

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

**EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADO À CALAGEM EM
ÁREA DE CONVERSÃO DE LARANJA PARA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Eliton de Freitas Silva

Físico

2013

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

**EMIÇÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADO À CALAGEM EM
ÁREA DE CONVERSÃO DE LARANJA PARA CANA-DE-
AÇÚCAR**

Eliton de Freitas Silva

Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala Júnior

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

2013

S586e Silva, Eliton de Freitas
Emissão de CO₂ do solo associado à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar / Eliton de Freitas Silva. – – Jaboticabal, 2013
xii, 39 p. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Newton La Scala Junior
Banca examinadora: Alan Rodrigo Panosso, Gener Tadeu Pereira
Bibliografia

1. Calagem. 2. Respiração do Solo. 3. Temperatura do Solo. 4. Umidade do Solo. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.4:634.31

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.
E-mail: elitonfrutal@bol.com.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE JABOTICABAL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EMISSÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADO À CALAGEM EM ÁREA DE CONVERSÃO DE LARANJA PARA CANA-DE-AÇÚCAR

AUTOR: ELITON DE FREITAS SILVA

ORIENTADOR: Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

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

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 13 de dezembro de 2013.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Eliton de Freitas Silva – Filho de Pedro Rufino da Silva e Margarida de Freitas Silva nasceu em Frutal, Minas Gerais, no dia 25 de outubro de 1981. Em fevereiro de 2001, ingressou no Curso de Licenciatura plena em Física pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – SP. Atua como docente no ensino superior há 6 anos na Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, onde leciona nos cursos de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira e Tecnologia em Alimentos, e há 10 anos na Rede Estadual de Ensino, onde leciona a disciplina de Física. Possui Especialização em física na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Em Agosto de 2011, ingressou no Curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP.

DEDICO

Aos meus pais Pedro Rufino da Silva e Margarida de Freitas Silva, por ter me dado a oportunidade de ter alcançado meus objetivos. Aos meus irmãos Everton de Freitas Silva e Tânia Aparecida Silva Dos Santos.

OFEREÇO

A minha esposa Verônica de Souza pelo companheirismo, apoio e compreensão nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a oportunidade de concluir mais esta etapa de meus estudos e abençoar cada dia de viagem de Frutal-MG até Jaboticabal-SP.

Ao professor Newton La Scala Júnior, pela orientação deste trabalho, pelo aprendizado adquirido e por ter confiado em mim.

Aos companheiros do departamento de ciências exatas Mara Regina Moitinho, a qual me deu uma grande contribuição para a realização deste trabalho e também ao Daniel De Bortoli Teixeira.

Aos professores membros da Banca de Qualificação, Prof. Dr. Eduardo Barreto Figueredo e Prof. Dr. Glauco de Souza Rolim. E aos professores membros da Banca de Defesa Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso e Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira, os quais contribuíram para melhoria desse trabalho.

Aos amigos e companheiros Juliano Luciani Iamaguti, Jair Assunção Leonel, Matheus Coimbra e Everton de Freitas Silva pela ajuda na condução do experimento, os quais tornaram possível seu desenvolvimento.

Ao proprietário da área onde foi realizado o experimento Edson Americano de Freitas, o qual cedeu a área com muita presteza e ao funcionário Cleiton Marcelo Presidina de Matos que sempre colaborou com informações e dados essenciais para o desenvolvimento das coletas.

Aos amigos Italo Franceze Costa, Odair José Cassiano e Vinicius José Domingos Rodrigues por me fazer companhia nas viagens para Jaboticabal-SP.

Ao Dr Norton Rodrigues Chagas Filho pelo incentivo da realização do mestrado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Efeito estufa.....	3
2.2 Gases de efeito estufa	4
2.3 Preparo do solo.....	5
2.4 Calagem.....	6
2.5 A influência da temperatura e da umidade do solo nas emissões de CO ₂	7
2.6 A cultura da laranja	9
2.6.1 Crise na citricultura.....	10
2.7 Cana-de-açúcar	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	12
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÃO	28
6 REFERÊNCIAS	29

EMIÇÃO DE CO₂ DO SOLO ASSOCIADO À CALAGEM EM ÁREA DE CONVERSÃO DE LARANJA PARA CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) em áreas agrícolas é resultante da interação de diversos fatores, sendo alterada pela prática de manejos do solo e da cultura, além das condições edafoclimáticas locais. Neste estudo, objetivou-se quantificar a FCO₂ em função da aplicação de calcário e posição de plantio (linha e entrelinha) da cultura de laranja em área de implantação da cultura da cana-de-açúcar no município de Frutal-MG. Os tratamentos avaliados foram: Linha/CC (linha de plantio com aplicação de calcário), Entrelinha/CC (entrelinha de plantio com aplicação de calcário), Linha/SC (linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (entrelinha de plantio sem aplicação de calcário). FCO₂, temperatura do solo (Ts) e umidade do solo (Us) foram avaliadas durante 12 dias. O maior valor médio da FCO₂ ao longo do período de estudo foi observado no tratamento Linha/CC (9,63 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor no tratamento Entrelinha/CC (5,92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) segundo teste de Tukey. A FCO₂ foi negativamente correlacionada a Us na Linha/CC ($r = -0,56$; $p < 0,05$) e na Linha/SC ($r = -0,66$; $p < 0,05$). Entre a FCO₂ e a Ts verificou-se correlação positiva e significativa na Linha/CC ($r = 0,76$; $p < 0,001$), na Linha/SC ($r = 0,89$; $p < 0,001$) e na Entrelinha/SC ($r = 0,66$; $p < 0,05$). Observou-se que a calagem e a posição (Linha e Entrelinha) influenciaram nas emissões de CO₂ do solo.

Palavras-chave: calagem, respiração do solo, temperatura do solo, umidade do solo

SOIL CO₂ EMISSION ASSOCIATED WITH LIMING IN AREA OF CONVERSION OF ORANGE FOR SUGAR CANE

ABSTRACT– The soil CO₂ emission (FCO₂) in agricultural areas is resulting from the interaction of several factors, as amended by the practice of soil management practices and crop, in addition to the local edaphoclimatic conditions. In this study aimed to quantify FCO₂ depending on liming and planting position (row and interrow) of the orange crop in areas of deployment of the culture of cane sugar in the city of Frutal-MG. The treatments evaluated were: Row/CC (row planting with lime application), Interrow/CC (interrows with application of lime), Row/SC (row planting without liming) and Interrow/SC (interrows without liming). FCO₂, temperature (Ts) and water content of soil moisture (Ms) were evaluated over 12 days. The highest average value of FCO₂ over the study period was observed in the treatment Row/CC (9.63 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and the lowest in Interrow/CC (5.92 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) according to the Tukey test. The FCO₂ was negatively correlated with Us in Row/CC ($r = -0.56$, $p < 0.05$) and in Row/SC ($r = -0.66$, $p < 0.05$). It was also observed a significant and positive correlation between FCO₂ and Ts in Row/CC ($r = 0.76$, $p < 0.001$), Row/SC ($r = 0.89$, $p < 0.001$) and in Interrow/SC ($r = 0.66$, $p < 0.05$). It was observed that liming and position (Row and Interrow) influenced the soil CO₂ emissions.

Keywords: liming, soil respiration, soil temperature, soil moisture

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Imagens de satélite mostrando a localização geográfica da fazenda São Conrado	13
Figura 2 – Descrição de montagem do experimento.....	14
Figura 3 – Área plantada com laranja (A), retirada dos pés de laranja (B), área dessecada (C), aplicação de calcário (D), área preparada e plantada com cana-de- açúcar (E), colares de PVC instalados para medição da FCO ₂ , (F), equipamento de medição da FCO ₂ (G), coleta de solo para análise química (H).....	15
Figura 4 – Valor médio da emissão de CO ₂ do solo e precipitações ocorridas no período de estudo (a), temperatura (b) e umidade do solo (c) com metade da barra de erro-padrão nos tratamentos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário), Entrelinha/CC (Entrelinha de plantio com aplicação de calcário), Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (Entrelinha de plantio sem aplicação de calcário).	21
Figura 5 – Correlação linear entre emissão de CO ₂ e a umidade do solo nos tratamentos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário) e Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário).	24
Figura 6 – Correlação linear entre emissão de CO ₂ e a temperatura do solo nos manejos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário); Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (Entrelinha de plantio sem aplicação de calcário).....	26
Figura 7 – Emissão total de CO ₂ (kg ha ⁻¹) nos diferentes tratamentos avaliados em 12 dias de estudo. Valores médios com a mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade..	27

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Atributos químicos do solo nos diferentes tratamentos avaliados	16
Tabela 2 – Estatísticas descritivas da emissão de CO ₂ , temperatura e umidade do solo nos tratamentos	18
Tabela 3 – Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a emissão de CO ₂ do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	20
Tabela 4 – Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a umidade do solo (% de volume)	23
Tabela 5 – Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a temperatura do solo (°C)	25

1 INTRODUÇÃO

A concentração de dióxido de carbono (CO_2) e de outros gases de efeito estufa como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) na atmosfera tem aumentado consideravelmente, atingindo taxas crescentes de CO_2 da ordem de 80% entre 1970 e 2004 (IPCC, 2007). Embora o potencial de aquecimento global do CH_4 e do N_2O seja, respectivamente, 25 e 298 vezes maior que o do CO_2 ; o dióxido de carbono apresenta a maior contribuição em termos relativos, para o efeito estufa adicional, devido à sua grande quantidade emitida (IPCC, 2007). No Brasil, cerca de 70% das emissões são provenientes das mudanças no uso da terra, em particular, da conversão de áreas de vegetação nativa para uso agropecuário (CERRI et al., 2009).

De acordo com dados da Companhia Nacional do Abastecimento (CONAB), as áreas destinadas à produção de cana-de-açúcar continuam em expansão pelo Brasil, sendo o Estado de São Paulo o maior produtor, com 51,87%, seguido por Goiás, com 8,52% e Minas Gerais, com 8,47% do total da produção nacional (CONAB, 2013). As áreas cultivadas com a cultura estão avançando sobre outros cultivos, como por exemplo, o de laranja. Portanto são poucos estudos que caracterizem o processo de emissão de CO_2 em áreas de transição de culturas. Outro fator que pode ser destacado é o tipo de manejo adotado nas linhas e entrelinhas da cultura da laranja. Sendo o manejo mais intensificado nas entrelinhas do que nas linhas, uma vez que as operações de pulverização, calagem e colheita são realizadas nas entrelinhas. Sendo interessante investigar estes dois locais separadamente.

O processo de emissão de CO_2 do solo está associado à atividade microbiana, respiração das raízes, decomposição dos resíduos vegetais, oxidação da matéria orgânica do solo (MOS) (RYAN; LAW, 2005) e à aplicação de calcário para correção do pH do solo (WEST; MARLAND, 2002). Segundo o fator de emissão adotado pelo (IPCC 2006), a emissão provocada pela calagem realizada com calcário dolomítico é de 0,13 t C- CO_2 por tonelada de calcário aplicado no solo, que representa o conteúdo equivalente de carbonato do material (13% para CaMg

(CO₃)₂) supondo que todo carbono do calcário aplicado seja emitido na forma de CO₂ no ano da aplicação. Em estudo de laboratório e campo (SHAH et al., 1990; ANDERSSON et al., 1994; BERNOUX et al., 2003; FUENTES et al., 2006) observaram um significativo aumento da atividade microbiana do solo medido pela quantidade adicional de CO₂ emitido após a calagem.

Em adição, as intensas atividades de preparo do solo também aumentam, inicialmente, as taxas de emissão de CO₂ do solo para a atmosfera, com o rompimento dos agregados do solo, parte do carbono anteriormente protegido em seu interior, torna-se mais suscetível à mineralização, devido a sua exposição à ação microbiana, favorecida pela maior oxigenação do solo e a temperaturas mais elevadas (LA SCALA et al., 2008; SCHWARTZ et al., 2010). Neste sentido, a atividade microbiana também é intensificada imediatamente após o preparo do solo (BEARE et al., 1994; REICOSKY et al., 1997). Entretanto, após um curto período, ocorre a redução das frações lábeis da MOS e a atividade basal microbiana decresce (SIX et al., 2006).

A temperatura e a umidade do solo são as variáveis que melhor explicam as mudanças nas emissões de CO₂ ao longo do tempo (ALMARAZ et al., 2009; CHAVEZ et al., 2009; USSIRI; LAL, 2009; WANG et al., 2009; ALMAGRO et al., 2009; IQBAL et al., 2009; PANOSSO et al., 2009; SILVA-OLAYA et al., 2013). A produção de CO₂ pode ser favorecida ou inibida dependendo do conteúdo de umidade do solo, sendo que há uma umidade ótima que maximiza a respiração (LINN; DORAN, 1984). Em adição, a respiração microbiana do solo é limitada pela restrição da difusão de oxigênio necessário para a respiração aeróbica (LAL, 2001). Diante do exposto, o presente estudo teve por objetivo, quantificar a emissão de CO₂ do solo em função da aplicação de calcário e posição (linha e entrelinha) de plantio de laranja em área de implantação da cultura da cana-de-açúcar no município de Frutal-MG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Efeito estufa

O efeito estufa é um mecanismo natural de aquecimento da atmosfera responsável por manter a temperatura média do planeta em níveis adequados para a existência dos seres vivos. Esse fenômeno ocorre quando uma parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases denominados “gases de efeito estufa”, presentes na atmosfera. Como consequência disso, a radiação infravermelha refletida pela terra fica retida na baixa atmosfera resultando no aquecimento do planeta.

Postulado pela primeira vez em 1824 por Josef Fourier, o qual descreveu o balanço global de energia, onde a atmosfera e os oceanos transportam calor do equador para os polos, no qual a atmosfera é transparente à radiação solar (calor luminoso) e a temperatura da superfície terrestre aumenta com a radiação de alta frequência (calor escuro), portanto a atmosfera dificulta a transmissão de ondas longas ao espaço. Fourier conclui que o clima afeta a temperatura da superfície terrestre, pois os movimentos do ar e das águas, a extensão dos oceanos, a elevação e forma da superfície, os efeitos da indústria e todas as mudanças acidentais da superfície terrestre modificam a temperatura e o clima (BONAN et al., 1992; BETTS, 2000; CHASE et al., 2000; GOVINDASAMY et al., 2001).

Portanto este fenômeno é promovido pela presença de gases como o dióxido de carbono (CO_2), o ozônio (O_3) e o metano (CH_4) que, juntamente com o vapor d'água, possuem a propriedade de absorver e refletir parte dos raios infravermelhos, contribuindo para aquecer a superfície terrestre. Por possuírem esta propriedade, estes gases também são conhecidos como gases de efeito estufa (GEE). O aumento nas emissões dos (GEE), em decorrência da ação antrópica, tem intensificado o fenômeno que traz consequências negativas para o homem. Por este motivo, termos como mudanças climáticas e aquecimento global começam a ser amplamente discutido em nosso dia-a-dia.

Aumentos na concentração de (GEE) na atmosfera devido à atividade antrópica, têm levado a um impacto no balanço de entrada e saída de radiação solar do planeta, tendendo ao aquecimento da superfície da terra (LAL et al., 1995). O relatório publicado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2001) reafirma as evidências de que as ações antropogênicas são responsáveis pelo aquecimento global de 0,6 °C observado durante os últimos 140 anos. Previsões científicas indicam que, mantido o ritmo de incremento das emissões de GEE, pode haver um aumento de até 5,8 °C na temperatura média do planeta durante os próximos cem anos (COX et al., 2000; IPCC, 2001), com sérias consequências para a vida na terra.

2.2 Gases de efeito estufa

Os principais (GEE) adicionais são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), os quais representam aproximadamente 50, 15,5 e 5% do forçamento radioativo causador do efeito estufa, respectivamente (IPCC 2007).

O aumento das emissões provenientes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento, teve início na Revolução Industrial no século XVIII (BUCKERIDGE; AIDAR, 2002). Estudos mostram que as concentrações de CO₂ na atmosfera aumentaram em cerca 100 ppm ao longo dos últimos 250 anos, passando de 275 a 285 ppm, na era pré-industrial, para a concentração de 379 ppm em 2005 (FORSTER et al., 2007) e 389 ppm em 2010 (CHEN et al., 2011).

As emissões atmosféricas de CO₂ (379 ppm) e CH₄ (1.774 ppb) em 2005 excederam consideravelmente os níveis naturais no decorrer dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). De acordo com o IPCC (2007), o CO₂ tem um potencial de aquecimento global (PAG) de 1, visto que o mesmo apresenta um tempo de vida curto na atmosfera e um baixo potencial para absorver a radiação infravermelha quando comparado com os demais gases de efeito estufa. Embora as concentrações de CH₄, N₂O e CFCs na atmosfera sejam ainda menores, o elevado potencial de aquecimento global (PAG) desses gases os torna um dos principais gases contribuintes para o aquecimento global. O potencial de aquecimento global

do CH₄, N₂O e CFCs são de 25, 298 e 6.200 a 7.200 vezes maior que uma molécula de CO₂, respectivamente, para um período de 100 anos de permanência na atmosfera.

A emissão de CO₂ do solo é considerada a segunda maior componente do ciclo global do carbono sendo importante nas variações climáticas (RETH et al., 2005), pois pequenas variações no balanço da respiração do solo podem afetar a concentração de CO₂ na atmosfera, alterando a temperatura média anual do planeta bem como a quantidade e distribuição de chuvas.

2.3 Preparo do solo

Atividades agrícolas, tais como o desflorestamento, o preparo do solo, a calagem e a irrigação, são as principais atividades humanas que têm causado decréscimo no teor de carbono do solo associado ao aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica. Lal et al. (1995) analisaram as perdas globais de carbono do solo seguidas do cultivo de áreas florestais indicando redução de 20% da quantidade inicial de carbono orgânico (1.500 g m⁻² na camada superior de 0,3 m do solo) nessas áreas, ocorrida principalmente nos primeiros 5 anos de conversão para atividade agrícola.

A perda de carbono induzida pelo preparo do solo tem sido objeto de estudo de muitos autores que têm demonstrado perdas significativas, especialmente em períodos curtos após o preparo do solo. Similarmente ao processo de desflorestamento e queima da biomassa, o preparo do solo acelera as taxas de decomposição da matéria orgânica do solo reduzindo assim o carbono orgânico, liberando grandes quantidades de CO₂ para a atmosfera em algumas semanas (REICOSKY; LINDSTROM, 1993; ELLERT; JANZEN, 1999; ROCHETTE; ANGERS, 1999; LA SCALA et al., 2006).

O preparo do solo pode não apresentar um efeito em curto prazo nas emissões de CO₂, podendo existir um efeito combinado de curto e longo prazo. O efeito de curto prazo do preparo é o resultado de distúrbios físicos do solo, com o

rompimento dos agregados, que ocorre durante o revolvimento e a incorporação de resíduos de culturas, que aumenta o contato resíduo-solo.

Em sistemas de manejo recentemente estabelecidos predominam os efeitos de curta duração, já em sistemas de longa duração predominam os efeitos de alterações das propriedades do solo. Poucos estudos têm mostrado resultados de experimentos de longa duração comparando sistemas de preparo em que as emissões de CO₂ foram medidas continuamente e em períodos diferentes além do imediatamente depois do preparo do solo (KESSAVALOU et al., 1998).

2.4 Calagem

A calagem é uma prática agrícola com seus benefícios bem estabelecidos, entre eles, a correção da acidez do solo, aumento na disponibilidade de cálcio, fósforo e magnésio, a melhoria da estrutura do solo e a atividade microbiana. A elevação do pH melhora a capacidade do solo em adsorver alguns nutrientes, reduzindo assim, suas perdas por lixiviação. Dentre esses nutrientes está o potássio, nutriente mais extraído pela cultura da cana-de-açúcar e que possui potencial de perdas por lixiviação em condições de alta acidez do solo (LEVINE, 2000; ROSSETTO et al., 2004).

A eficiência da calagem é dependente de vários fatores, entre eles, está relacionada com a área superficial de contato com o solo, que depende da uniformidade da aplicação e da antecedência em relação aos períodos de demanda pelas culturas (ANGHINONI; SALET, 2000). Entretanto, na escolha do corretivo alguns aspectos em relação à sua qualidade devem ser observados, principalmente das suas características químicas, como o teor e tipo de compostos neutralizantes. Assim como pelas suas características físicas, que são determinadas pelo grau de moagem, ou seja, a sua granulometria (TEDESCO; GIANELLO, 2000; ALCARDE; RODELLA, 2003).

A velocidade com que o corretivo reage com a solução do solo é influenciada pela sua taxa de dissolução, devido à variação no conteúdo de carbonatos presentes no corretivo. As reações de solubilização em condições normais de solos

ácidos são lentas e dependem basicamente da velocidade de difusão dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} HCO_3^- e OH^- no solo, a partir da partícula do corretivo, do grau de acidez do solo e da presença de água. Estima-se que a solubilidade do CaCO_3 é de $0,014 \text{ g L}^{-1}$ e o MgCO_3 de $0,106 \text{ g L}^{-1}$ a 25°C , demonstrando que o carbonato de cálcio apresenta uma menor solubilidade em água do que o carbonato de magnésio (TEDESCO; GIANELLO, 2000; ALCARDE; RODELLA, 2003). Entretanto, Barber (1967) afirma que, os calcários dolomíticos, apesar de apresentarem um maior poder de neutralização em relação ao equivalente em CaCO_3 , reagem mais lentamente com os solos ácidos do que calcários calcíticos, devido a maior estabilidade da dolomita comparada à calcita, o que demonstra um comportamento diferente entre os sais puros e os minerais que contém estes carbonatos.

2.5 A influência da temperatura e da umidade do solo nas emissões de CO_2

A intensidade da respiração do solo esta associada às condições de temperatura e umidade do solo. A variabilidade temporal e espacial destas variáveis também influencia diretamente as emissões de CO_2 para a atmosfera. Já que a emissão de CO_2 do solo depende do gradiente vertical de concentração do gás em profundidade, do gradiente vertical de pressão do ar e da velocidade horizontal do vento a superfície do solo. Por isso os principais fatores que afetam as emissões de CO_2 são a temperaturas do ar e do solo e o teor de umidade do solo (RUSSELL; VOONEY, 1998; RUSTAND et al., 2000; JANSSENS et al., 2001).

A temperatura tem efeito sobre as emissões de CO_2 do solo, em latitudes médias, a respiração do solo aumenta proporcionalmente com a temperatura do solo seguindo um padrão exponencial (DAVIDSON et al., 2000; RAYMENT; JARVIS, 2000). Em diversos trabalhos têm sido encontradas relações significativas entre a temperatura do solo e do ar com as emissões de CO_2 (RUSSELL; VOONEY, 1998), as quais podem elevar exponencialmente as taxas de respiração do solo.

Hanson et al. (1993) e Freitas (2001), reportaram modelos empíricos de emissão de CO_2 em função da temperatura e umidade do solo ajustados a diferentes ecossistemas. A respiração de raízes tem um papel fundamental nas

estimativas do efluxo de CO₂ do solo, devido ao fato de ser menos influenciada pela falta/excesso de umidade no solo, ao contrário da respiração microbiana, que é muito mais influenciada pela sua variação temporal.

Geralmente, observa-se um incremento no fluxo de CO₂ acompanhando o aumento da temperatura, sendo ele atribuído a maior respiração do solo (FORTIN et al., 1996). Janssens et al. (2001) reportaram que até 80% da mudança temporal no fluxo de CO₂ pode ser atribuída a mudanças na temperatura do solo, em adequada umidade do solo. Da mesma forma, Smith et al. (2003) concluíram que o CO₂ liberado pela respiração aeróbica é dependente principalmente da temperatura, mas se torna dependente da umidade à medida que o solo seca.

De acordo com Linn e Doran (1984), a maior atividade microbiológica, medida pelo fluxo de CO₂ do solo, é observada quando a porosidade preenchida por água (PPA) for próxima a 60%. Os mesmos autores encontraram o menor fluxo de CO₂ quando a PPA é próxima a 30%. Dessa forma, o alto teor de água pode impedir a difusão de CO₂ no solo (LINN; DORAN, 1984; DORAN et al., 1990). Por outro lado, o baixo teor de água também pode inibir a atividade microbiana e a respiração das raízes (DAVIDSON et al., 1998; XU; QI, 2001a, b). De acordo com Luo e Zhou (2006), o teor de água ótimo localiza-se próximo à capacidade de campo, quando os macroporos são preenchidos principalmente por ar, facilitando, assim, a difusão de O₂, e os microporos estão preenchidos principalmente por água, facilitando a difusão de substratos. A PPA pode influenciar também a resposta das emissões às variações da temperatura, devido à interação existente entre a PPA e a temperatura (FANG; MONCRIEFF, 2001).

Um rápido aumento da emissão de CO₂ após eventos de precipitação ou irrigação e consequente aumento do teor de água em solo seco, tem sido descrito em vários trabalhos (PRIOR et al., 1997; REICOSKY et al., 1999; JACKSON et al., 2003; ÁLVARO-FUENTES et al., 2007; JENERETTE et al., 2008; BEARE et al., 2009; ZHANG et al., 2011). Este rápido aumento pode ter por origem a oxidação biológica da MOS lábil, que se torna disponível aos microrganismos do solo pelo rompimento de agregados, através dos processos de secagem-molhamento (ADU; OADES, 1978; DENEFF et al., 2001) pode ser associado à lise da biomassa microbiana, induzida pela mudança no teor de água do solo, que representa um

reservatório de MOS lábil (HALVERSON et al., 2000; FIERER; SCHIMEL, 2003; MIKHA et al., 2005; BEARE et al., 2009) também pode ser relacionado com um rápido aumento dos pêlos radiculares e do metabolismo micorrízico (HEINEMEYER et al., 2007; VARGAS; ALLEN, 2008) e pela liberação física do CO₂ armazenado na estrutura do solo e deslocado devido ao preenchimento dos poros pela água (AKINREMI et al., 1999).

2.6 A cultura da laranja

Originária do sul asiático, provavelmente da China, por volta de 4.000 anos atrás. O comércio entre as nações e as guerras ajudou a expandir o cultivo dos citros, de modo que, na Idade Média, a laranja foi levada pelos árabes para a Europa. Foi trazida ao Brasil por volta de 1.500, nas grandes navegações, onde se adaptou muito bem devido ao país possuir as características edafoclimáticas ideais para o cultivo. Encontrou no país melhores condições para vegetar e produzir do que nas próprias regiões de origem, expandindo-se por todo o território nacional.

A citricultura destacou-se em vários Estados, porém, foi a partir de 1920 que se criou o primeiro núcleo citrícola nacional nos arredores de Nova Iguaçu no Estado do Rio de Janeiro. Esse núcleo abastecia as cidades do Rio de Janeiro e de São Paulo, além de iniciar as exportações de laranjas para a Argentina, Inglaterra e alguns outros países europeus. Após essa fase, a cultura seguiu os caminhos da cafeicultura, que sofria uma significativa retração da área plantada em função da geada em 1918, da crise financeira mundial, da seca de 1920 e da infestação com nematoides. Diante desses problemas, a laranja foi caminhando para a região do Vale do Paraíba no interior paulista no ano de 1940, tornando-se uma opção para substituir o café na região de Limeira – SP, chegando posteriormente a Araraquara em 1950 e em Bebedouro ao final da década de 50, ganhando cada vez mais espaço nas novas fronteiras ao norte e noroeste do Estado de São Paulo.

O desenvolvimento de tecnologia pelos órgãos governamentais ligados ao setor proporcionou o avanço e a consolidação da atividade, permitindo que a citricultura vivesse um período de plena expansão e ganhasse importância

econômica. Desde a criação do núcleo citrícola em 1920 até 1940, quando teve início a Segunda Guerra Mundial, a produção de laranjas no Brasil havia crescido mais de dez vezes. Apesar dos avanços, o setor passou por um momento crítico durante a guerra, quando a demanda pelas exportações de laranja caiu drasticamente.

2.6.1 Crise na citricultura

O setor da citricultura enfrenta sérios problemas e em 2012, a citricultura paulista viveu um de seus piores anos ocasionado por fatores conjunturais e estruturais, segundo levantamentos do Cepea. Os conjunturais estão relacionados com o excesso de oferta de suco na indústria. A produção em duas safras consecutivas (2011 e 2012) foi superior ao potencial de consumo da Europa e Estados Unidos, fazendo com que os estoques das indústrias se ampliassem e os preços pagos aos citricultores caíssem. De acordo com o Cepea, muitos produtores não conseguiram cobrir os custos e sequer escoaram parte da safra.

Estima-se que cerca de 35 milhões de caixas de 40,8 kg foram perdidas na última temporada devido à falta de compradores. Com isso somente entre 2011 e 2012, 2.225 propriedades deixaram de cultivar citros no estado de São Paulo (redução de 12%), conforme dados da Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA).

A maior parte das áreas que estão deixando de ter pomares está sendo destinada à cana-de-açúcar, e a alteração de cultura tem efeitos socioeconômicos nessas regiões. O arrendamento para usinas diminuiu o número de funcionários fixos nas propriedades e também a compra de insumos locais. Assim, os municípios acabam tendo perda significativa da geração de empregos e renda especialmente onde não há usinas, aponta a pesquisa. (CONAB 2013).

2.7 Cana-de-açúcar

Originária da Nova-Guiné foi levada para o sul da Ásia, onde foi usada inicialmente para a produção de xarope. Como a maioria das *poaceae*s (gramíneas), a cana-de-açúcar é uma planta C4, assim chamada por formar compostos orgânicos de quatro carbonos. Apresenta também a maior taxa fotossintética e de eficiência na utilização e resgate de CO₂ da atmosfera. (VANZOLINI et al., 2006). Foi a primeira cultura introduzida no Brasil e é cultivada há quatro séculos no litoral do Nordeste. Recentemente, através do álcool etílico, essa cultura expandiu-se por quase todos estados brasileiro, estabelecendo-se nos mais diferentes tipos de solos.

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), com habilidade única de estocar sacarose nos colmos, é uma planta tropical pertencente à família das gramíneas ou *poáceas* juntamente com os gêneros *Zea* e *Sorghum*. A cana-de-açúcar moderna, denominada por alguns pesquisadores, é considerada um híbrido complexo entre duas ou mais espécies do gênero *Saccharum* (*S. officinarum*, *S. spontaneum*, *S. barberi*, *S. sinense*, *S. edule* e *S. robustum*) (CHEN; CHOU, 1993).

De forma geral, a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana-de-açúcar, nos nódulos inter colmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (palmito) (MANTELATTO, 2005).

A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores como: variedade da cultura; idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo entre outros (PARANHOS, 1987; MARQUES; TASSO JÚNIOR, 2001).

A área ocupada pela cana-de-açúcar no Brasil é destinada ao setor sucroalcooleiro alcança 8.567,2 mil hectares na safra 2012/13 e com produção de 602,2 milhões de toneladas distribuídos em todos estados produtores conforme suas características. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,66% (4.426,45 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,97% (768,64 mil hectares), Goiás com 8,54% (732,02 mil hectares), Paraná com 7,17% (614,01 mil hectares), Mato Grosso

do Sul com 6,31% (540,97 mil hectares), Alagoas com 5,35% (458,09 mil hectares) e Pernambuco com 3,48% (298,39 mil hectares). Nos demais estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no município de Frutal–MG, Triângulo Mineiro com coordenadas geográficas, 19° 91' 59,98" de latitude Sul e 48° 95' 17,23" de longitude Oeste com 610 m acima do nível do mar. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006). A área apresenta um relevo plano com declives de aproximadamente 3%. Segundo a classificação de Thornthwaite (1948), o clima local é caracterizado como, tropical úmido com inverno seco. A área experimental passou por uma transição de culturas agrícolas, vindo de um período de 8 anos de ocupação com a cultura da laranja e atualmente encontra-se com o primeiro plantio de cana-de-açúcar.

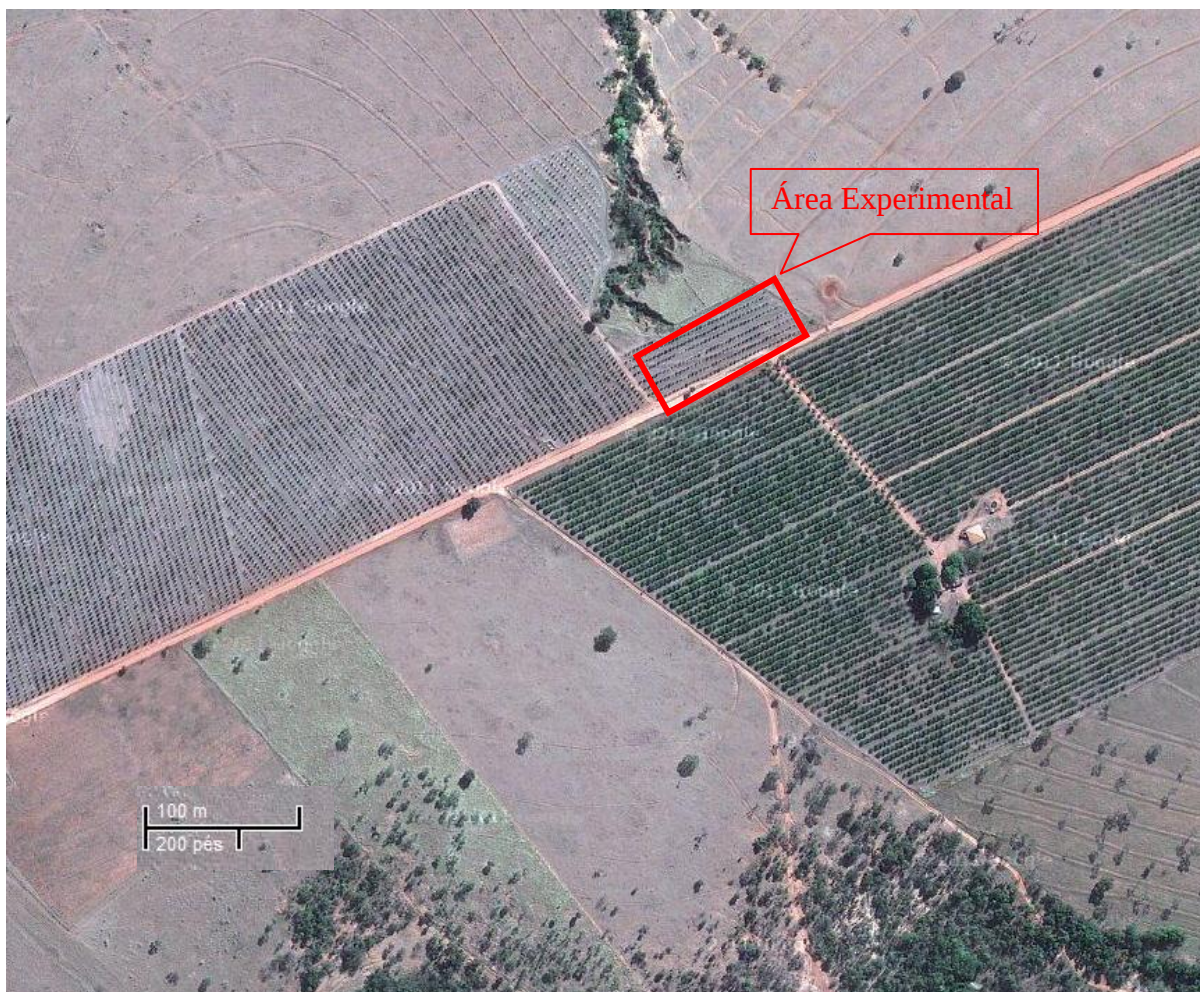


Figura 1. Imagens de satélite mostrando a localização geográfica da fazenda São Conrado.

No dia 03 de janeiro de 2013, iniciou-se o processo de preparo da área com a retirada dos pés de laranja utilizando uma pá carregadeira. As operações de preparo do solo iniciaram em 20 de janeiro de 2013 com o dessecamento químico com o uso do herbicida. No dia 01 de março de 2013, foi aplicado gesso agrícola (CaSO_4), a uma quantidade de $1,2 \text{ t ha}^{-1}$. A aplicação de calcário foi realizada no dia 04 de março de 2013, usando o método a lanço, utilizado calcário dolomítico com PRNT de 90%, a uma quantidade de $2,3 \text{ t ha}^{-1}$. No dia 07 de março de 2013, foi realizado o preparo mecanizado do solo, com duas gradagens com grade rome e uma com grade niveladora, sendo o preparo uniforme em toda área. Ao final destas operações, no dia 10 de março de 2013 foi realizada a sulcagem e dois dias após começou o plantio da cana-de-açúcar, com o término do plantio no dia 25 de abril de 2013.

Após 5 dias das operações de preparo do solo e plantio da cana-de-açúcar ao longo da área experimental de 40 x 75 m, foram marcados 52 pontos e inseridos colares de PVC com espaçamento de 2 m entre os colares (Figura 2). Sendo 13 pontos em cada tratamento: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário), Entrelinha/CC (Entrelinha de plantio com aplicação de calcário), Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (Entrelinha de plantio sem aplicação de calcário). Um dia após a inserção dos colares no solo começou as medições da FCO₂.

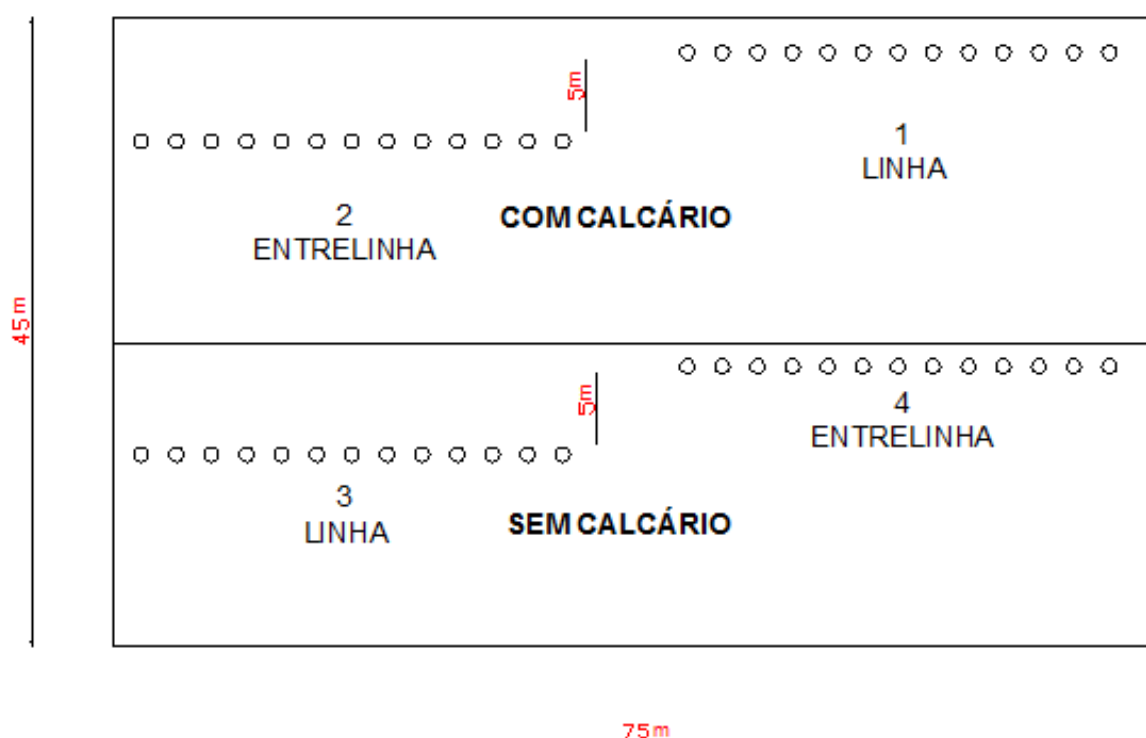


Figura 2. Descrição de montagem do experimento. O = Colares de PVC; 1 e 2 = Áreas com aplicação de calcário; 3 e 4 = Áreas sem aplicação de calcário; Linha = Linha de Plantio de Laranja; Entrelinha = Entrelinha de Plantio de Laranja

A área experimental passou por um processo de transição de culturas, sendo um cenário de laranja passando para cana-de-açúcar.



Figura 3. Área plantada com laranja (A), retirada dos pés de laranja (B), área dessecada (C), aplicação de calcário (D), área preparada e plantada com cana-de-açúcar (E), colares de PVC instalados para medição da FCO_2 (F), equipamento de medição da FCO_2 (G), coleta de solo para análise química (H).

Para fins de caracterização química do solo, foram realizadas coletas de amostras compostas numa profundidade de (0 - 0,20 m) nos diferentes tratamentos avaliados 15 dias após o termino das medições (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos do solo nos diferentes tratamentos avaliados.

Propriedades	Tratamentos			
	Linha/CC	Entrelinha/CC	Linha/SC	Entrelinha/SC
pH (H ₂ O)	6,2	5,9	5,7	5,4
H+Al (mmolc dm ⁻³)	13,1	14,4	21,1	18,4
Mg (mmolc dm ⁻³)	15,0	13,0	8,0	9,0
Ca (mmolc dm ⁻³)	52,0	41,0	34,0	35,0
K (mmolc dm ⁻³)	2,0	0,6	0,9	2,1
P (mg dm ⁻³)	12,0	11,0	67,0	52,0
SB (mmolc dm ⁻³)	69,0	54,6	42,9	46,1
CTC (mmolc dm ⁻³)	82,1	69,0	64,0	64,5
V (%)	84,0	79,0	67,0	71,5
MOS (g dm ⁻³)	23,0	22,0	22,0	18,0

Linha/CC = Linha de plantio de laranja com aplicação de calcário; Entrelinha/CC = Entrelinha de plantio de laranja com aplicação de calcário; Linha/SC = Linha de plantio de laranja sem aplicação de calcário; Entrelinha/SC = Entrelinha de plantio de laranja sem aplicação de calcário; Ca = cálcio trocável; Mg = magnésio trocável; H+Al = acidez potencial; K = potássio trocável; P = fósforo; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; V% = saturação por bases; MOS = matéria orgânica do solo.

As emissão de CO₂ do solo foram coletadas no período das 8:00 às 10: 30 h e registrada utilizando-se de um sistema portátil da LI-COR (LI-8100), Nebraska EUA. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de CO₂ dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA Infrared Gas Analyzer). Este é acoplado sobre colares de PVC previamente inseridos no solo.

Concomitantemente às leituras de emissão de CO₂, foram conduzidas avaliações da temperatura do solo na camada de (0 - 0,12 m) de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor portátil), que é parte integrante do sistema ao qual a câmara é acoplada. A umidade do solo também foi medida em todos os pontos, utilizando-se de um sistema portátil TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Australia), que avaliou a umidade disponível do solo (% em volume) na camada de (0 – 0,12 m).

Os dados foram analisados, inicialmente, por meio da estatística descritiva (média, erro-padrão da média, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação). A técnica estatística utilizada foi a análise de variância de medidas repetidas com os tratamentos nas parcelas e o tempo nas subparcelas no delineamento inteiramente casualizado com 13 repetições. A comparação de médias foi realizada por meio do teste de Tukey. Um valor de $p < 0,05$ foi considerado. Todos os resultados da análise estatística foram realizados no programa SAS (SAS versão 9.1, SAS instituto, Cary, NC, EUA). As emissões acumuladas de CO_2 do solo, durante todo o período de estudo, foram estimadas pelo método da área abaixo das curvas de emissão, utilizando o software R (R Development Core Team, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os maiores valores médios da FCO_2 , ao longo do período de estudo, foram observados no tratamento Linha/CC ($9,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) onde também foi constatado após análise química do solo maior pH (6,2) (Tabela 1), seguido por Linha/SC ($6,52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor valor na Entrelinha/SC ($4,63 \text{ } 52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ambos diferindo significativamente ($p < 0,05$). Somente os tratamentos Entrelinha/CC e Linha/SC não diferiram ($p > 0,05$) (Tabela 2).

O efeito da aplicação do calcário na linha de plantio pode ser observado quando comparamos Linha/CC e Linha/SC, sendo a FCO_2 48% superior quando realizada a calagem. Já em relação à Entrelinha/CC e Entrelinha/SC a FCO_2 foi 41% maior também no tratamento com aplicação de calcário.

A posição de aplicação (linha e entrelinha) também influenciou a FCO_2 , sendo que as maiores emissões foram observadas na linha de plantio independente da aplicação de calcário. Este efeito é claramente observado ao comparar os tratamentos: Linha/SC e Entrelinha/CC, onde o solo não corrigido pela calagem apresentou valores médios semelhantes ao solo com aplicação de calcário.

Fuentes et al. (2006), quantificando a taxa de respiração do solo em sistemas de plantio direto submetido ao processo de calagem, observaram que a emissão de C-CO₂ aumentou significativamente com a aplicação de calcário, uma vez que a fração prontamente mineralizável da MOS, também aumentou neste sistema de manejo, os autores discutem que a calagem colaborou para que um conjunto mais estável de matéria orgânica estivesse disponível para a mineralização após a sua reação com o carbonato de cálcio (CaCO₃).

Tabela 2. Estatísticas descritivas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo nos tratamentos.

Tratamento	Média	EP	DP	Mínimo	Máximo	CV (%)
Emissão de CO ₂ do solo (μmol m ⁻² s ⁻¹)						
Linha/CC	9,63 a	0,30	3,74	2,34	26,76	38,86
Entrelinha/CC	5,92 b	0,19	2,40	1,11	15,88	40,51
Linha/SC	6,52 b	0,25	3,14	1,21	15,35	48,22
Entrelinha/SC	4,63 c	0,26	3,30	0,42	33,19	71,38
Temperatura do solo (°C)						
Linha/CC	26,8 b	0,14	1,69	22,39	29,76	6,29
Entrelinha/CC	26,7 b	0,18	2,28	22,47	42,12	8,55
Linha/SC	27,6 a	0,17	2,07	22,39	31,16	7,50
Entrelinha/SC	27,5 a	0,17	2,13	22,37	31,86	7,74
Umidade do solo (% de volume)						
Linha/CC	12,01 b	0,17	2,18	7,00	19,00	18,11
Entrelinha/CC	12,21 b	0,18	2,22	8,00	19,00	18,21
Linha/SC	13,35 a	0,24	3,02	8,00	22,00	22,64
Entrelinha/SC	13,19 a	0,23	2,87	8,00	21,00	21,76

N = 156; DP = desvio-padrão; EP = erro-padrão da média; CV = coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Marcelo et al. (2012) em estudo para avaliar o efeito da calagem na respiração do solo, verificaram que quando o calcário foi aplicado na dose recomendada a FCO₂ foi 24% maior quando comparada à do solo sem aplicação de calcário. Situação semelhante foi constatada nesse estudo, em que a emissão média de CO₂ na Linha/CC foi 32% maior do que na Linha/SC.

Diante dos elevados valores de FCO₂ nos diferentes tratamentos avaliados, possivelmente, além do efeito da calagem, o preparo do solo também pode estar influenciando o fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera. Maiores emissões de CO₂

induzidas pelo preparo do solo também tem sido reportadas por diversos autores (REICOSKY et al., 1997; LA SCALA et al., 2008; TEIXEIRA et al., 2010).

Os maiores valores da temperatura do solo (T_s), no decorrer do período estudado, foram observados nos tratamentos onde não houve a aplicação de calcário na reforma: Linha/SC (27,6 °C) seguido pela Entrelinha/SC (27,5 °C). Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos: Linha/CC (26,8 °C) e Entrelinha/CC (26,7 °C) e entre os tratamentos: Linha/SC e Entrelinha/SC (Tabela 2). Assim como o ocorrido com a T_s , os maiores valores médios da umidade do solo (U_s), durante o período de estudo, foram observados nos tratamentos sem aplicação de calcário: Linha/SC (13,35%) e Entrelinha/SC (13,19%), diferindo ($p < 0,05$) dos tratamentos: Linha/CC (12,01%) e Entrelinha/CC (12,21%) com os menores valores (Tabela 2).

O coeficiente de variação (CV) para a U_s são considerados médios (CV < 24%), segundo o critério de classificação proposto por Warrick e Nielsen (1980). Para a FCO_2 , o CV é considerado alto para todos os tratamentos (CV > 24%). Entretanto, os valores do CV observados para a FCO_2 são similares àqueles registrados em áreas de floresta (EPRON et al., 2004; TEDESCHI et al., 2006) e de cultivo de cana-de-açúcar (BRITO et al., 2009; PANOSSO et al., 2011). La Scala et al. (2003) avaliando a variabilidade espacial e temporal da emissão de CO_2 em solo desprovido de vegetação, encontraram valores menores do CV (20,3% a 28,7%) para esta propriedade.

Para a temperatura do solo o CV foi considerado baixo (CV < 12%) para todos os tratamentos. Brito et al. (2009), em estudos desenvolvidos em áreas de cana-de-açúcar, avaliando o efeito de diferentes posições topográficas e atributos do solo na FCO_2 , ao contrário deste estudo, encontraram valores médios referentes à T_s (CV=16,43%).

Os resultados da análise de variância de medidas repetidas no tempo para a emissão de CO_2 do solo, temperatura e umidade do solo indicam um efeito significativo ($p < 0,001$) da interação entre a posição (linha e entrelinha), a aplicação (com aplicação ou sem a aplicação de calcário) e o tempo (dias de avaliação). Portanto, o padrão de variabilidade temporal da FCO_2 , T_s e U_s não foram o mesmo para os tratamentos ao longo dos dias avaliados.

O tratamento Linha/CC apresentou os maiores valores de FCO_2 em todos os dias quando comparado aos demais tratamentos avaliados. Os valores médios diários da FCO_2 variaram de $12,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 102) a $4,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 104) (Tabela 3 e Figura 4a).

Na Entrelinha/CC houve uma variação de $7,99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 105) a $2,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 104). Na Linha/SC esses valores corresponderam a $7,59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 98) a $3,19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 104) e na Entrelinha/SC os valores médios diários da FCO_2 variaram de $7,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 92) a $2,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (dia 104). No dia 104 houve as menores emissões de CO_2 em todos os tratamentos avaliados (Tabela 3 e Figura 4a).

Tabela 3. Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a emissão de CO_2 do solo ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Tratamento	Dias Julianos											
	91		92		93		95		96		97	
Linha/CC	9,65	A ab	10,34	A ab	9,90	A ab	10,39	A ab	7,91	A b	10,56	A ab
Entrelinha/CC	5,58	BC abc	5,99	B ab	5,89	B ab	6,29	C ab	4,82	B bc	7,46	B ab
Linha/SC	7,17	AB a	7,24	B a	6,93	B a	6,98	B a	5,20	AB ab	7,33	B a
Entrelinha/SC	3,81	C bc	7,60	AB a	6,09	B ab	5,67	C ab	3,73	B bc	4,75	B abc

Tratamento	Dias Julianos											
	98		99		101		102		104		105	
Linha/CC	10,63	A ab	10,09	A ab	8,77	A b	12,23	A a	4,63	A c	10,45	A ab
Entrelinha/CC	6,11	B ab	5,50	B abc	6,25	AB ab	6,33	BC ab	2,87	AB c	7,99	AB a
Linha/SC	7,59	B a	6,77	B a	5,45	B ab	7,15	B a	3,19	AB b	7,21	BC a
Entrelinha/SC	4,85	B abc	4,25	B bc	4,05	B bc	4,07	C bc	2,20	B c	4,50	C BC

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Embora variações na FCO_2 tenham sido observadas nos quatro tratamentos, após as precipitações na área de estudo, quando comparadas às médias diárias da FCO_2 , observou-se que o tratamento Linha/CC foi mais sensível às variações no teor de água no solo, depois de um aumento inicial, ocorria uma rápida queda nos valores médios diários da FCO_2 .

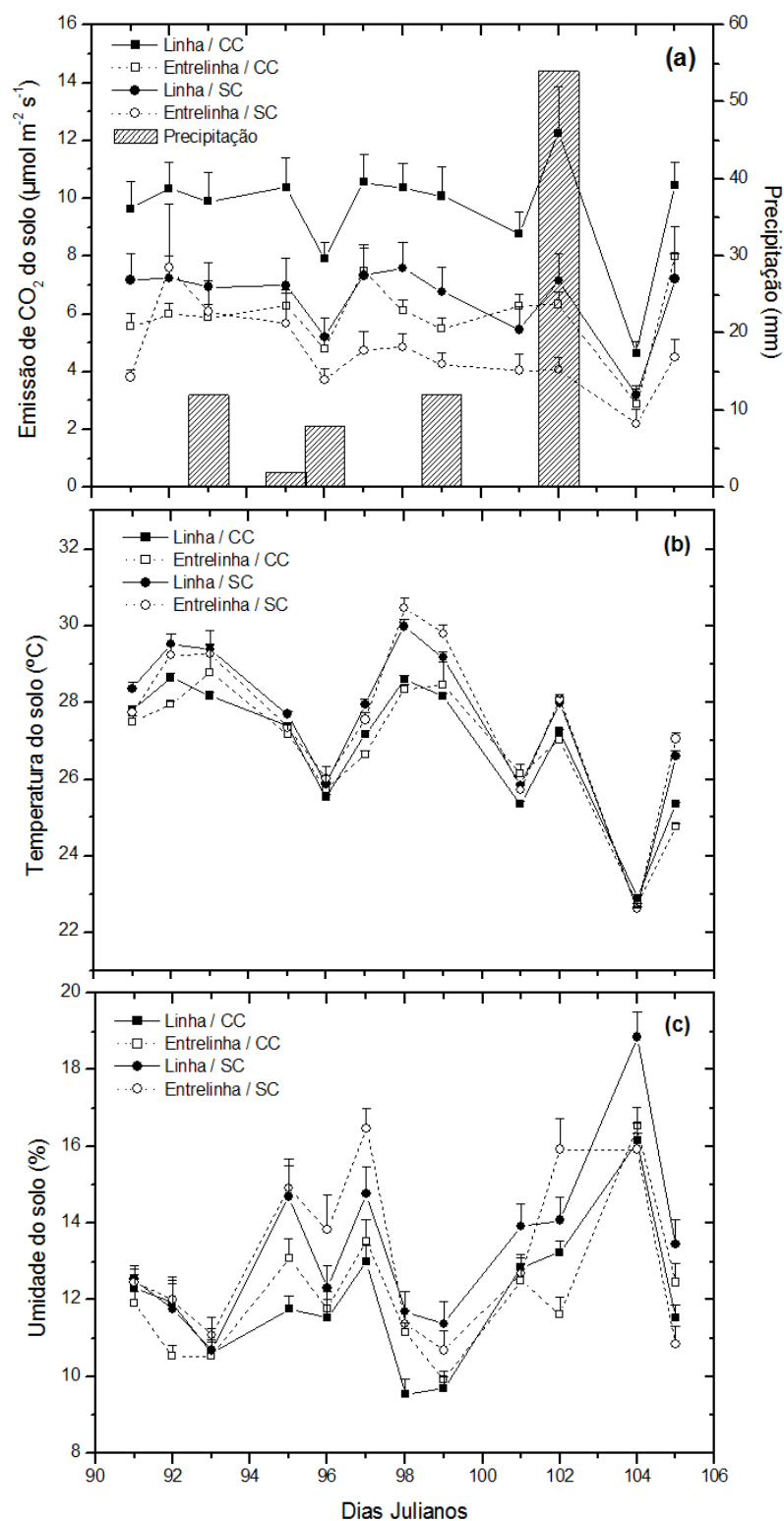


Figura 4. Valor médio da emissão de CO_2 do solo e precipitações ocorridas no período de estudo (a), temperatura (b) e umidade do solo (c) com metade da barra de erro-padrão nos tratamentos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário), Entrelinha/CC (Entrelinha de plantio com aplicação de calcário), Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (Entrelinha de plantio sem aplicação de calcário).

Na Linha/CC houve um aumento de 40% na FCO_2 , quando comparados o valor médio do dia 101 ($8,77 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ao valor do dia 102 ($12,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Em adição, três dias depois, no dia 104, a FCO_2 caiu drasticamente para $4,63 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, um valor 90% inferior ao observado no dia 101 e 164% inferior ao observado no dia 102. Estes eventos podem ter relação com uma precipitação de 54 mm ocorrida na área de estudo no dia 102 no período da tarde.

La Scala et al. (2001) verificaram a interferência da precipitação sobre os fluxos de CO_2 do solo, em que os padrões das emissões foram alterados a curto prazo após a ocorrência de um período de chuvas. O mesmo fenômeno foi observado por Panosso et al. (2009) em estudos conduzidos em área de cana-de-açúcar queimada, no interior de São Paulo, os quais observaram aumento significativo na FCO_2 após uma precipitação de 21 mm. Reth et al. (2005), estudando um modelo que permite estimar o efluxo de CO_2 em solo desprovido de vegetação, observaram que a temperatura e o teor de água do solo foram os fatores que exerceram maior influência sobre a emissão de CO_2 do solo.

De acordo com Morell et al. (2010), as variações de temperatura e umidade influenciado pelas precipitações pluviométricas, afetam significativamente o fluxo de CO_2 do solo. Isso ocorre com maior intensidade em solos em que as práticas agrícolas realizam a quebra de sua estrutura física, colaborando com a infiltração da água no interior do solo (SAINJU et al., 2008).

As médias diárias da umidade do solo, durante o período avaliado, apresentaram variações com o advento das chuvas na área de estudo. No tratamento Entrelinha/CC a maior média no teor de água do solo foi observada no dia 104 (16,54 %) e a menor, no dia 99 (9,92%). Na Linha/CC, a maior média também foi registrada no dia 104 (16,15 %) e as menores, no dia 99 (9,69%) seguido do dia 98 (9,54 %). Na Entrelinha/SC, a maior média foi observada no dia 97 (16,46 %) e as menores nos dias: 93 (11,08%), 105 (10,85%) e 99 (10,69 %). Na Linha/SC a maior média da U_s foi observada no dia 104 (18,85 %) e a menor, no dia 93 (10,69 %) (Tabela 4 e Figura 4c). As maiores médias da U_s foram observadas no dia 104 com exceção do tratamento Entrelinha/SC. Conforme discutido anteriormente, no dia 102 ocorreu uma precipitação de 54 mm, o que colaborou para a uma elevação no teor de água do solo.

Tabela 4. Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a umidade do solo (% de volume).

Tratamento	Dias Julianos											
	91		92		93		95		96		97	
Linha/CC	12,31	A bc	11,92	A bcd	10,62	A cd	11,77	B bcd	11,54	B bc	13,00	B BC
Entrelinha/CC	11,92	A bcd	10,54	A cd	10,54	A cd	13,08	AB b	11,77	AB b	13,54	B b
Linha/SC	12,54	A bcde	11,77	A cde	10,69	A e	14,69	A b	12,31	AB b	14,77	AB b
Entrelinha/SC	12,46	A cde	12,00	A de	11,08	A e	14,92	A abc	13,85	A bc	16,46	A a

Tratamento	Dias Julianos											
	98		99		101		102		104		105	
Linha/CC	9,54	B d	9,69	B d	12,85	A bc	13,23	B b	16,15	B a	11,54	AB bcd
Entrelinha/CC	11,15	AB bcd	9,92	AB d	13,38	A b	11,62	B bcd	16,54	AB a	12,46	AB BC
Linha/SC	11,69	A cde	11,38	A de	13,92	A bc	14,08	AB bc	18,85	A a	13,46	A bcd
Entrelinha/SC	11,38	AB de	10,69	AB e	12,69	A cde	15,92	A ab	15,92	B ab	10,85	B e

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Conforme foram observadas variações na FCO_2 e na U_s , após eventos chuvosos, foi realizada a análise de correlação linear simples entre as variáveis. Feita a análise, foi constatado, índices de correlação linear, negativo e significativo ($r = -0,56$; $p < 0,05$), entre as médias diárias da FCO_2 e U_s na Linha/CC e também negativo e significativo ($r = -0,66$; $p < 0,05$) na Linha/SC, indicando que a umidade do solo afetou a emissão de CO_2 do solo na linha de plantio (Figura 5). Nos tratamentos Entrelinha/CC e Entrelinha/SC o valor da correlação foi não significativo ($p > 0,05$). A exemplo, do ocorrido neste estudo, de acordo com Lal (2001), o teor de água presente no solo pode tanto favorecer como inibir o processo de respiração do solo e a produção de CO_2 , uma vez que afeta a atividade microbiana e a difusão de gases. Esses efeitos são decorrentes principalmente da interação do teor de água e do espaço poroso do solo (ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ et al., 2008). Linn e Doran (1984) observaram que a atividade microbiológica e as emissões de CO_2 e N_2O foram intensificadas em condições próximas a 60% de preenchimento dos poros por água. Entretanto, a atividade microbiana aeróbica diminuiu com valores acima de 60% como resultado da aeração reduzida. No tratamento (Linha/CC) verificou-se maior sensibilidade da FCO_2 em relação a U_s , com coeficiente angular (-0,59) estando mais próximo da unidade, quando comparado ao tratamento (Linha/SC) com coeficiente angular (-0,38) (Figura 5). Moitinho et al. (2013), em estudos conduzidos em áreas de cana-de-açúcar, avaliando a influência do preparo do solo e

de resíduo da colheita sobre a emissão de CO_2 , temperatura e umidade do solo, ao contrário deste estudo, observaram valores menores (0,04 e 0,02) do coeficiente angular da relação entre a emissão de CO_2 e a umidade do solo.

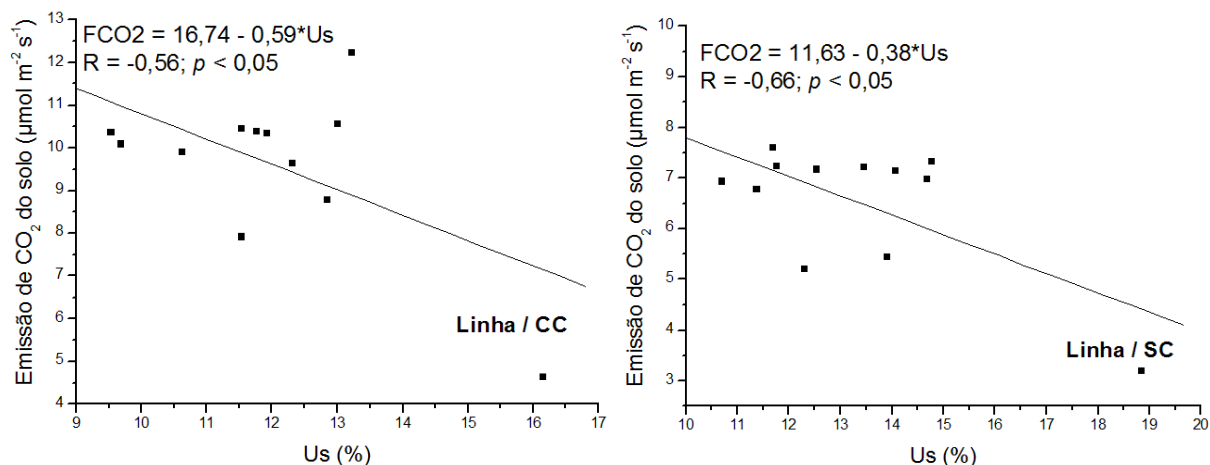


Figura 5. Correlação linear entre emissão de CO_2 e a umidade do solo nos tratamentos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário) e Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário).

Do desdobramento da interação entre a posição, aplicação e dias avaliados, observou-se que, quando comparados os tratamentos, os maiores valores da temperatura do solo foram observados na Linha/SC nos dias: 91 (28,3 °C); 92 (29,5 °C); 93 (29,3 °C); 95 (27,7 °C) e 98 (29,9 °C), sendo que, o menor valor foi registrado no dia 104 (22,6 °C) (Tabela 5 e Figura 4b).

Na Entrelinha/CC, a maior média da temperatura do solo foi constatada no dia 93 (28,8 °C), seguido do dia 98 (28,3 °C) e a menor, no dia 104 (22,7 °C). Na Linha/CC, a maior média foi registrada no dia 92 (28,6 °C) e a menor, no dia 104 (22,9 °C) e na Entrelinha/SC, os valores médios diários para a T_s variaram de 22,6 °C a 30,4 °C nos dias: 104 e 98, respectivamente (Tabela 5 e Figura 4b). No dia 104, assim como observado para a FCO_2 foram registrados os menores valores médios da T_s para todos os tratamentos.

A análise de correlação linear simples entre a FCO_2 e a T_s confirma a relação direta entre as variáveis (Figura 6). Houve uma correlação positiva e significativa na Linha/CC ($r = 0,76$; $p < 0,001$), assim como nos tratamentos: Linha/SC ($r = 0,89$; $p < 0,001$) e Entrelinha/SC ($r = 0,66$; $p < 0,05$). No tratamento (Linha/CC) verificou-se

maior sensibilidade da FCO_2 em relação à T_s com coeficiente angular (0,88) quando comparado aos tratamentos: Linha/SC e Entrelinha/SC (0,55 e 0,42), respectivamente (Figura 6).

Tabela 5. Desdobramento da interação entre os níveis do fator posição de plantio x níveis do fator aplicação do calcário para cada dia avaliado para a temperatura do solo ($^{\circ}C$).

Tratamento	Dias Julianos											
	91		92		93		95		96		97	
Linha/CC	27,81	AB ab	28,64	AB a	28,18	B ab	27,38	A b	25,53	A c	27,17	AB b
Entrelinha/CC	27,49	B bcd	27,96	B bc	28,77	B ab	27,18	A cd	25,74	A ef	26,65	B de
Linha/SC	28,35	A bc	29,57	A a	29,37	A ab	27,69	A cd	25,88	A e	27,96	A c
Entrelinha/SC	27,75	AB c	29,24	A b	29,26	A b	27,35	A c	26,02	A de	27,56	AB c

Tratamento	Dias Julianos											
	98		99		101		102		104		105	
Linha/CC	28,62	B a	28,16	B ab	25,35	A c	27,24	AB b	22,91	A d	25,35	B c
Entrelinha/CC	28,35	B ab	28,45	B ab	25,23	A f	27,04	B cd	22,72	A g	24,77	B f
Linha/SC	29,98	A a	29,16	AB b	25,83	A e	27,99	AB c	22,62	A f	26,60	A de
Entrelinha/SC	30,47	A a	29,79	A ab	25,72	A e	28,07	A c	22,61	A f	27,05	A cd

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem entre si, pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Diversos estudos reportam relações significativas entre a T_s e do ar com as emissões de CO_2 (JABRO et al., 2008; ALMAGRO et al., 2009; USSIRI; LAL, 2009). A temperatura do solo afeta diretamente a atividade microbiana e a respiração das raízes (SILVA-OLAYA et al., 2013). De acordo com Davidson et al. (2000), a taxa de respiração do solo aumenta de acordo com elevações na T_s , seguindo um modelo exponencial, explicando por que maiores emissões são observadas em regiões de clima tropical.

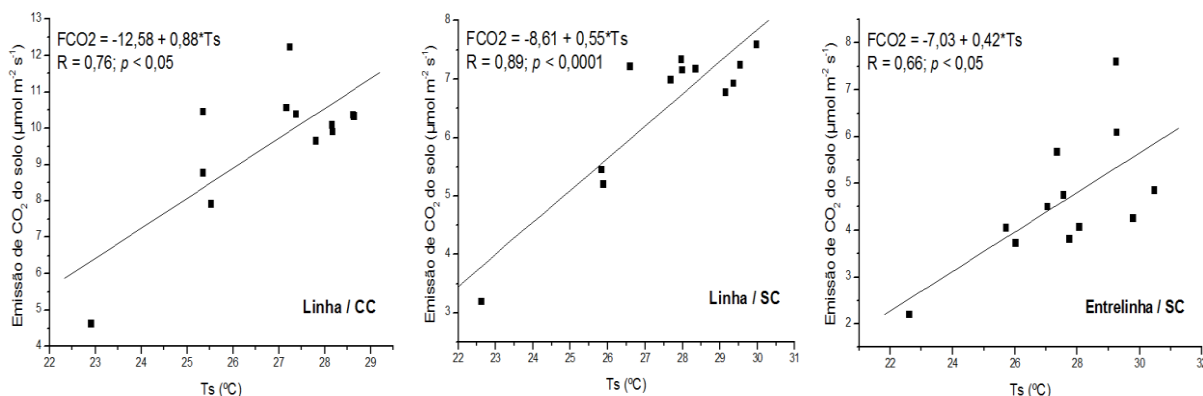


Figura 6. Correlação linear entre emissão de CO₂ e a temperatura do solo nos manejos: Linha/CC (Linha de plantio com aplicação de calcário); Linha/SC (Linha de plantio sem aplicação de calcário) e Entrelinha/SC (Entrelinha de plantio sem aplicação de calcário).

Os valores obtidos da emissão total de CO₂, contabilizados durante os 12 dias de estudo, nos diferentes tratamentos avaliados, demonstram que o tratamento onde foi aplicado calcário na linha de plantio (Linha/CC) foi responsável pela maior emissão total de CO₂ do solo (1.406,91 kg CO₂ ha⁻¹) diferindo significativamente ($p < 0,05$) dos tratamentos: Linha/SC (942,48 kg CO₂ ha⁻¹); Entrelinha/CC (854,52 kg CO₂ ha⁻¹) e Entrelinha/SC (681,96 kg CO₂ ha⁻¹), que apresentou o menor valor da emissão total de CO₂ do solo durante o período de estudo (Figura 7).

Observa-se que não somente a aplicação do calcário, mas também a posição de plantio da laranja influenciaram as emissões de CO₂ do solo, visto que o tratamento sem a aplicação de calcário na linha de plantio (Linha/SC) não diferiu ($p < 0,05$) do tratamento onde houve aplicação de calcário na entrelinha de plantio (Entrelinha/CC).

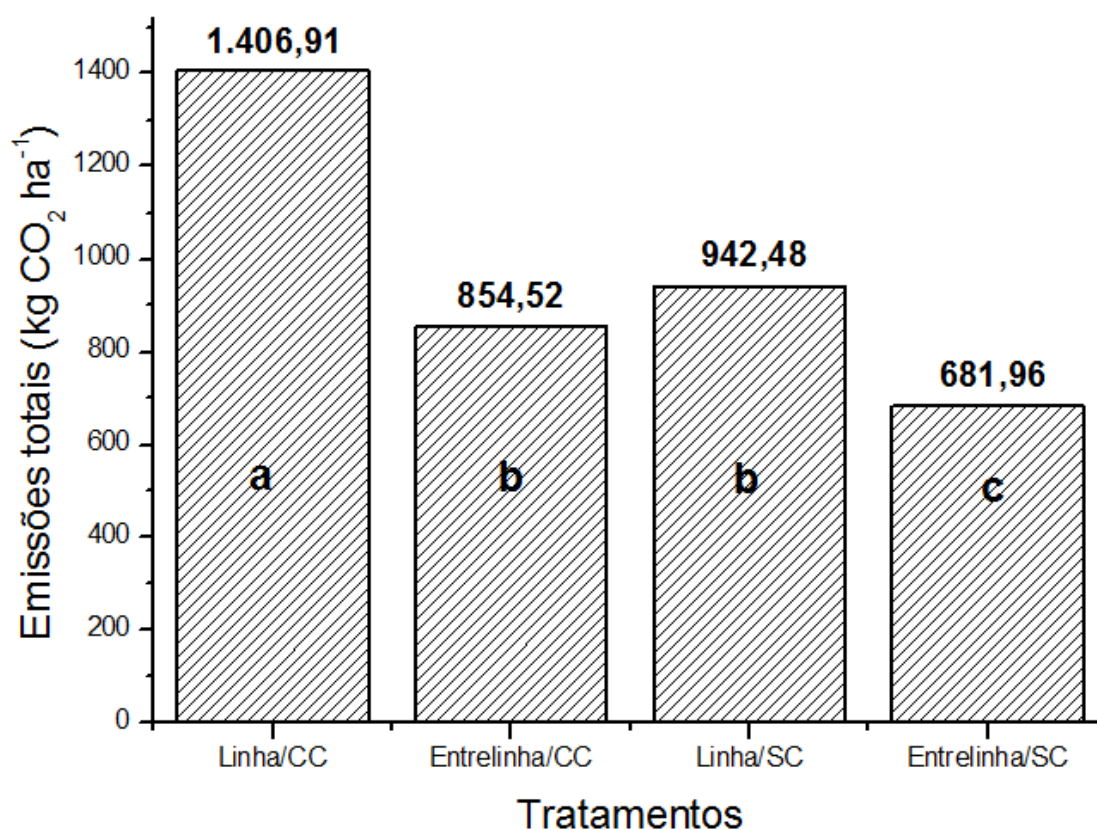


Figura 7. Emissão total de CO₂ (kg ha⁻¹) nos diferentes tratamentos avaliados em 12 dias de estudo. Valores médios com a mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Em adição, quando associadas à posição da linha de plantio e a aplicação de calcário (Linha/CC), observa-se que este tratamento foi responsável por uma emissão 49% e 64% maiores quando comparadas aquelas referentes aos tratamentos Linha/SC e Entrelinha/CC, respectivamente. Estudos conduzidos em diferentes condições edafoclimáticas, reportaram que a calagem foi a principal responsável pelo incremento na taxa de emissão CO₂ do solo para atmosfera (BERNOUX et al., 2003; CERRI et al., 2006; FUENTES et al., 2006; ALMARAZ et al., 2009; MARCELO et al., 2012).

O efeito da calagem sobre as emissões adicionais foi determinado pela subtração das emissões totais dos tratamentos onde o calcário foi aplicado (Linha/CC e Entrelinha/CC) dos tratamentos onde este não foi aplicado (Linha/SC e Entrelinha/SC). Quando comparados os tratamentos Linha/CC (1.406,90 kg CO₂ ha⁻¹) e Linha/SC (942,48 kg CO₂ ha⁻¹), observa-se que emissões adicionais de 464,42 Kg CO₂ ha⁻¹ foram induzidas pela aplicação do calcário no tratamento

Linha/CC. Quando comparadas as emissões dos tratamentos Entrelinha/CC (854,51 kg CO₂ ha⁻¹) e Entrelinha/SC (681,96 kg CO₂ ha⁻¹) as emissões adicionais provocadas pelo calcário diminuiu para 172,55 kg CO₂ ha⁻¹, embora a mesma quantidade de calcário tenha sido aplicada tanto na linha quanto na entrelinha de plantio.

Utilizando-se o fator de emissão de CO₂ para aplicação de calcário dolomítico adotado pelo IPCC (2006), constatou-se uma emissão adicional de 42% (0,464 t CO₂ ha⁻¹) em apenas 12 dias de estudo, de um total de 1,09 t CO₂ ha⁻¹ que teoricamente seriam emitidos dentro de um ano após a aplicação da calagem a uma taxa de 2,3 t ha⁻¹. De Figueiredo (2012), em estudo semelhante, observou valores correspondentes a 55,8% e 52,8% do conteúdo de carbono no calcário aplicado, supostamente liberado para a atmosfera na forma de CO₂ em áreas de cana-de-açúcar queimada (CQ) e cana-de-açúcar crua sem resíduos sobre a superfície do solo (CCsemres), em 25 dias após a aplicação.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste experimento e em sua discussão, pode-se concluir que:

As maiores emissões de CO₂ do solo ocorreram na linha de plantio onde houve a aplicação de calcário, sendo que não somente o processo de calagem, mas também a posição em que as avaliações foram realizadas influenciaram as emissões diárias de CO₂ do solo.

A emissão de CO₂ do solo está correlacionada positivamente com a temperatura do solo e negativamente com a umidade do solo, sendo que as precipitações ocorridas na área de estudo podem ter colaborado para estas associações.

Em apenas 12 dias de estudo houve uma emissão adicional de 42% do CO₂ que seria emitido em um ano pela aplicação do calcário dolomítico de acordo com fator de emissão adotado pelo IPCC (2006).

6 REFERÊNCIAS

ADU, J. K.; OADES, J. M. Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 109-115, 1978.

ALCARDE, J. C.; RODELLA, A. A. Qualidade e Legislação de fertilizantes e corretivos. In: **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 3. (2003) – Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 292-331.

ALMAGRO, M.; LÓPEZ, J.; QUEREJETA, J. I.; MARTÍNEZ-MENA, M. Temperature dependence of soil CO₂ efflux is strongly modulated by seasonal patterns of moisture availability in a Mediterranean ecosystem. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 594-605, 2009.

ALMARAZ, J. J.; ZHOU, X.; MABOOD, F.; MADRAMOOTOO, C.; ROCHETTED, P.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Greenhouse gas fluxes associated with soybean production under two tillage systems in Southwestern Quebec. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.104, n.1, p.134-139, 2009.

ÁLVARO - FUENTES, J.; MARTÍNEZ, C.; LÓPEZA, M. V.; ARRÚEA. J. L. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1-2, p. 331-341, 2007.

ANDERSSON, S.; VALEUR, I.; NILSSON, I.; Influence of lime on soil respiration, leaching of DOC, and C/S relationships in the mor humus of a Haplic podsol. **Environment International**, Kidlington, v.20, n. 1, p.81-88, 1994.

ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Reaplicação de calcário no sistema plantio diretoconsolidado. In: KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas, SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000. p.41-59.

AKINREMI, O. O.; MCGINN, S. M.; MCLEAN, H. D. J. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in barley and fallow plots. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 79, n. 2, p. 5-13, 1999.

BARBER, D. A. (1967). The effect of micro-organisms on the absorption of inorganic nutrients by intact plants. I. Apparatus and culture technique. *F. exp. Bot.*, 18, 163.

BEARE, M. H.; CABRERA, M. L.; HENDRIX, P. F.; COLEMAN, D. C. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, West Milford, v. 58, n. 1-2, p.787-795, 1994.

BEARE, M. H.; GREGORICH, E. G.; ST-GEORGES, P. Compaction effects on CO₂ and N₂O production during drying and rewetting of soil. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 611-621, 2009.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B.; CARVALHO, M. C. S.; CERRI, C. C. CO₂ emissions from liming of agricultural soils in Brazil. **Global Biogeochem Cycles**, Hoboken, v. 17, n. 2, p. 1049-1052, 2003.

BETTS, R. A. Offset of potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo. **Nature**, Londres, v. 408, n. 3, p. 187-190, 2000.

BONAN, G. B.; POLLARD, D.; THOMPSON, S. L. Wffects of boreal vegetation on global climate. **Nature**, Londres, v. 359, p. 716-718, 1992.

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

BUCKERIDGE, M. S.; AIDAR, M. P. M. Carbon sequestration in the rain forest: alternatives using environmentally friendly biotechnology. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 1-4, 2002.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: < <http://ruralcentro.uol.com.br/analises/cepea-analisa-a-crise-atual-dos-citricultores-3618#y=480> >. Acesso em: out. 2013.

CERRI, C. C.; MAIA, S. M. F.; GALDOS, M. V.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, n.6, p.831-843, 2009.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B. Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: Emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília, Ministério da Agricultura, 47p. 2006.

CHASE, T. N.; PIELKE, R.; KITTEL, T. G. F.; NEMANI, R. R.; RUNNING, S. W. Simulation impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter, **Climate Dynamics**, v.16, 93–105, 2000.

CHAVEZ, L. F.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LA SCALA, N.; ESCOBAR, L. F.; FIORIN, J. E.; CAMPOS, B. C. Carbon dioxide efflux in a Rhodic Hapludox as affected by tillage systems in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa MG, v. 33, n. 2, p. 325-334, 2009.

CHEN, I. C., HILL, J. K., OHLEMÜLLER, R., ROY, D. B.; THOMAS, C. D. Rapid Range Shifts of Species Associated with High Levels of Climate Warming. **Science**, Washington, v. 333, p. 1024-1026, 2011.

CHEN, J. C. P.; CHOU, C. **Cane Sugar Handbook**. A manual for cane sugar manufacturers and their chemists. 12 ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

CONAB, Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2012. Companhia Nacional de Abastecimento, 2013 Brasília. Disponível:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_05_09_11_59_boletim_cana_portugues_-_agosto_2013_2o_lev.pdf Safra 2011/2012>. Acesso em: set. 2013.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; JONES, C. D.; SPALL, S. A.; TOTTERDELL, I. J. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climatic model. **Nature**, Londres, v.108, n .2, p.184-187, 2000.

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

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

DE FIGUEIREDO, E. B. **Balanço de gases de efeito estufa e emissões de CO₂ do solo nos sistemas de colheita da cana-de-açúcar manual queimada e mecanizada crua.** 2012. 111 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2012.

DENEF, K. Influence of dry–wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, p. 1599-1611, 2001.

DORAN, J. W.; MIELKE, L. N.; POWER, J. F. Microbial activity as regulated by soil water-filled pore space. In: **International Congress of Soil Science**, 140, 1990, Kyoto.

ELLERT, B. H., JANZEN, H. H. Short-term influence of tillage on CO₂ fluxes from a semi-arid soil on the Canadian prairies. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 50, p. 21-32, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 2006. 412p.

EPRON, D.; NOUVELLON, Y.; ROUPSARD, O.; MOUVONDY, W.; MABIALA, A.; SAINT-ANDRÉ, L.; JOFFRE, R.; JOURDAN, C.; BONNEFOND, J.; BERBIGIER, P.; HAMEL, O. Spatial and temporal variations of soil respiration in a Eucalyptus plantation in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 202, n. 1, p.149-160, 2004.

FANG, C.; MONCRIEFF, J. B. The dependence of soil CO₂ efflux on temperature. **Soil Biology Biochemistry**, Amsterdam, v. 33, p. 155-165, 2001.

FIERER, N.; SCHIMEL, J. P. A proposed mechanism for the pulse in carbon dioxide production commonly observed following the rapid rewetting of a dry soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 798-805, 2003.

FORSTER, P., RAMASWAMY, V., ARTAXO, P., BERNTSEN, T., BETTS, R., FAHEY, D. W., HAYWOOD, J., LEAN, J., LOWE, D. C., MYHRE, G., NGANGA, J., PRINN, R., RAGA, G., SCHULZ, M., VAN DORLAND, R. Radiative Forcing of Climate Change, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge: University. Press, 2007, p. 129–234.

FORTIN, M. C.; ROCHETTE, P.; PATTEY, E. Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small-grain cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1541-1547, 1996.

FUENTES, J. P.; BEZDICEK, D.F.; FLURY, M.; ALBRECHT, S.; SMITH, J. L. Microbial activity affected by lime in a long-term no-till soil. **Soil Tillage & Research**, Amsterdam, v. 88, n.1-2, p.123-131, 2006.

FREITAS, H. C. **Efluxo de CO₂ do solo em uma pastagem na Amazônia (Rondônia): observações com câmara portátil e simulação do ciclo de carbono com o modelo SiB2**. 2001. 95f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2001.

GOVINDASAMY, B.; DUFFY, P. B. Land use Changes and Northern Hemisphere Cooling. **Geophysical Research Letters** Washington, v. 28, n. 2, p. 291-294, 2001.

HALVERSON, L. J.; JONES, T. M.; FIRESTONE, M. K. Release of intracellular solutes by four soil bacteria exposed to dilution stress. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1630-1637, 2000.

HANSON, P. J.; WULLSCHLEGER, S. D.; BOHLMAN, S. A.; TODD, D. E. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. **Tree Physiology**, Oxford v. 13, p. 1-15, 1993.

HEINEMEYER, A. Forest CO₂ efflux: uncovering the contribution and environmental responses of ectomycorrhizas. **Global Changes Biology**, Oxford, v. 13, p. 1786-1797, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: Cambridge: University Press, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC: Guidelines for National Green House Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Edited by: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. Japan: IGES; 2006. Chapter 11, N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. Chapter 2 Generic methodologies applicable to multiple land-use categories, 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC: The Scientific Basis. the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T.,Y. Ding, D.J. Griggs, M. Cambridge University Press, 2001. 811 p.

IQBAL, J.; LIN, S.; HU, R.; FENG, M. Temporal variability of soil-atmospheric CO₂ and CH₄ fluxes from different land uses in mid-subtropical China. **Atmospheric Environment, Oxford**, v. 43, n. 37, p. 5865-5875, 2009.

JABRO, J. D.; SAINJU, U.; STEVENS, W. B.; EVANS, R. G. Carbon dioxide flux as affected by tillage and irrigation in soil converted from perennial forages to annual crops. **Journal of Environmental Management**, Londres, v. 88, n. 4, p. 1478-1484, 2008.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3-4, p. 305-317, 2003.

JANSSENS, I. A.; KOWALSKI, A. S.; LONGDOZ, B.; CEULEMANS, R. Assessing forest soil CO₂ efflux: An in situ comparison of four techniques. **Tree Physiology, Oxford** v. 20, p. 23-32, 2001.

JENERETTE, G. D.; SCOTT, R. L.; HUXMAN, T. E. Whole ecosystem metabolic pulses following precipitation events. **Functional Ecology**, v. 22, p. 924-930, 2008.

KESSAVALOU, A.; DORAN, J. W.; MOSIER, A. R.; DRIJBER, R. A. Greenhouse gas fluxes following tillage and wetting in a wheatfallow cropping system. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 27, p. 1105–1116, 1998.

LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT R. F. Methodological challenges toward balance soil C pools and fluxes. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M., FOLLET, R. F.; STEWART B. A. (ed.). Assessment methods for soil carbon. Lewis Publishers, 2001.

LAL, R.; KIMBLE, J.; STEWART, B. A. World soils as a source or sink for radiatively-active gases. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**: advances in Soil Science. Boca Raton: CRC Lewis Publishers, 1995. p. 1-7.

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

LA SCALA, 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 & Tillage Research**, Amsterdam, v.91, n.1-2, p.244-248, 2006.

LA SCALA, N.; PANOSSO, A. R.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial e temporal da emissão de CO₂ num latossolo desprovido de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 88-95, 2003.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in southern Brasil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 62, n. 3-4, p.163-166, 2001.

LEVINE, R.; LOAYZA, N.; BECK, T. Financial Intermediation and Growth: Causality and Causes. **Journal of Monetary Economics**, Amsterdam, v. 46, p. 31-77, 2000.

LINN, D. M.; DORAN, J. W. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Amsterdam, v.48, n.6, p. 1267-1272, 1984.

LUO, Y.; ZHOU, X. Soil respiration and the environment, Academic Press, ISBN 978-0-12-088782-8, San Diego, CA, USA. 2006.

MANTELATTO, P. E. **Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento**, 200, 272 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MARCELO, A. V.; CORA, J.E.; LA SCALA, N. Influence of liming on residual soil respiration and chemical properties in a tropical no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG v.36, n.1, p. 45-50, 2012.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. Tecnologia do açúcar. Produção e industrialização da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001.

MIKHA, M. M.; RICE, C. W.; MILLIKEN, G. A. Carbon and nitrogen mineralization as affected by drying and wetting of soil. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 339-347, 2005.

MOITINHO, M. R.; PADOVAN, M. P.; PANOSSO, A. R.; LA SCALA, 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.

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 & Environment**, Amsterdam, v.139, n.1-2, p.167–173, 2010.

PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargil, 1987, v. 1, 431p.

PANOSSO, A. R.; MARQUES, J.; MILORI, D. M. B. P.; FERRAUDO, A. S.; BARBIERI, D. M.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 111, n. 2, p.190–196, 2011.

PANOSSO, A. R.; RIBEIRO, C. E. R.; ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; PEREIRA, G. T.; LA SCALA, N. Variabilidade espacial da emissão de CO₂, da temperatura e umidade de um Latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de molhamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p.1017-1034, 2009.

PRIOR, S. A. Carbon dioxide-enriched agroecosystems: influence of tillage on short-term soil carbon dioxide efflux. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 26, p. 244-252, 1997.

RAYMENT, M. B.; JARVIS, P. G. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 32, p. 35-45, 2000.

REICOSKY, D. C.; REEVES, D. W.; PRIOR, S. A.; RUNION, G. B.; ROGERS, H. H.; RAPER, R. L. Effects of residue management and controlled traffic on carbon dioxide and water loss. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 52, n. 3-4, p. 153-165, 1999.

REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBET, H. A. Tillage – induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 41, n. 1-2, p.105-118,1997.

REICOSKY, D. C., LINDSTROM, M.J. Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, n. 6, p. 1237–1243, 1993.

RETH, S.; MARKUS, R.; FALGE, E. The effect of soil water content, soil temperature, soil pHvalue and the root mass on soil CO₂ efflux - A modified model. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, n. 1-2, p. 21-33, 2005.

RYAN, M. G.; LAW, B. E. Interpreting, measuring and modeling soil respiration. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 73, n. 1, p. 3-27, 2005.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A. Soil surface carbon dioxide fluxes induced by spring, summer and fall moldboard plowing in a sandy loam. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 3, p. 621–28, 1999.

ROSSETTO, R., SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.1, p. 105-119, 2004.

RUSSEL, C. A.; VORONEY, R. P. Carbon dioxide efflux from the floor of a boreal aspen forest. I. Relationship to environmental variables and estimates of C respired. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.78, p. 301-310, 1998.

RUSTAND, L. E.; HUNTINGTON, T. G.; BOONE, R. D. Controls on soil respiration: implication for climate change. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 1-6, 2000.

SAINJU, U. M.; JABRO, J. D.; STEVENS, W. B. Soil carbon dioxide emission and carbon content as affected by irrigation, tillage, cropping system, and nitrogen fertilization. **Journal Environment Quality**, Madison, v.37, n.1, p. 98–106, 2008.

SCHWARTZ, R. C.; BAUMHARDT, R. L.; EVETT, S. R. Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 110, n. 2, p. 221–229, 2010.

SHAH, Z.; ADAMS, W. A.; HAVEN, C. D. V. Composition and activity of the microbial population in an acidic upland soil and effects of liming. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 22, n. 22, p. 257-264, 1990.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA JR., N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 8, n. 1, p.1-8, 2013.

SIX, J.; FREY, S. D.; THIES, R. K.; BATTEN, K. M. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p.555-569, 2006.

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**, Oxford, v. 54, p. 779-791, 2003.

TEDESCHI, V.; REY, A.; MANCA, G.; VALENTINI, R.; JARVIS, P.L. E, BORGHETTI, M. Soil respiration in a Mediterranean oak forest at different developmental stages after coppicing. **Global Change Biology**, Maldem, v. 12, n. 1, p. 110–121, 2006.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. Escolha do corretivo da acidez do solo. In:KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: SBCS - Núcleo Regional Sul, 2000, p. 95-113.

TEIXEIRA, L. G.; LOPES, A; LA SCALA, 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.

USSIRI, D. A. N.; LAL, R. Long – term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2009.

VANZOLINI, S. S.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2006, 415 p.

VARGAS, R.; ALLEN, M. F. Environmental controls and the influence of vegetation type, fine roots and rhizomorphs on diel and seasonal variation in soil respiration. **New Phytologist**, Cambridge v. 179, p. 460-471, 2008.

WARRICK, A. W. E; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). Applications of soil physics. New York: Academic Press, 1980. p. 319:344.

WANG, W.; FENG, J.; OIKAWA, T. Contribution of root and microbial respiration to soil CO₂ efflux and their environmental controls in a humid temperate grassland of Japan. **Pedosphere**, Beijing, v.19, n.1, p.31-39, 2009.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 91, n. 1-3, p.217-232, 2002.

XU, M.; QI, Y. Spatial and seasonal variation of Q₁₀ determined by soil respiration measurements at a Sierra Nevada forest. **Global Biogeochemistry Cycles**, v. 15, p. 687-696, 2001a.

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**, Oxford, v. 7, p. 667-677, 2001b.

ZHANG, H.; WANG, X.; FENG, Z.; PANG, J.; LU, F.; OUYANG, Z.; ZHENG, H.; LIU, W.; HUI, D. Soil temperature and moisture sensitivities of soil CO₂ efflux before and after tillage in a wheat field of Loess Plateau, China. **Journal of Environmental Sciences**, Los Angeles, v. 23, n. 1, p. 79-86, 2011.