de CO₂.

No entanto, apesar do tratamento CMCR ter apresentado macroporosidade superior ao CMSR, seus valores estão muito próximos ao limite de 0,10 m³ m⁻³ considerado crítico a aeração do solo (TORMENA et al., 1998; OLIVEIRA et al., 2007; SEVERIANO et al., 2008). Logo, supõe-se que a maior umidade no CMCR tenha contribuído para uma menor disponibilidade de O₂ no espaço poroso do solo nesse tratamento, dificultando o transporte CO₂ produzido na subsuperfície até a superfície (XU; QI, 2001; LEE et al., 2002; RETH et al., 2005).

Somado a isso o tratamento de CMCR também apresentou menor DMP em relação a áreas de CMSR. Provavelmente a diminuição do tamanho médio dos agregados nas áreas de CMCR ocasionou diminuição no espaço poroso entre os agregados, comprometendo as taxas de difusão de oxigênio disponível aos microrganismos e o transporte do CO₂ até a superfície. Segundo Calonego e Rosolem (2008), os solos com agregados de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores, pois a agregação facilita a aeração do solo e as trocas gasosas em função do aumento da macroporosidade entre os agregados.

Em contraste ao tratamento CMCR, o tratamento CMSR apresentou a maior emissão de CO₂ na entrelinha de plantio com valor de 108,24 kg ha⁻¹ dia⁻¹ (Tabela 6). Em consequência, este tratamento apresentou a maior emissão de CO₂ acumulada, 7,54 t ha⁻¹

(Figura 8). Moitinho et al. (2013) estudando o efeito do preparo do solo e da deposição de resíduos da cultura da cana-de-açúcar na emissão de CO₂, durante a reforma do canavial, verificaram que os valores de emissão de CO₂ acumulada durante os 15 dias de estudo, demonstraram que o sistema de manejo sem preparo e com resíduos culturais da cana foi responsável pela menor emissão de CO₂ acumulada (0,37 t ha⁻¹), diferindo dos manejos sem preparo e sem resíduos de cultura (0,50 t ha⁻¹) e com preparo e sem resíduo de cultura (0,53 t ha⁻¹). Os autores apontam que as diferenças encontradas entre os manejos ocorreram em função da retirada da palha da superfície do solo.

Analisando apenas o efeito do preparo do solo entre os tratamentos PCCR, CMCR, PCSR e CMSR, observa-se que não houve efeito dos diferentes sistemas de preparo do solo empregados (Figura 8). A realização de subsolagem em área total, realizada antes da instalação dos tratamentos, pode ter ocasionado esta falta de diferença entre os tratamentos, uma vez esta prática de manejo rompe as camadas compactadas de solo e aumenta o grau de oxigenação.

A elevada mobilização de solo ocasionada pelo sulco de plantio também pode ter contribuído para a ausência de diferença entre os tratamentos, devido as grandes dimensões que este apresenta (0,40 x 0,30 m). Campos et al. (2011) por meio de um experimento de longa duração realizado em um Latossolo Vermelho, em Cruz Alta-RS, observaram que a emissão de CO₂ média anual não diferiu entre os sistemas convencional e plantio direto. Corroborando com estes resultados, Moitinho et al. (2013), observam valores muito semelhantes entre as áreas com preparo e sem preparo, indicando que o preparo do solo como fator isolado não influenciou em maiores taxas de emissão de CO₂. Por outro lado, La Scala et al. (2006) avaliaram o efeito de arado de aiveca com grade de discos e escarificação sobre a emissão de CO₂ e, apontaram que 30% de entrada de carbono do solo por meio dos resíduos de colheita poderia ser perdidos após arar solos tropicais.

7.2.2 Solo Arenoso

Na área de solo arenoso houve um comportamento diferente (Tabela 6). As áreas com rotação de culturas não apresentaram diferença entre a emissão de CO₂ emitida na entrelinha e na linha ($p < 0,05$), sendo a emissão de CO₂ na entrelinha tão grande quanto na linha de

plantio. Como resultado, as áreas com rotação de culturas apresentaram maior emissão de CO₂ média diária e maior emissão de CO₂ acumulada que as áreas sem rotação de culturas.

Possivelmente, os resíduos culturais com baixa relação C/N adicionados pela rotação de culturas, foram usados como fonte de energia pela biomassa microbiana proporcionando uma emissão de CO₂ na entrelinha tão expressiva quanto na linha de plantio da cana-de-açúcar (Tabela 6). Corroborando com essa hipótese, Campos et al. (2011), verificaram que a adição de carbono lábil proporcionado pelos resíduos culturais provenientes da rotação de culturas, são usados como fonte de energia pela biomassa microbiana, onde a maior parte deste carbono é perdido na forma de CO₂ durante o processo de decomposição.

Analizando os dados microbiológicos, físicos e químicos dos tratamentos com rotação de culturas (Tabela 7), constatamos alterações em alguns atributos que favorecem a emissão de CO₂ no solo, são eles: maior carbono da biomassa microbiana, porosidade total e macroporosidade e, menor quantidade de microporos e resistência do solo à penetração.

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi superior nas áreas com rotação de culturas, apresentando valores 16% maiores que as áreas sem rotação de culturas ($p < 0,05$) (Tabela 7). Certamente, o aumento da oferta de compostos proporcionados pela rotação de culturas foi capaz de estimular a formação de biomassa microbiana nessas áreas. Além disso, o CBM e a emissão de CO₂ apresentaram correlação direta ($r = 0,56$) na área de solo arenoso, indicando um aumento da emissão em função do CBM. Bezerra et al. (2008) encontraram correlação direta entre o a emissão de CO₂ do solo e o CBM ($r = 0,80$). Estudo de Xu e Qi (2001) comprovaram a relação direta entre a emissão de CO₂ e CBM durante monitoramento de ambos os atributos.

A produção e transporte de CO₂ no solo são dois fatores que governam a emissão de CO₂, do interior do solo até atingir a superfície, logo, atributos relacionados a esses processos afetam diretamente a emissão de CO₂ no solo. As áreas com rotação de culturas apresentaram maior quantidade de macroporos que as áreas sem rotação de culturas. Uma maior porosidade facilita a entrada de oxigênio no solo, favorecendo a respiração e, consequentemente, aumentando da emissão de CO₂.

Avaliando a influência de rotações de culturas nos atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho em plantio direto, Cunha et al. (2007), verificaram que a porosidade total e o teor de matéria orgânica do solo foram favorecidos pela rotação de culturas. Calonego e

Rosolem (2010), trabalhando com rotação de culturas de cobertura sob escarificação e plantio direto, verificaram aumento da macroporosidade nos cultivos de plantas de coberturas principalmente quando se utilizou a crotalária. Segundo os autores, esse resultado provavelmente está relacionado com o incremento no teor de matéria orgânica entre o primeiro e o terceiro ano de condução do experimento.

Corroborando com exposto acima, a macroporosidade apresentou correlação linear direta com a emissão de CO₂ ($r = 0,62$) e a microporosidade do solo apresentou correlação inversa ($r = -0,72$) altamente significativa com a emissão de CO₂, mostrando a influência da distribuição do tamanho de poros na emissão (Tabela 9). Brito et al. (2009), relataram que a emissão de CO₂ do solo foi maior na área que apresentou menor densidade do solo e resistência do solo à penetração, maior quantidade de agregados e macroporosidade do solo, onde a macroporosidade viabiliza a emissão de O₂ e CO₂ do solo.

Apesar, dos atributos densidade do solo e resistência do solo à penetração não terem se diferenciado entre áreas com e sem rotação (Tabela 7), eles também apresentaram correlação significativa ($r = -0,52$ e $r = 0,62$, respectivamente) com a emissão de CO₂ e estão diretamente relacionados à porosidade do solo. Epron et al. (2004) encontraram correlação negativa da densidade do solo com a emissão de CO₂ em solo de floresta na Guiana. Xu e Qi (2001) detectaram correlação significativa negativa da emissão de CO₂ com densidade do solo e pH.

Os maiores valores de correlação foram encontrados para a microporosidade do solo, possivelmente a variável com maior influência sobre a emissão de CO₂ neste estudo, seguido da macroporosidade, resistência tênsil do solo e densidade do solo (Tabela 9). Logo, a área que apresentou menor microporosidade, maior macroporosidade, maior resistência tênsil do agregado e menor densidade do solo foi aquela que apresentou a maior emissão de CO₂.

De modo geral, as alterações observadas nos atributos do solo nas áreas com rotação de culturas provavelmente foram provocados pela capacidade desse sistema em alterar o conteúdo de matéria orgânica do solo e consequentemente a porosidade do solo (Tabela 7). As áreas com rotação de culturas apresentaram maior porosidade total e macroporosidade e, menor microporosidade e resistência do solo à penetração, caracterizando melhores condições para o transporte de gases.

Em estudo sob a variabilidade espacial da emissão de CO₂ e atributos do solo em áreas de cana-de-açúcar colhida mecanicamente, Bicalho et al. (2014), observaram que o coeficiente

de correlação linear entre a emissão de CO₂ e os atributos do solo foi significativa ($p < 0,05$) para as variáveis relacionadas à porosidade do solo. Por outro lado, D'Andrea et al. (2010) não observaram correlação entre a emissão de CO₂ e nenhum dos demais atributos do solo avaliados (Ts, Us, PT, Ds e CBM). Os autores apontam que a emissão de CO₂ é um fenômeno de natureza complexa, não podendo ser explicado de maneira satisfatória por um único atributo do solo ou do ambiente.

Observou correlação direta entre a emissão de CO₂ e os teores de P trocável do solo ($r = 0,58$) (Tabela 9). Nordgren (1992) encontrou uma forte correlação ($r = 0,99$; $p < 0,01$) entre a taxa de respiração do solo e a adição de fósforo no solo. O autor concluiu que a falta deste elemento no solo pode impedir o crescimento dos microrganismos. No solo argiloso essa correlação provavelmente não ocorreu devido os teores de fósforo serem elevado em todos os tratamentos, não sendo limitante a emissão de CO₂ em nenhum momento.

7.3 Efeitos da rotação de culturas e preparo do solo nos atributos físicos

Não houve efeito dos sistemas de preparo do solo na densidade do solo (Ds) na área de solo argiloso, podendo ser observado apenas efeito da utilização da rotação de culturas (Tabela 7). A Ds foi superior no tratamento CMSR quando comparada ao CMCR, 1,16 e 0,98 kg m⁻³, respectivamente. Os menores valores de Ds na área CMCR provavelmente ocorreram em função da capacidade dos resíduos orgânicos provenientes da rotação de culturas diminuírem a densidade do solo (BRAIDA et al., 2006; VASCONCELOS et al., 2010). Garbiate et al. (2011), encontraram menores valores de Ds em áreas de cana-de-açúcar com maior aporte de resíduos orgânicos.

De acordo com Kiehl (1979) a densidade do solo é considerada ideal em um solo argiloso quando apresenta níveis que variam entre 1,0 e 1,2 kg m⁻³. No presente trabalho os valores de Ds no solo argiloso esteve abaixo de 1,20 kg m⁻³ (Tabela 7), logo, apesar de ter ocorrido diferença entre os tratamentos com CMCR e CMSR os valores de Ds estão adequados em todos os tratamentos de acordo com o intervalo proposto pelo autor.

Na área de solo arenoso a Ds não diferiu entre os tratamentos (Tabela 7). No entanto, verifica que a área com solo arenoso apresentaram valores de Ds superiores as encontradas no solo argiloso, este resultado confirma o exposto por Luca et al. (2008), em que a Ds aumenta com o aumento do teor de areia no solo. Cavalieri et al. (2011), trabalhando com três solo de

textura contrastante também encontraram variação nos valores de Ds em função da textura, sendo encontrados valores médios de Ds de 1,32, 1,74 e 1,74 Mg m⁻³, para o LV argiloso, LV textura média e PVA arenoso, respectivamente.

A porosidade total como a macroporosidade diferiram em relação à utilização da rotação de culturas e ao sistema de preparo do solo para área com solo argiloso (Tabela 7). Os maiores valores foram observados nas áreas com rotação de culturas. O incremento desses atributos do solo, quando submetido á sistemas com elevado aporte de material orgânico tem sido relatado por vários autores (ARGENTON et al., 2005; FONSECA et al., 2007; ANDRADE et al., 2009).

Os valores de macroporosidade encontrados no solo argiloso variaram de 0,05 a 0,11 m³ m⁻³ (Tabela 7). Observa-se que os valores de macroporosidade encontrados nas áreas sem rotação foram inferiores aos limites de 0,10 m³ m⁻³ satisfatórios para o desenvolvimento das plantas, como relatado por Tormena et al. (1998), Oliveira et al. (2007) e Severiano et al. (2008), caracterizando condições estruturais desfavoráveis ao pleno desenvolvimento das plantas.

O tratamento CMSR foi o que apresentou o menor valor de macroporosidade, 0,05 m³ m⁻³ na área de solo argiloso (Tabela 7). Menores valores macroporosidade são uma consequência normal desse sistema no qual prioriza a mínima mobilização possível do solo. Para minimizar os efeitos da falta de mobilização, é recomendado o uso da rotação de culturas, a qual diminui a densidade e aumenta a porosidade e a estabilidade de agregados do solo, conforme constatado Wohlenberg et al. (2004), no entanto no tratamento de CMSR essa prática de manejo não foi empregada, ocasionando maiores valores de Ds e RP e, menores valores de macroporosidade e PT quando comparado aos demais tratamentos.

A área de solo arenoso apresentou comportamento semelhante à área de solo argiloso (Tabela 7), pois as áreas com rotação de cultura apresentaram os maiores valores de porosidade total e macroporosidade demonstrando que o emprego da rotação de culturas favoreceu o desenvolvimento da macroporosidade e consequentemente da porosidade total. O único tratamento que apresentou valor de macroporosidade limitante no solo arenoso foi o tratamento CMSR, com macroporosidade de 0,08 m³ m⁻³.

Na área de solo arenoso a macroporosidade apresentou diferença entre os sistemas de preparo do solo avaliados, na qual as áreas de preparo convencional apresentaram maior

macroporosidade que as áreas de cultivo mínimo (Tabela 7). Silva Junior et al. (2013) apontam que a mobilização do solo proporcionada pelo preparo convencional promove melhores condições de aeração no solo. Silveira et al. (2001), avaliando os efeitos de alguns sistemas de preparo do solo na densidade e porosidade do solo, concluíram que a maior mobilização do solo pelo arado de aiveca proporcionaram menor densidade do solo, maior volume de macroporosidade e porosidade total.

A microporosidade do solo não respondeu às alterações das práticas de manejo na área de solo argiloso (Tabela 7). Porém, na área de solo arenoso, as áreas com rotação de culturas apresentaram menor microporosidade. Segundo Sá et al. (2000), em latossolos com maior aporte de material orgânico, a microporosidade geralmente é menor que nos mesmos solos sob outros sistemas agrícolas devido ao maior diâmetro de agregação. Apesar do DMP não ter se diferenciado estatisticamente é possível notar que as áreas com rotação de culturas apresentaram valores mais elevados desse atributo, quando comparadas as áreas sem rotação de culturas.

O tratamento de CMSR apresentou os maiores valores de RP tanto na área de solo argiloso como arenoso (Tabela 7). Tal fato pode estar associado à Ds, uma vez que esse tratamento apresentou os maiores valores desse atributo. Tormena et al. (2002) avaliaram alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico e, observaram que o sistema plantio direto apresentou maiores valores de RP que o preparo convencional e o cultivo mínimo, sendo o preparo convencional menor do que o cultivo mínimo.

A resistência tênsil do agregado (RT) variou de 168 a 146 kPa na área de solo argiloso e entre 45,10 e 58,59 kPa na área de solo arenoso (Tabela 7). Esses valores estão condizentes com os dados obtidos por Tomena et al. (2008), que obteve valores de 97,20 e 83,88 kPa nos anos de 2003 e 2004, respectivamente, em um Latossolo Vermelho distroférico submetido a rotação de culturas. Os autores justificam as diferenças nos valores de RT em solos com diferentes classes texturais, em função do conteúdo de CO e teor de argila que cada solo apresenta. Em solos que já apresentam teor de argila mais silte elevado, é a matéria orgânica do solo contribui para o aumento dos valores de RT.

Não houve diferença para a RT nos diferentes tratamentos da área de solo argiloso (Tabela 7). No entanto, na área de solo arenoso o tratamento PCSR apresentou menor RT quando comparado ao PCCR. Bavoso et al. (2010), estudaram o efeito de diferentes sistemas

de preparo do solo na resistência tênsil de agregados e, concluíram que as alterações macroestruturais provocadas por diferentes sistemas promoveram modificações na RT em razão do acúmulo de matéria orgânica do solo que cada sistema proporciona. Certamente as condições favoráveis à rápida oxidação da matéria orgânica do solo gerada pelo preparo convencional, somada a ausência de rotação de culturas nesse tratamento foram determinantes nos menores valores de RT obtidos por esse sistema.

8. CONCLUSÃO

A rotação de culturas promoveu aumento das emissões de CO₂ apenas na área de solo arenoso devido os resíduos de culturas provenientes da rotação de culturas terem modificado os atributos físicos que favoreceram a emissão de CO₂.

A emissão de CO₂ foi maior na área de solo argiloso em relação ao solo arenoso, sendo a emissão média diária na área de solo arenoso 51% menor que na área de solo argiloso.

Nas áreas de solo arenoso e argiloso o efeito do preparo foi pouco claro, tendo mais destaque a rotação de culturas sobre os atributos do solo.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados nesse trabalho estão relacionados a avaliações de atributos do solo em curto prazo, sendo necessário o acompanhamento desses atributos a médio e longo prazo, visto que estes podem sofrer alterações ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar e consequentemente, provocar diferentes respostas no solo.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIKU, S.G.K.; NARH, S.; JONES, J.W.; LARYEA, K.B.; DOWUONA, G.N. Short-term effects of crop rotation, residue management, and soil water on carbon mineralization in a tropical cropping system. **Plant Soil**, Dordrecht, v.311, n.1, p.29-38, 2008.

AMBROSANO, E.J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G.M.B; SCHAMMAS, E.A; FÁBIO LUIS FERREIRA DIAS, F.L.F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P.C.O.; MURAOKA, T.; SACHS, R.C.C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.4, p.810-818, 2011.

ANDERSON J. M. Responses of soils to climate-change. **Advances in Ecological Research**, London, v.22, n.1, p.163-210, 1992.

ANDRADE, R.S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.13, n.4, p.411-418, 2009.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.2, p.337-346, 2004.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.3, p.425-435, 2005.

ASSIS, R.; LANÇAS, K. Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.58-66, 2010.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, n.1, p.215-230, 2000.

BALOTA, E.L.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and c and n mineralization in a Brazilian oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.77, n.2, p.137-145, 2004.

BAVOSO, M.A.; GIAROLA, N.F.B.; FABIOLA, N.; TORMENA, C.A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.227-234, 2010.

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 CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.599-607, 2000.

BENEDINI, M.S.; CONDE, A.J. Sistematização de área para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, Guariba, v.5, n.1, p. 23-25, 2008.

BERTOL, I.; ALMEIDA J.A.; ALMEIDA E.X.; KURTZ C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.5, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.3, p.829-834, 2002.

BEZERRA, R. G. D.; SANTOS, T.M.C.; ALBUQUERQUE, L.S.; CAMPOS, V.B.; PRAZERES, S.S. Atividade microbiana em solo cultivado com cana-de-açúcar submetido a doses de fósforo. **Revista Verde**, Mossoró, v.3, n.4, p.64-69, 2008.

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 CO₂ emission and soil attributes in sugarcane area. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.189, n.1, p.206-215, 2014.

BILANDZIJA, D; ZGORELEC, Z; KISIĆ, I. Soil carbon loss by soil respiration under different tillage treatments. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, v.79, n.1, p.1-6, 2014.

BRADY, N.C.; WELL, R.R. **The nature and properties of soil**. 14th ed. New Jersey: Prentice Hall, p. 975, 2008.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

BRESSAN, S.B.; NÓBREGA, J.C.A.; NÓBREGA, R.S.A; BARBOSA R.S.; SOUSA, L.B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.4, p.371-378, 2013.

BRITO, L. F.; MARQUE JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.1, p.77-83, 2009.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.33, n.3, p.242-249, 2010.

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.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1986. 94p.

CAMPOS, B.C.; AMADO, T.J.C.; TORNQUIST, C.G.; NICOLOSO, R.S.; FIORIN, J.E. Long-term C-CO₂ 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.1, p.819-832, 2011.

CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; RUMJANEK, V.M.; OLIVARES, F.L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, London, v.61, n.1, p. 375-383, 2010.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.27, n.5, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H. **Sugarcane production**. In: COSER, T. R; DAVIS, M. J. (Eds.). **Biofuels: Reasonable steps towards a renewable energy future**. Brasília, DF, Brazil: Fulbright Commission Brazil, p. 27-37, 2010.

CARBONELL-BOJOLLO, R.M.; TORRES, M. A. R. R.; RODRÍGUEZ-LIZANA, A.; ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R. Influence of soil and climate conditions on CO₂ emissions from agricultural soils. **Water Air and Soil Pollut**, New York, v.223, n.1, p.3425-3435, 2012.

CARLISLE, E.A.; STEENWERTH, K.L.; SMART, D.R. Effects of land use on soil respiration: conversion of oak woodlands to vineyards. **Journal of Environmental Quality**, Davis, v.35, n.1, p.1396-1404, 2006.

CARPIM, L.; ASSIS, R.L.; BRAZ, A.J.B.P.; SILVA, G.P.; PIRES, F.R.; PEREIRA, V.C.; GOMES, G.V.; SILVA, A.G. Liberação de nutrientes pela palhada de milho em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.2813-2819, 2008.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2 p.277-289, 2010.

CARVALHO, L. A.; SILVA JUNIOR, C. A.; NUNES, W. A. G. A.; MEURER, I.; SOUZA JUNIOR, W. S. Produtividade e viabilidade econômica da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo no centro-oeste do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.34, n.1, p.199-211, 2011.

CASTRO, S.G.Q.; FRANCO, H.C.J.; MUTTON, M.A. Harvest managements and cultural practices in sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.299-306, 2014.

CAVALIERI, K. M. V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1541-1550, 2011.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W.E.; MELILLO, J.M.; CERRI, C.C. Tropical agriculture and global warming: Impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.1, p.83-99, 2007.

CERRI, C. E. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C. C.; VICTORIA, R. L.; MELLILO, J. M. Interrelationships among soil total C and N, microbial biomass, trace gas fluxes, and internal N-cycling in soils under pasture of the Amazon region. **Journal of Sustainable Agriculture**, Thessaloniki, v.27, n.1, p.45-69, 2006.

CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; CHAPLOT, V.; VOLKOFF, B.; VICTORIA, R.L.; MELLILO, J.M.; PAUSTIAN, K.; CERRI, C.C. Assessment of soil property spatial variation

in an amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. **Geoderma**, Amsterdam, v.123, n.1, p.51-68, 2004.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, quarto levantamento, Brasília, 2014 - **Companhia Nacional de Abastecimento**. Brasília: CONAB, 2014.

CORRADI, M. M.; PANOSSO, A. R.; MARTINS FILHO, M. V.; LA SCALA, N. Crop residues on short-term CO₂ emissions in sugarcane production areas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.699-708, 2013.

CRUZ, M, R. O; MAGALHÃES, M. M. Rotação de culturas e efeito sobre os custos na reforma de canavial na região da alta paulista. **IX Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.9, n.7 p.92-109, 2013.

CUNHA, Q. E.; BALBINO, L.C.; STONE, L.F.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA, G.C. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.665-674, 2007.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; CURI, N.; SILVA, C.A. Variação de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do co₂ do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.30, n.62, p.85-92, 2010.

DE GRYZE, S.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; MORRIS, S.J.; PAUL, E.A.; MERCKX, R. Soil organic carbon pool changes following land-use conversions. **Global Change Biology**, Illinois, v.10, n.1, p.1120-1132, 2004.

DENDOOVEN, L.; GUTIÉRREZ-OLIVA, V.F.; PATIÑO-ZÚÑIGA, L.; RAMÍREZ-VILLANUEVA, D.A.; VERHULST, N.; LUNA-GUIDO, M.; MARSCH, R.; MONTES-MOLINA, J.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.A.; VÁSQUEZ-MURRIETA, S.; GOVAERTS, B. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. **Science of the Total Environment**, Barcelona, v.431, n.1, p.237-244, 2012.

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Nova York, v.31, n.2, p.139-147, 1985.

DOMSCH, H.; EHLERT, D.; GIEBEL, A.; WITZKE, K. Evaluation of the soil penetration resistance along a transect to determinate the loosening depth. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v.7, n.1, p.309-326, 2006.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.713-1722, 2011.

DUARTE JÚNIOR, J.B.; COELHO C.F. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.723-732, 2008a.

DUARTE JUNIOR, J.B.; COELHO, F.C. A cana-de-açúcar em sistema de plantio direto comparado ao sistema convencional com e sem adubação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.576-583, 2008b.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2011, 230 p.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRE, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, J.; BONNEFOND, J. M.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a eucalyptus plantation in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.202, p.149-160, 2004.

EVANGELISTA, C.R.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, E.P.B.; PIRES, F.R. Atributos microbiológicos do solo na cultura da cana-de-açúcar sob manejo orgânico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, n.1, p.1549-1562, 2013.

EVANYLO, G.; McGUINN, M. R. **Agricultural management practices and soil quality: measuring, assessing, and comparing laboratory and field test kit indicators of soil quality attributes**. College of Agriculture and Life Sciences, Polytechnic Institute and State University. Virginia, v.1, 2009.

FANG, C.; MONCRIEF, J. B. A model for soil CO₂ production and transport 1: model development. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.95, n.4, p.225-236, 1999.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; MARCELO, A. V. Soil uses in the sugarcane fallow period to improve chemical and physical properties of two latosols (oxisols). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.1, p.283-294, 2012.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, n.1, p.22-30, 2007.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.92, n.1-2, p.18-29, 2007.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; LAL, R.; FEIGL, B.J.; CERRI, C.E.P. Net greenhouse gas fluxes in Brazilian ethanol production systems. **Global Change Biology Bioenergy**, Illinois, v.2, n.1, p.37-44, 2010.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.153, n.4, p.347-352, 2009.

GARBATE, M.V.; VITORINO, A.C.T.; TOMASINI, B.A.; BERGAMIN, A.C.; PANACHUKI, E. Erosão entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.2145-2155, 2011.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.3, p.477-484, 2004.

GOUTAL, N.; PARENT, F.; BONNAUD, P.; DEMAISON, J.; NOURISSON, G.; EPRON, D.; RANGER, J. Soil CO₂ concentration and efflux as affected by heavy traffic in forest in northeast France. **European Journal of Soil Science**, London, v.63, p.261-271, 2012.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K.D.; DECKERS J. Stable high yields with zero tillage and permanent bed planting. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.94, n.1, p.33-42, 2005.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K.D.; DECKERS J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of México. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, n.1, p.163-74, 2006.

GRANDY, A.S.; ROBERTSON, G.P.; THELEN, K.D. Productivity and environmental trade-offs justify periodically cultivating no-till cropping systems. **Agronomy Journal**, Madison, v.98, n.1, p.1377-1383, 2006.

JACOBS, A.; RAUBER, R.; LUDWIG B. Impact of reduced tillage on carbon and nitrogen storage of two haplic luvisols after 40 years. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.102, n.1, p.158-164, 2009.

JANSSENS, I. A.; CROOKSHANKS, M.; TAYLOR, G.; CEULEMANS, R. Elevated atmospheric CO₂ increases fine root production, respiration, rhizosphere respiration and soil CO₂ efflux in Scots pine seedlings. **Global Change Biology**. Malden, v.4, n.1, p.871-878, 1998.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.5, p.415-471, 1981.

JOHNSON, J.M.; FRANZLUEBBERS, A.J.; WEYERS, S.L.; REICOSKY, D.C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. **Environmental Pollution**, Amsterdam, v.150, n.1, p.107-124, 2007.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Part 1. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KOSUGI, Y.; MITANI, T.; ITOH, M.; NOGUCHI, S.; TANI, M.; MATSUO, N.; TAKANASHI, S.; OHKUBO, S.; NIK, A. R. Spatial and temporal variation in soil respiration in a southeast Asian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.147, n.1, p.35-47, 2007.

LA SCALA JR., N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; BOLONHEZI, D.; ARCHER, D.W.; D.C. REICOSKY, D.C. Short-temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, n.1, p.108-118, 2008.

LA SCALA JR., N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G.T. Short-term soil CO₂ 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, p.244-248, 2006.

LA SCALA JR., N.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; CORÁ, J.E. Short-term temporal changes in the spatial variability model of CO₂ emissions from a Brazilian bare soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.32, n.10, p.1459-1462, 2000a.

LA SCALA JR.; MARQUES JR.; N.J.; PEREIRA, G.T.; CORA, J.E. Carbon dioxide emission related to chemical properties of a tropical bare soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.32, n.1, p.1469-1473, 2000b.

LAL, R. Soil science and the carbon civilization. **Science Society of America Journal**, Madison, v.71, n.5, p.1425-1437, 2007.

LAL, R., soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v.304, n.1, p.1623-1627, 2004.

LEE, M.S.; NAKANE, K.; NAKATSUBO T. M. W.H.; KOIZUMI, H. Effects of rainfall events on soil CO₂ flux in a cool temperate deciduous broad-leaved forest. **Ecological Research**, Kyushu, v.17, n.1, p.401-409, 2002.

LAL, R. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.43, n.1, p.81-107, 1997.

LEITE, L.F.C.; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.12, p.1273-1280, 2010.

LENKA, N.K.; LAL, R. Soil aggregation and greenhouse gas flux after 15 years of wheat straw and fertilizer management in a no-till system. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.126, n.1, p.78-89, 2013.

LEPSCH, I.F.; SILVA, N.M.; SPIRONELO, A. Relação entre matéria orgânica e textura de solos sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.41, n.8, p.231-236, 1982.

LUCA, E. F.; FELLER, C.; CERRI, C.C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D.C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

MACHADO, V.; TELLES T. S.; TAVARES FILHO J.; GUIMARÃES M.F; ALVES, G. B.; BORGES J.L.B. Physical properties of a rhodic haplustox under two sugar cane harvesting systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.6, p.1803-1809, 2010.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; MENDES SILVA, W.; CARVALHO, J. M; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo à penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Revista Agrarian**, Dourados, v.2, n.6, p.21-32, 2009.

MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; FARIA, R.T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.397-405, 2009.

MIRANDA, J.M.; RIGONI, M.V.; SILVEIRA, F.T. Associação da crotalária com adubação orgânica e mineral na produtividade da cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n.6, p.948-953, 2011.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA JR., N. Efeito do preparo do solo e resíduo da colheita de cana-de-açúcar sobre a emissão de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.6, p.1720-1728, 2013.

MORARU, P.I.; RUSU, T. Soil tillage conservation and its effect on soil organic matter, water management and carbon sequestration. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, Helsinki, v.8, n.3-4, p.309-312, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. atual. Lavras: Editora UFLA, 2006, 729 p.

MORELL, F.J.; ÁLVARO-FUENTES, J.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid mediterranean agroecosystem: effects of tillage systems and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.139, n.1, p.167-173, 2010.

NORDGREN, A. A method for determining microbially available n and p in an organic soil. **Biology and Fertility of Soils**, Dordrecht, v.13, n.1, p.195-199, 1992.

OLIVEIRA G.C.; SEVERIANO, E.C.; MELLO, C.R. Dinâmica da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho da Microrregião de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.265-270, 2007.

OLIVEIRA, V.S.; ROLIM, M.M.; COSTA, Y.D.J.; PEDROSA, M.R.; SILVA, E.F.F. Compressibilidade de um Argissolo Amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campo Grande, v.15, n.5, p. 435, 2011.

OLIVEIRA NETO, A.M.; MACIEL, C.D.G.; GUERRA, N.; LIMA, G.G.R.; SOLA JÚNIOR, L.C. Manejo químico de adubos verdes para sucessão da cana-de-açúcar em sistema de cultivo mínimo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v.10, n.2, p.86-94, 2011.

OLIVEIRA, T.B.A.; SELIG, P. M.; BARBOSA, V. M.; CAMPOS, L. M. S.; BORNIA, A. C.; OLIVEIRA, M.W. Tecnologia e custo de produção de cana-de-açúcar: um estudo de caso em uma propriedade agrícola. **Latin American Journal of Business Management**, Taubaté, v.3, n.1, p.150-172, 2012.

OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C. Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.3, p.601-611, 2009.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JR, J.; PEREIRA G.T., LA SCALA JR., N. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.105, n.1, p.275-282, 2009.

- PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JUNIOR, J.; LA SCALA JR., N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂ em latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p. 227-236, 2008.
- PANOSSO, A.R.; CAMARA, F.T.; LOPES, A.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA JR., N. Emissão de CO₂ em um latossolo após preparo convencional e reduzido em períodos seco e chuvoso. **Científica**, Jaboticabal, v.34, n.2, p.257-262, 2006.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAMOS, F.T.; RAMOS, D.T.; AZEVEDO, E.C.; MAIA, J.C.S.; ROQUE, M.W. Modificações físicas em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Science Technology**, Rio Verde, v.6, n.1, p.12-25, 2013.
- REICHSTEIN, M.; REY, A.; FREIBAUER, A.; TENHUNEN, J.; VALENTINI, R.; BANZA, J.; CASALS, P.; CHENG, Y.; GRÜNZWEIG, J.M.; IRVINE, J.; JOFFRE, R.; LAW, B. E.; LOUSTAU, D.; MIGLIETTA, F.; OECHEL, W.; OURCIVAL, J.M.; PEREIRA, J. S.; PERESSOTTI, A, P. F.; QI, Y.; RAMBAL, S.; RAYMENT, M.; ROMANYA, J.; ROSSI, F.; TEDESCHI, V.; TIRONE, G.; XU, M.; YAKIR, D. Modeling temporal and large-scale spatial variability of soil respiration from soil water availability, temperature and vegetation productivity indices. **Global Biogeochemical Cycles**, Jena, v.17, n.4, p.1-15, 2003.
- RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO₂ efflux – a modified model. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n.1, p.21-33, 2005.
- ROCHETTE, P.; DESJARDINS, R.L.; PATTEY, E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.71, n.1, p.189-196, 1991.
- ROQUE, A.A.O.; SOUZA, Z.M.; ARAÚJO, F.S.; SILVA, G.R.V. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1536-1542, 2011.

ROSA, R.; SANO, E.E.; ROSENDO, J.S. Estoque de carbono em solos sob pastagens cultivadas na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.26, n.2, p.333-351, 2014.

ROSSETTO, R.; DIAS F. L. R.; VITTI, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas fronteiras canavieiras. **Revista Idea News**, Sertãozinho, v.8, n.1, p.78-90, 2008.

SÁ, M.A.C; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N.; DIAS JR., M.S. Comparação de métodos para o estudo da estabilidade de agregados em solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.1825-1834, 2000.

SANTOS, J.Z.; SÁ, J.C.M.; CLEVER BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.; SCHIMIGUEL, R. Emissão de C-CO₂ em solos de região de clima tropical e subtropical: um ensaio de incubação por longo período. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v.9, n.1, p.1-5, 2014.

SCHWARTZ, R.C.; BAUMHARDT, R.L.; EVETT, S.R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil and Tillage Research**. Amsterdam, v.110, n.1, p.221-229, 2010.

SCHWENDENMANN, L.; VELDKAMP, E.; BRENES, T.; O'BRIEN, J. J.; MACKENSEN, J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.64, n.1, p.111-128, 2003.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; OLIVEIRA, L.F.C.; CASTRO, M.B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.4, p.1419-1427, 2008.

SILVA JUNIOR, C.A.; CARVALHO, L.A.; CENTURION, J.F.; OLIVEIRA, E.C.A. Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo, sob diferentes tipos de prepare. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.29, n.1, p.1489-1500, 2013.

- SILVA-OLAYA, A.M.; CERRI C.E.P; LA SCALA JUNIOR, N.; DIAS, C.T.S.; CERRI, C.C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugar cane. **Environmental Research Letters**, Berkeley, v.8, n.1, p.1-8, 2013.
- SILVA, J.C.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; BARBOSA, L.; MENDONÇA, P.; FREITAS, M.C.M. Análise comparativa entre os sistemas de preparo do solo: aspectos técnicos e econômicos. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.12, p.1-11, 2011.
- SILVA, M.L.N.; NILTON N.C.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.
- SILVEIRA, P. M.; SILVA, O. F.; STONE, L. F.; SILVA, J. G. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.2, p.257-263, 2001.
- SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; CINIRO COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Emissão de gases do efeito estufa em diferentes usos da terra no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.1, p.63-76, 2011.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for c sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v.32, n.1, p.2099-2103, 2000.
- SMITH, K.A.; BALL, T.; CONEN, F.; DOBBIE, K.E.; MASSHEDER, J.; REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, London, v.54, n.1, p.779-791, 2003.
- SONG, Z.; YUAN, H.; KIMBERLEY, M. O.; JIANG, H.; ZHOU, G.; WANG, H. Soil CO₂ flux dynamics in the two main plantation forest types in subtropical china. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.444, n.1, p.363-368, 2013.
- SOUZA, C.B.; MIZIARA, F. Políticas de financiamento à expansão do setor sucroalcooleiro em Goiás versus políticas ambientais. In: **Anais do VIII Congresso Latinoamericano de Sociologia Rural**, Porto de Galinhas, p.19, 2010.

- SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S.; ARAÚJO, F.S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.135-146, 2014.
- SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.4, p.603-612, 2012.
- SOUZA, Z. M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A. C. S. P.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.3, p.271-278, 2005.
- STOLF, R. Cultivo mínimo para cana-de-açúcar. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.6, n.1, p.5-42, 1985.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.3, p.229-235, 1991.
- SUGIHARA, S.; FUNAKAWA, S.; KILASARA M.; KOSAKI, T. Effects of land management on CO₂ flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.46, n.1, p.1-9, 2012.
- SWANSTON, C.W.; CALDWELL, B.A.; HOMANN, P.S.; GANIO, L.; SOLLINS, P. Carbon dynamics during a long-term incubation of separate and recombined density fractions from seven forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.34, n.1, p.1121-1130, 2002.
- TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.32, n.1, p.61-68, 2010.
- TEIXEIRA, L.G.; CORRADI, M.M.; FUKUDA, A.; PANOSSO, A.R.; REICOSKY, D.; AFONSO LOPES, A.; LA SCALA JR., N. Soil and crop residue C-CO₂ emission under tillage systems in sugarcane-producing areas of southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.70, n.5, p.327-335, 2013.

TEIXEIRA, L.G.; FUKUDA, A.; PANOSSO, A.R.; LOPES, A.; LA SCALA JR., N. Soil CO₂ emission as related to incorporation of sugarcane crop residues and aggregate breaking after rotary tiller. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.6, p.1075-1084, 2011.

TEIXEIRA, L.G.; LOPES, A.; LA SCALA JR., N. Temporal variability of soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage described by an exponential decay in time model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.224-231, 2010.

TOPAKCI, M.; KARAYEL, D.; CANAKCI, M.; FURAT, S.; UZUN, B. Sesame hill dropping performance of a vacuum seeder for different tillage practices. **Applied Engineering in Agriculture**, Collegedale, v.27, n.2, p.203-209, 2011.

TORMENA, C.A.; BARBOSA, M.C.; COSTA, A.C.S. E GONÇALVES, A.C.A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.33-42, 2008.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.1, p.573-581, 1998.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Microbial biomass measurements in forest soils: The use chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. **Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.19, p.697-702, 1987.

VASCONCELOS, R.F.B.; CANTALICE, J.R.C.; OLIVEIRA, V.S.; COSTA, Y.D.J.C.; CAVALCANTE, D.M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.1, p.309-316, 2010.

VICENT, G.; SHAHRIARI, A.R.; LUCOT, E.; BADOT, P.; EPRONB, D. Spatial and seasonal variations in soil respiration in a temperate deciduous forest with fluctuating water table. **Soil biology and Biochemistry**, Amsterdam, v.38, n.1, p.2527-2535, 2006.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. Erosão hídrica, em três momentos da cultura do milho, influenciada por métodos de preparo do solo e semeadura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.2, p.565-574, 2014.

VOLK, L.B.S.; COGO, N.P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.1, p.1459-1471, 2009.

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**, London, v.49, n.3, p.73-84, 1998.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.1, p.891-900, 2004.

XU, M.; QI, Y. Soil surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. **Global Change Biology**, Champaign, v.7, n.1, p.667-677, 2001.

ZAK, D. R.; PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; HOLMES, W. E. Elevated atmospheric CO₂, fine roots and the response of soil microorganisms: a review and hypothesis. **New Phytologist**, City of Bristol, v.147, n.1, p.201-222, 2000.

ANEXOS

Tabela - Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis químicas do solo das áreas experimentais.

Variável	Média	Max	Mim	Dp	CV	D
Solo Argiloso						
pH CaCl ₂	4,56	4,90	4,10	0,24	5,16	0,46*
AL	0,32	0,60	0,10	0,14	42,76	0,58*
CA	2,37	2,90	1,50	0,42	17,68	0,99*
MG	1,11	1,40	0,70	0,19	16,97	0,48*
K	1,66	2,30	1,10	0,32	18,98	0,84*
P	31,42	63,00	19,00	14,63	46,56	0,15*
CO	21,08	25,00	19,00	2,02	9,58	0,65*
CTC	10,25	11,40	9,0	0,70	6,80	0,86*
V	48,86	55,87	31,43	7,41	15,17	0,37*
Solo Arenoso						
pH CaCl ₂	4,68	4,90	4,40	0,14	2,97	0,56*
AL	0,09	0,30	0,00	0,10	115,23	0,07*
CA	1,30	1,50	1,00	0,19	14,49	0,67*
MG	0,51	0,80	0,40	0,11	21,37	0,55*
K	0,13	0,18	0,10	0,02	18,29	0,42*
P	14,02	20,0	8,00	3,97	28,34	0,84*
CO	10,50	14,00	9,00	1,41	13,47	0,29*
CTC	4,58	5,42	3,90	0,38	8,26	0,97*
V	44,09	55,72	34,68	6,66	15,11	0,60*

pH em CaCl₂; H+Al = acidez potencial (cmol_c dm⁻³); Ca = cálcio (cmol_c dm⁻³); Mg = magnésio (cmol_c dm⁻³); K = potássio (cmol_c dm⁻³); P = fósforo extraído pelo método resina (mg dm⁻³); CO = carbono orgânico (g dm⁻³); MOS = matéria orgânica do solo (%); SB = soma de bases trocáveis (cmol_c dm⁻³); CTC = capacidade de troca de cátions (cmol_c dm⁻³); V = saturação por bases (%); Max = valor máximo; Mim = valor mínimo; DP = desvio-Padrão; CV = coeficiente de variação (%); D = estatística do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Valores significativos a 5% de probabilidade.

Tabela. Estatística descritiva e teste de normalidade das variáveis microbiológicas e físicas das áreas experimentais.

Variável	Média	Max	Mim	Dp	CV	D
Solo Argiloso						
CBM	607,5	722,04	412,3	85,08	14,09	0,41*
Ds	1,41	1,56	1,31	0,075	5,3	0,86*
DMP	1,33	1,78	0,79	0,28	10,83	0,99*
PT	60,75	68,73	54,39	4,28	7,04	0,85*
Macro	8,4	12,72	4,96	2,36	28,14	0,89*
Micro	52,35	60,14	45,09	3,87	7,38	0,97*
RP	2,49	3,82	1,42	0,68	27,26	0,97*
RT	155,80	192,13	107,58	24,26	15,57	0,62*
Solo Arenoso						
CBM	360,87	443,29	303,87	47,01	13,02	0,93*
Ds	1,64	1,78	1,52	0,074	4,472	0,96*
DMP	0,508	0,809	0,325	0,146	28,71	0,74*
PT	0,342	0,381	0,311	0,021	6,18	0,85*
Macro	0,129	0,191	0,073	0,037	28,99	0,96*
Micro	0,218	0,269	0,181	0,029	13,11	0,71*
RP	0,011	0,023	0,006	0,004	37,32	0,35*
RT	52,42	69,89	43,33	6,42	12,25	0,77*

CBM = carbono da biomassa microbiana ($\mu\text{g C g}^{-1}\text{dia}^{-1}$); Ds = densidade do solo (kg m^{-3}); DMP = diâmetro médio ponderado (mm); PT = porosidade total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Macro = macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Micro = microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); RP = resistência do solo à penetração (MPa); RT = resistência tênsil do agregado (kPa); Max = valor máximo; Mim = valor mínimo; DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação (%); D = estatística do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. * Valores significativos a 5% de probabilidade.