

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DOS RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA EMISSÃO
DE CO₂ EM CONDIÇÃO SEM DISTÚRPIO E APÓS PREPARO
DO SOLO, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO NO SUDESTE DO
BRASIL**

Mariana Marotti Corradi

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2011

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EFEITO DOS RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA EMISSÃO
DE CO₂ EM CONDIÇÃO SEM DISTÚRBIO E APÓS PREPARO
DO SOLO, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO NO SUDESTE DO
BRASIL**

Mariana Marotti Corradi

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 (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2011

C823e Corradi, Mariana Marotti
Efeito dos resíduos de cana-de-açúcar na emissão de CO₂ em
condição sem distúrbio e após preparo do solo, em áreas de produção
no sudeste do Brasil / Mariana Marotti Corradi. -- Jaboticabal, 2011
viii, 53 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011
Orientador: Newton La Scala Júnior
Banca examinadora: Carlos Eduardo Pellegrino Marcílio Vieira
Martins Filho
Bibliografia

1. Respiração do solo. 2. Resíduo de cultura. 3. Efeito estufa. 4.
Mudança climática. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.433.3

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARIANA MAROTTI CORRADI – Filha de Nelson Corradi e Cecília Maria Marotti Corradi, nasceu em São Bernardo do Campo, São Paulo no dia 11 de dezembro de 1982. Em março de 2002 ingressou no Curso de Agronomia pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP. Foi bolsista de iniciação científica pelo programa PIBIC/CNPq durante o período de agosto de 2003 à agosto de 2005. Foi bolsista do programa de apoio ao estudante PROEX - monitoria de março à dezembro de 2006. Trabalhou como engenheira agrônoma do departamento de meio ambiente da Prefeitura Municipal de Taboão da Serra de abril de 2007 a dezembro de 2008. Iniciou em março de 2009 o Curso de Mestrado em Agronomia (Produção vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP. No mês de julho de 2011 submeteu-se à banca para a defesa de Dissertação, sendo aprovada como Mestre em Agronomia.

A Pedra

"O distraído nela tropeçou
O bruto a usou como projétil
O empreendedor, usando-a, construiu
O camponês, cansado da lida, dela fez assento
Para meninos, foi brinquedo
Drummond a poetizou
Davi matou Golias
Por fim, o artista concebeu a mais bela escultura
Em todos os casos, a diferença não era a pedra, mas o homem."
Não existe 'pedra' no seu caminho que você não possa aproveitá-la para
o seu próprio crescimento.

Antônio Pereira Dias Neto

"Sei que o meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele, o oceano
seria menor"

Madre Teresa de Calcutá

DEDICO

Aos meus amados pais, Nelson Corradi e Cecilia Maria Marotti Corradi por serem os melhores pais e amigos que uma pessoa pode querer. Obrigada por todo o amor, carinho, compreensão, amizade e paciência. “Às vezes, nossas vidas são colocadas de cabeça para baixo, para que possamos aprender a viver de cabeça para cima”. Depois de um ano difícil, nada como agradecer pelas graças alcançadas, e eu agradecer por vocês existirem.

OFEREÇO

Aos meus amados irmãos, Daniel Marotti Corradi e Eduardo Marotti Corradi e às minhas cunhadas Daniela Liberato Colacchio e Anna Beatriz Storfer. Ofereço também às minhas amigas-irmãs Sabrina Ramos de Carvalho, Aline dos Santos, Isabel Faus da Silva Dias e Nathalia Carolina Peruzza Marchiani pelo carinho, compreensão e amizade.

“Amigos são anjos que nos deixam em pé quando nossas asas tem problemas em se lembrar como voar”.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre me guiar pelos bons caminhos.

Ao Prof. Dr. Newton La Scala Júnior pela orientação, paciência, dedicação e atenção dedicadas a mim neste trabalho.

Aos professores Afonso Lopes, Carlos Eduardo Pellegrino Cerri, José Marques Júnior e Marcílio Vieira Martins Filho que em muito contribuíram com suas sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

Ao amigo Alan Rodrigo Panosso pela ajuda nas análises estatísticas, paciência e amizade.

Ao amigo Norival Ignácio pela ajuda na condução do experimento de campo, pelas conversas, conselhos e carinho.

Aos colegas de trabalho, em especial Adrian Fukuda, Daniel De Bortoli Teixeira e Eduardo Barretto de Figueiredo, pelos momentos de campo e partilha de conhecimentos.

A todos os funcionários do departamento de Ciências Exatas: Carlão, Shirley, Vanessa e Zezé.

À Usina São Martinho, pela disponibilização da área experimental.

Ao programa de Pós Graduação em Produção Vegetal por acreditar em minha capacidade.

À FCAV/UNESP, por disponibilizar ferramentas e docentes para minha formação.

À CAPES pela ajuda financeira

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para o êxito deste trabalho e para a minha formação como Mestre em Produção Vegetal.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1.1 Introdução e Justificativa.....	1
1.2 Referências.....	5
CAPÍTULO 2 – O EFEITO DE RESÍDUOS VEGETAIS NA EMISSÃO DE CURTO PRAZO DE CO₂ EM ÁREAS PRODUTORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	9
2.1 Introdução.....	10
2.2 Materiais e Métodos.....	12
2.3 Resultados e Discussão.....	17
2.4 Conclusões.....	25
2.5 Referências.....	25
CAPÍTULO 3 - EMISSÃO DE C-CO₂ EM SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM RESÍDUOS VEGETAIS EM SUPERFÍCIE.....	33
3.1 Introdução.....	34
3.2 Materiais e Métodos.....	36
3.3 Resultados e Discussão.....	42
3.4 Conclusões.....	48
3.5 Referências.....	48

EFEITO DOS RESÍDUOS DE CANA-DE-AÇÚCAR NA EMISSÃO DE CO₂ EM CONDIÇÃO SEM DISTÚRPIO E APÓS PREPARO DO SOLO, EM ÁREAS DE PRODUÇÃO NO SUDESTE DO BRASIL

RESUMO – O manejo apropriado do solo e resíduos vegetais das culturas na agricultura podem resultar em diminuições significativas da emissão de CO₂ do solo e, conseqüentemente, pode ajudar a mitigar o efeito estufa. Dois experimentos de campo foram conduzidos em áreas de produção de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil, a fim de distinguir a contribuição do solo e dos resíduos de cana de açúcar, em relação à perda de CO₂. No primeiro experimento de campo, que foi conduzido por um período de 50 dias, foi investigado o efeito da presença ou não dos resíduos de cana-de-açúcar sobre as emissões de CO₂. As emissões totais foram tão elevadas quanto 553,62 g CO₂ m⁻², e tão baixa quanto 384,69 g CO₂ m⁻² nas parcelas sem cobertura e com cobertura vegetal, com uma densidade equivalente a 3 t ha⁻¹, respectivamente. Os resultados demonstram uma redução significativa das emissões de CO₂, indicando a conservação do carbono do solo após a aplicação de resíduos de cana-de-açúcar na superfície. No segundo experimento, estudou-se a influência do preparo sobre as emissões de CO₂, em parcelas com e sem resíduos da cultura. Para estimar a perda de carbono do solo induzida pelo preparo, as emissões após o preparo das parcelas, sem cobertura vegetal, foram comparadas àquelas das parcelas sem preparo. Os resultados indicam que a retirada dos resíduos de cana-de-açúcar completamente da superfície do solo, nas áreas colhidas mecanicamente, podem resultar em emissões adicionais tão altas quanto aquelas induzidas pelo preparo do solo.

Palavras-chave: respiração do solo, CO₂, cana-de-açúcar, resíduo de cultura, preparo do solo, efeito estufa, mudança climática.

EFFECT OF SUGARCANE CROP RESIDUES ON CO₂ EMISSION UNDER NO-TILL AND AFTER SOIL TILLAGE, IN PRODUCTION AREAS IN SOUTHEAST BRAZIL

SUMMARY – Appropriate management of soil and crop residues in agriculture can result in significant reductions in CO₂ emissions from soil and thus may help mitigate the greenhouse effect. Two experiments were conducted in sugarcane areas in southeast Brazil, in order to distinguish the contribution of soil and sugarcane crop residue, in relation to CO₂ loss. In the first experiment, that was conducted for a period of 50 days, was investigated the effect from sugarcane residues on CO₂ emissions. Total emissions were as high as 553.62 g CO₂ m⁻², and as low as 384.69 g CO₂ m⁻² in non-covered and covered plot with an equivalent density of 3 t ha⁻¹, respectively. These results show a significant reduction in CO₂ emissions, indicating conservation of soil carbon after the application of sugarcane residues on the soil surface. In the second experiment, was studied the influence of tillage on CO₂ emissions in plots with and without crop residues. To estimate the loss of soil carbon induced by tillage, the emissions after the tillage of the plots, without crop residues, were compared with those of plots without tillage. The results indicate that remove all the sugarcane residues from the soil surface, in areas harvested mechanically may result in additional emission as high as those induced by soil tillage.

Keywords: soil respiration, CO₂, sugarcane, crop residue, soil tillage, greenhouse, climate change.

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1 Introdução e Justificativa

A temperatura média da Terra está próxima de 15 °C, porque existem naturalmente gases em sua atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o vapor d'água (H₂O). Estes impedem a saída de radiação infra-vermelha emitida pela superfície da terra de volta ao espaço, resultando no aprisionamento dessa radiação próximo à superfície terrestre. Se não fossem estes gases, a Terra seria um ambiente gelado, com temperatura média de -17 °C. Este fenômeno é chamado de efeito estufa, que garante a vida e a diversidade biológica em nosso planeta.

Desde a revolução industrial, começou-se a usar intensivamente o carbono estocado durante milhões de anos na forma de carvão mineral, petróleo e gás natural, para gerar energia, para as indústrias e meios de transporte. As florestas, grandes depósitos de carbono, começaram a ser destruídas e queimadas cada vez mais rapidamente. Essas atividades relacionadas à produção industrial e uso agrícola dos solos têm causado aumento expressivo na concentração de alguns dos gases de efeito estufa, o que tem sido responsável, ao menos em parte, pelo aquecimento global e seus impactos negativos na agricultura e sociedade de modo geral. Esse fenômeno tem sido chamado de efeito estufa antrópico ou efeito estufa adicional (IPCC, 2007; GOMES, 2006).

Estima-se que, no período de 250 anos, de 1750 a 2000, a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera terrestre tenha crescido de 280 a 367 ppmv (partes por milhão volume) (HOUGHTON et al., 2001). De acordo com relatório recente do Painel Intergovernamental de Mudança do Clima – IPCC, lançado em 2007 (IPCC, 2007), recentemente, a taxa de aumento anual da concentração de CO₂ atmosférico é ainda mais elevada, próxima a 1,9 ppmv, atingindo-se uma concentração de CO₂ na atmosfera de 379 ppmv ao final de 2005.

Estudos diversos relacionam o aumento na concentração de gases do efeito estufa ao acréscimo na temperatura média da superfície global, que seria em torno de

0,6 °C nos últimos 100 anos (HOUGHTON et al., 2001). Segundo o último estudo feito pelo IPCC (2007), a temperatura pode aumentar cerca de 3°C até o final do século XXI. O mesmo pode-se dizer a respeito de outras observações como, por exemplo, a mudança no perfil de precipitações de chuvas, perdas nas produções agrícolas, devido a pouca resistência ao calor por parte das plantas, escassez de água potável, aumento de fenômenos naturais catastróficos como furacões e ciclones, ocasionando enchentes e erosões, diminuição das calotas polares e depleção de carbono do solo, todos esses fenômenos como sendo atribuídos a uma possível mudança do clima causada pelo efeito estufa (IPCC, 2007).

O CO₂ é o gás que contribuiu com maior parcela ao efeito estufa adicional, que prevaleceu nas últimas décadas (IPCC, 2007), é responsável por 60% do aquecimento global, ou efeito estufa antrópico, sendo o gás mais emitido devido às atividades como a queima de combustíveis fósseis e agricultura, incluindo-se as mudanças no uso da terra (corte, queima de biomassa vegetal e decomposição do carbono do solo). O fogo libera carbono da biomassa durante a combustão e acentua diretamente a liberação de carbono do solo, do qual a vegetação foi queimada. Efeitos indiretos do fogo podem levar à emissão de óxido nitroso, óxidos de nitrogênio e metano. Além disso, o solo exposto tende a acelerar a erosão e, possivelmente, leva a um aumento da taxa de mineralização do reservatório de carbono orgânico (LIMA, 2002).

De acordo com publicações do IPCC, a emissão de gases de efeito estufa em diversos setores deve ser reduzida, entre os quais se destaca a emissão de CO₂ do solo no setor agrícola. A principal estratégia para diminuir o fenômeno do aquecimento global seria diminuir as emissões e aumentar a absorção de CO₂ através do sequestro de carbono. Assim, os solos são fundamentais nessa estratégia uma vez que, dependendo do uso e manejo, podem ser uma importante fonte ou sumidouro de carbono. A estocagem de carbono nos solos é uma função do balanço de carbono, cujas entradas ocorrem na forma de resíduos vegetais, raízes ou fertilizantes orgânicos. Por outro lado, as liberações de carbono são decorrentes da mineralização de resíduos vegetais e da matéria orgânica do solo e ocorrem na forma de CO₂. Todas as opções de manejo que aumentam as entradas de matéria orgânica nos solos e que diminuem a

mineralização da matéria orgânica promovem o acúmulo de carbono nos solos (SADOWSKY et al., 1996).

O dióxido de carbono produzido no solo é resultado da decomposição da matéria orgânica promovida pela atividade microbiana, e pela respiração das raízes de plantas. No caso de solos desprovidos de vegetação, a produção de CO₂ em seu interior é totalmente relacionada à atividade microbiana sendo esta dependente de diversos aspectos físico-químicos. Este gás é liberado pelo solo num processo frequentemente referido como respiração do solo, sendo este fenômeno dependente dos processos de produção e transporte do mesmo gás no interior do solo. O processo de produção está relacionado com a disponibilidade de carbono lábil e atividade microbiana, enquanto que o processo de transporte é governado pelo gradiente de concentração do gás entre o interior do solo e a atmosfera, bem como pela capacidade de difusão deste gás no interior do solo. Esses processos são influenciados, em primeira ordem, pela temperatura e umidade do solo, atributos com grande variabilidade temporal e espacial e que guardam relação direta com as condições climáticas e topográficas do local onde o gás está sendo produzido. Entretanto, aspectos como o pH, a capacidade de troca catiônica, a textura e o teor de oxigênio presentes no solo apresentam propriedades que podem estar relacionadas à atividade microbiana no interior dos solos (KANG et al., 2000; WESTERN et al., 1999; DASSELAAR et al., 1998; PANOSSO, 2006).

A emissão de CO₂ do solo é uma das principais componentes do ciclo do carbono no planeta, influenciado pela dinâmica do carbono no solo. Estima-se que no Brasil, nos primeiros 30 cm de profundidade do solo, estejam armazenados cerca de 3,4 Pg C. Por isso, mudanças no uso da terra e nas práticas agrícolas são responsáveis por mais de dois terços do total de emissão de gases de efeito estufa (BERNOUX et al., 2002). Estudos têm mostrado que uma mudança racional do manejo com preparo do solo convencional, para aquele sem preparo, ou com preparo mínimo, pode ajudar a sequestrar até 14 g C m⁻² ano⁻¹, com as taxas mais altas nos primeiros 5 a 10 anos de conversão (WEST & POST, 2002).

As atividades agrícolas, tais como o desflorestamento, o preparo do solo, a calagem e a irrigação estão entre as principais atividades humanas que têm causado

decréscimo no teor de carbono do solo associado ao aumento na taxa de decomposição da matéria orgânica e contribuem com cerca de 20% das emissões globais de gases do efeito estufa (LOKUPITIYA & PAUSTIAN, 2006). No entanto, o plantio direto aliado com a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo tem sido identificado como uma estratégia importante para o sequestro de carbono da atmosfera (LAL, 2007).

A influência de práticas agrícolas na emissão de gases do efeito estufa é um assunto de grande interesse, especialmente quando se trata do CO₂, o principal componente do efeito estufa adicional e tem sido estudada por diversos autores, na qual se varia o sistema de preparo e o tipo de solo. A grande maioria dos resultados experimentais indica aumento da emissão induzido pelo preparo do solo, que perdura por horas, às vezes semanas após preparo. Este aumento tem sido atribuído a dois principais fatores, um deles é a quebra dos agregados, expondo matéria orgânica antes protegida à atividade microbiana e o outro, a descompactação do solo, com subsequente aumento da constante de decaimento da matéria orgânica lábil, especialmente via aumento na oxigenação e transporte gasoso no interior do solo (LA SCALA et al., 2008). O preparo do solo pode provocar um terceiro efeito adicional sobre as emissões quando incorpora e fragmenta matéria proveniente de restos da cultura agrícola anterior sobre o solo, como é o caso da presença da palha de cana-de-açúcar.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com 8,17 milhões de hectares plantados. O estado de São Paulo é o maior produtor com 4,38 milhões de hectares (CONAB, 2010). O manejo da cana-de-açúcar consiste em dois sistemas contrastantes, o sistema de colheita cana crua (sem queima) e o de cana queimada (para facilitar o trabalho de colheita manual). Aproximadamente 50% da área total é colhida sem a queima dos resíduos, e estima-se que nos próximos 10 anos esse valor chegue a 80%.

A despeito de todos os esforços, a transferência de carbono do solo para a atmosfera, após preparo, ainda é pouco estudada em áreas agrícolas tropicais, dificultando assim, a implantação de políticas públicas que disciplinariam as melhores práticas, no sentido de privilegiar aquelas que preservam o carbono no solo, ajudando a

minimizar o efeito estufa adicional. É preciso avaliar esses impactos e a intensidade de emissões dos sistemas produtivos agropecuários, que mesmo em áreas já tradicionais de agricultura podem ser reduzidos, para se propor novos modelos, mais eficientes e produtivos, e medidas de mitigação e adaptação que permitam ao país alcançar um desenvolvimento sustentável, o que inclui assumir sua responsabilidade e a tomada de atitudes sobre a sua contribuição para as mudanças climáticas globais e a conservação do seu patrimônio ambiental.

Não se pode mais buscar o desenvolvimento a qualquer custo, com a deterioração dos recursos naturais e humanos. Há que se buscar um desenvolvimento equilibrado e sustentável em que já se vislumbre um ponto de estabilização, pois não se pode mais conceber que os recursos naturais sejam inesgotáveis ou ilimitados para manter a qualidade de vida de uma população humana que cresça indefinidamente. Nesse sentido, o modelo de desenvolvimento agrícola do país, que também tem provocado grandes impactos ambientais negativos, precisa ser revisto.

Neste trabalho investigou-se a emissão de CO₂ do solo em áreas de produção de cana-de-açúcar a partir de dois estudos de campo. O primeiro visou compreender o efeito da retirada da palha de cana-de-açúcar da superfície do solo sobre as emissões C-CO₂ (ou CO₂) do solo. Num segundo estudo investigou-se o efeito de diversos sistemas de preparo sobre as emissões de C-CO₂, e o papel da palha de cana sobre tais emissões, induzidas pelo preparo. Experimentos de campo foram conduzidos em áreas de produção de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil a fim de avaliar a influência dos resíduos vegetais na superfície do solo e dos diferentes tipos de preparo do solo em emissões de CO₂ de curto prazo.

1.2 Referências

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 888-896, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2010. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – safra 2010 segundo levantamento, setembro 2010. Disponível em :

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana_setembro_2010.pdf>

DASSELAAR, A.V.P.V.; CORRÉ, W.J.; PRIEMÉ, A.; KLEMEDTSSON, Å. K.; WESLIEN, P.; STEIN, A.; KLEMEDTSSON; L.; OENEMA, O. Spatial variability of methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions from drained grassland. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 62, n. 33, p. 810-817, 1998.

GOMES, J. Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo. Tese de doutorado. Universidade federal do Rio Grande do Sul. 126p., 2006.

HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; XIAOSU, D. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – **IPCC, Climate Change 2001**. Cambridge: University Press, 944 p., 2001.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007. **The physical science basis**. Geneva: IPCC WGI Fourth Assessment Report, 18p., 2007.

KANG, S.; KIM, S.; OH, S.; LEE, D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 136, n. 1-3, p. 173-184, 2000.

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; BOLONHEZI, D.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage

described by a first-order decay model. **Soil and Tillage Research**. v. 99, p. 108-118. 2008. doi:10.1016/j.still.2008.01.006.

LAL, R. 2007. Soil Science and the Carbon Civilization. **Soil Science Society of America Journal** 71,1425-1437.

LIMA, M.A. Agropecuária brasileira e as mudanças climáticas globais: caracterização do problema, oportunidades e desafios. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.19, n. 3, p.451-472, 2002.

LOKUPITIYA, E.; PAUSTIAN, K. Agricultural Soil Greenhouse Gas Emissions: A Review of National Inventory Methods. **Journal of Environmental Quality** 35, 1413–1427, 2006. doi:10.2134/jeq2005.0157

PANOSSO, A.R. **Variabilidade espacial da emissão de CO₂, temperatura e umidade em latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada**. 63 f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2006.

SADOWSKI, M.; MEYERS, S.; MULLINS, F.; SATHAYE, J.; WISNIEWSKI, J. Methods for assessing greenhouse gas mitigation for countries with economies in transition: summary of workshop presentations and discussions. **Environmental Management**, v. 20, p. S3-S13, Supplement 1, 1996.

WEST, T.O.; POST, W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 66: 1930-1946, 2002.

WESTERN A.W.; GRAYSON, R.B.; BLÖSCHL, G.; WILLGOOSE, G.R.; MCMAHON T.A. Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. **Water Resources Research**, Washington, v. 35, n. 3, p.797-810, 1999.

CAPÍTULO 2 – O EFEITO DE RESÍDUOS VEGETAIS NA EMISSÃO DE CURTO PRAZO DE CO₂ EM ÁREAS PRODUTORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

RESUMO – A gestão adequada dos resíduos vegetais de culturas agrícolas pode produzir benefícios e melhorar a adaptação em um mundo mais quente e mais propenso à seca. Experimentos de campo foram conduzidos em áreas de produção de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil a fim de avaliar a influência dos resíduos vegetais na superfície do solo em emissões de CO₂ de curto prazo. O estudo foi conduzido por um período de 50 dias após a instalação das parcelas com e sem resíduos vegetais aplicados sobre a superfície do solo. Os efeitos dos resíduos vegetais da cana-de-açúcar sobre as emissões de CO₂ foram imediatos; as emissões das parcelas cobertas com resíduos da cultura e densidades equivalentes a 3 e 6 t ha⁻¹ (massa seca) foram inferiores às das parcelas sem cobertura vegetal. Além disso, as parcelas cobertas com restos vegetais tiveram temperatura mais baixa e umidade do solo mais elevada para a maioria dos dias de estudo, especialmente durante os períodos de seca. As emissões totais foram tão elevadas quanto 553,62 g CO₂ m⁻², e tão baixa quanto 384,69 g CO₂ m⁻² nas parcelas sem cobertura e com cobertura vegetal com uma densidade equivalente a 3 t ha⁻¹, respectivamente. Estes resultados indicam uma redução significativa das emissões de CO₂, além da conservação de carbono do solo durante o período de curto prazo após a aplicação de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo.

Palavras-chave: resíduo de cana-de-açúcar, emissão de CO₂.

2.1 Introdução

Estima-se que de 1750 a 2005, a concentração antropogênica de CO₂ na atmosfera aumentou de forma abrupta, e de acordo com o relatório mais recente do IPCC (2007), o lançamento anual de CO₂ recentemente atingiu a marca de 1,9 ppmv. Vários estudos têm relacionado o aumento gradual das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera à temperatura global, que foi de aproximadamente 0,6 °C mais elevada ao longo dos últimos 100 anos (HOUGHTON et al. 2001). Mudanças na precipitação e diminuição das calotas polares também tem sido atribuídas ao efeito estufa (IPCC, 2007).

No Brasil, a principal atividade que contribui para a emissão de gases de efeito estufa é o manejo e a conversão do solo em agricultura (CERRI et al., 2007). É estimado que no Brasil o estoque de carbono na camada de solo de 0-30 cm é em torno de 36,4 ± 3,4 Pg C. Por isso, mudanças no uso da terra e nas práticas agrícolas são responsáveis por mais de dois terços do total de emissão de gases de efeito estufa (BERNOUX et al., 2002).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com 8,17 milhões de hectares plantados. O estado de São Paulo é o maior produtor com 4,38 milhões de hectares (CONAB, 2010). A aplicação de práticas agrícolas conservacionistas, que permitem a permanência de restos de culturas sobre a superfície do solo e minimiza o distúrbio do solo, está se tornando cada vez mais comum por causa do aumento do interesse na agricultura sustentável (ROLDÁN et al., 2003). Assim, a cobertura do solo reduz as oscilações em sua temperatura, mantendo o solo mais frio e mais úmido durante as estações quentes e secas, promovendo também a atividade microbiana e o desenvolvimento das culturas (SOUZA ANDRADE et al., 2003).

Muitos fatores, incluindo temperatura, umidade e aeração são conhecidos por influenciar a produção e o transporte de CO₂ no solo (EDWARDS, 1975; KERN & JOHNSON, 1993; BALL et al., 1999; MIELNICK & DUGAS, 1999). Visto isso, estudos de solos tropicais têm investigado principalmente a relação entre emissão de CO₂,

temperatura e umidade do solo (MEIR et al., 1996; PANOSSO et al., 2009). Aumentos na temperatura do solo geralmente aumentam a atividade microbiológica, aceleram a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, reduzem os estoques de carbono do solo (LIU et al., 2010). A umidade do solo afeta a sua respiração de uma maneira complexa. Enquanto uma alta umidade promove uma melhor condição para atividade microbiana, emissões são reduzidas devido a uma diminuição na difusão dos gases conforme a umidade chega ao nível de saturação dos poros (BUYANOWSKI & WAGNER, 1983; FANG & MONCRIEFF, 2001).

A manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo é considerada responsável por grandes benefícios em termos de armazenamento de carbono no solo, um processo chamado sequestro de carbono no solo (RAZAFIMBELO et al., 2006;. GALDOS et al., 2009;. USSIRI & LAL, 2009). Além dos benefícios na temperatura e umidade do solo, resíduos vegetais na superfície tem demonstrado afetar outras propriedades do solo e, conseqüentemente, o habitat microbiano, a atividade microbiana e a dinâmica do carbono no solo (FRANCHINI et al., 2007).

No entanto, dependendo do tipo de resíduo, pode resultar na decomposição imediata dos resíduos orgânicos e a posterior liberação de CO₂ do solo (FRANCHINI et al., 2002). Para resíduos de leguminosas, a maioria dos resíduos orgânicos são rapidamente respirados pela biomassa microbiana e liberado para a atmosfera como CO₂ durante os primeiros dias após a aplicação do resíduo (ROBERTSON & THORBURN, 2007b). Pelo fato dos resíduos de leguminosas serem liberados rapidamente em comparação com outros estoques de carbono do solo (PARTON et al., 1987), os subprodutos de decomposição são prontamente incorporados à dinâmica do carbono do solo após os resíduos de culturas serem depositados (WANG et al., 2002). Por outro lado, CURTIN et al. (2000) mostrou que a redução das emissões de CO₂ do solo em áreas com plantio direto, em oposição ao preparo convencional, poderia ser atribuído à menor taxa de decomposição de resíduos que ocorre quando estes não são fragmentados e incorporados ao solo. DUIKER & LAL (2000) concluíram que a falta de diferença significativa no fluxo de CO₂ do solo relacionado com a deposição de resíduos de trigo na superfície do solo foi atribuída em parte à ausência de decomposição dos

resíduos. Assim, as diferenças na composição química dos resíduos também afetam a taxa de decomposição dos resíduos (FRANCHINI et al., 2002; ROBERTSON & THORBURN, 2007a). Dependendo da relação C: N, determinados resíduos decompõem de forma rápida e contribuem para as emissões.

A hipótese desse trabalho é que os resíduos da cana-de-açúcar, aplicados à superfície do solo, afetam as emissões de CO₂ a curto prazo. Neste estudo, investigou-se as emissões de CO₂ do solo a curto prazo, a temperatura e a umidade do solo após a deposição dos resíduos vegetais de cana-de-açúcar na superfície de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em áreas de produção de cana-de-açúcar.

2.2 Materiais e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda São Bento, localizada no noroeste do Estado de São Paulo no município de Guariba (SP) (Figura 2.1), tendo coordenadas geográficas de 21°24' Sul e 48°09' Oeste, com altitude média de 550 m acima do nível do mar. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico textura muito argilosa (LVef) (EMBRAPA, 2006). O teor de matéria orgânica foi determinado sendo próximo a 1,5% e o pH do solo foi de 4,7.

O clima da região é classificado, segundo Köepen, como sendo do tipo Aw, definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média nos últimos 30 anos de 22,2 °C. A precipitação pluviométrica anual média é de 1.425 mm, com período de maior concentração de outubro a março e com precipitações mais espaçadas e de menores intensidades de abril a setembro.

Pelos últimos 15 anos a área tem sido utilizada para produção de cana de açúcar no sistema de manejo “cana crua” que envolve a colheita mecânica deixando grandes quantidades de resíduos de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), em torno de 12 toneladas por hectare por ano no local estudado, onde basicamente folhas ficam presentes sobre a superfície do solo.

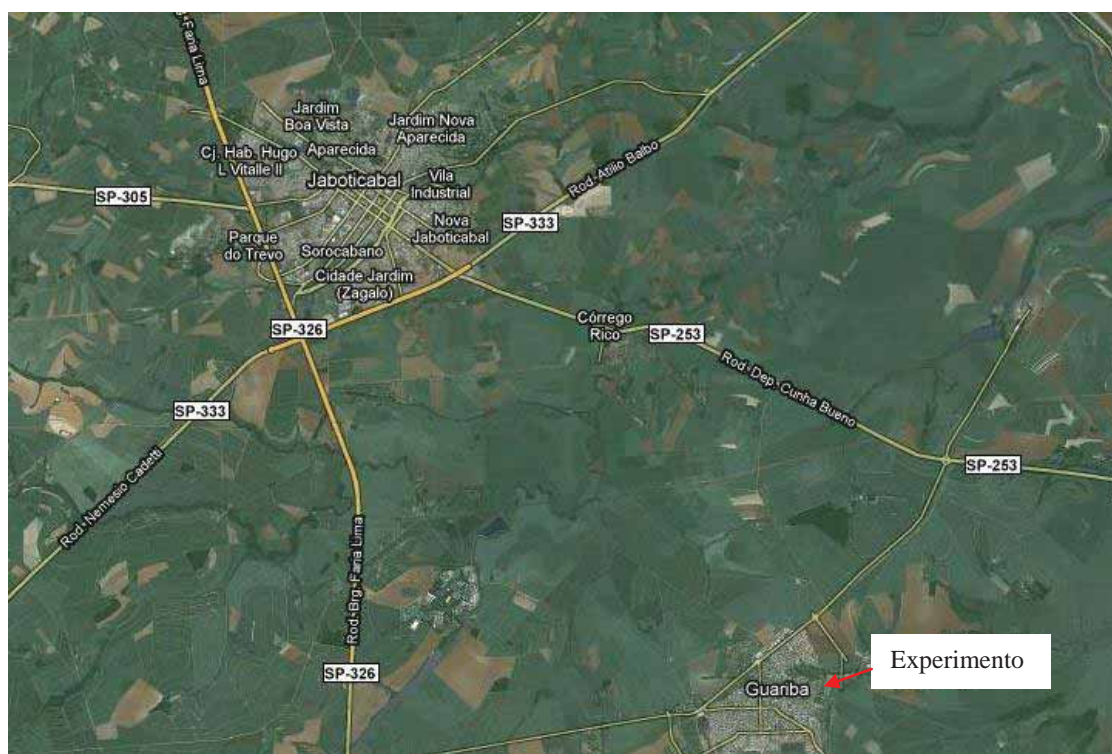


FIGURA 2.1 Localização da área experimental.

No dia 7 de Outubro de 2009, 60 dias após a colheita da cana-de-açúcar, 10 parcelas foram estabelecidas, com dimensões de 1x1m cada (Figura 2.2) sendo os tratamentos os seguintes: 0% de palha (D0), 50% de palha (D50), e 100% de palha (D100), com 2 repetições cada tratamento e 5 replicações em cada parcela, totalizando 50 pontos de avaliação. Nas parcelas contendo palha, essas foram distribuídas uniformemente sobre a superfície do solo, sendo a parcela D50 e D100 então totalmente cobertas por palha na sua superfície. Neste estudo, uma taxa de aplicação de 6 em vez de 12 t ha⁻¹ foi usada para acomodar os resíduos dentro de cada um dos colares do solo utilizado para quantificar as emissões de CO₂. Sendo assim, na parcela D0 foi retirada toda a palha, na parcela D50 foram deixadas 300 g de palha e na parcela D100 600 g de palha.



FIGURA 2.2 Foto das parcelas D0, D50 e D100.

Após o preparo das parcelas, foram adicionados colares de PVC (diâmetro de 10 cm), distribuídos nas parcelas e inseridos 03 cm dentro do solo com a função de servir de suporte da câmara de solos utilizada na mensuração da respiração do solo. Os colares foram inseridos 24 horas antes da primeira medição e sua utilização se deve ao fato de que podem ocorrer distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, como a quebra de sua estrutura porosa, por exemplo, o que causaria aumento de CO₂ emitido pelo solo, superestimando o valor naquele ponto.

No dia 04 de outubro de 2009, três dias antes do início das medições da emissão de CO₂, as parcelas experimentais foram submetidas a chuvas simuladas com intensidades médias de 60 mm h⁻¹, durante 65 minutos. Utilizou-se um simulador de chuva de hastes rotativas do tipo Swanson, com bicos veejet 80-100, previamente calibrado e nivelado no terreno, como proposto por SWANSON (1965).

A emissão de CO₂ do solo foi computada utilizando-se o sistema LI-8100, fabricado pela companhia LI-COR, Nebraska, EUA (Figura 2.3). Este sistema consiste de uma câmara fechada, que é acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo nos pontos estudados, que possui um volume interno de 991 cm³ e área de contato com o solo de 71,6 cm². Durante o modo de medição o ar do interior da câmara tem sua concentração de CO₂ continuamente avaliada a partir de um espectrômetro de absorção ótica. Variações da concentração de CO₂ do ar no interior da câmara ao longo do tempo basicamente compõem o cálculo da emissão de CO₂ do solo (LA SCALA et al. 2000), que é tomado rapidamente em cada ponto, num intervalo de no máximo 2 minutos.

Além da emissão de CO₂ foram também medidas a temperatura (0-20 cm) e umidade volumétrica do solo (0-12 cm) próximo aos colares, todos os dias de estudo.

A temperatura foi acompanhada com sensor do próprio sistema LI-8100 (Figura 2.3), que consiste de uma haste de 20 cm, 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. O princípio de funcionamento desse sensor é baseado no chamado termistor, que é uma resistência elétrica que tem seu valor modificado de acordo com a temperatura do solo. As leituras

da temperatura do solo foram feitas durante o período em que o sistema LI-8100 estava realizando as medições de emissão de CO₂ do solo.



FIGURA 2.3 Foto do sistema LI-8100 com o termômetro.

A umidade do solo foi mensurada utilizando um TDR (*Time Domain Reflectometry*), denominado *Hydrosense System* (Campbell Scientific, Utha, EUA) (Figura 2.4). O aparelho TDR é constituído de uma sonda, apresentando duas hastes de 12 cm que devem ser inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação à sua superfície, nos locais próximos aos colares de PVC. O seu princípio de funcionamento consiste em medir o tempo de percurso de um pulso eletromagnético no espaço compreendido entre as duas extremidades das hastes, sendo o tempo de percurso relacionado com a constante dielétrica média do meio no qual a sonda-guia é inserida.

As medições do fluxo de CO₂, temperatura e umidade ocorreram no período de 07 de Outubro à 25 de Novembro de 2009. Do dia 07 ao dia 21 de Outubro as medições foram diárias, com intervalos de 24 horas entre elas, do dia 26 de outubro ao dia 25 de Novembro foram realizadas medições semanais. Sendo assim, foram 21 avaliações ao

longo de um período de 50 dias de estudo. O horário estabelecido para medição da emissão de CO₂, umidade e temperatura, foi no período da manhã, a partir das 7h30min.



FIGURA 2.4 Foto do aparelho TDR.

Os dados foram analisados utilizando-se a estatística descritiva (média, erro padrão, mínimo, máximo e coeficiente de variação). Pares de comparação de médias foram realizadas com o teste de Tukey, e um valor de $p < 0,10$ foi considerado como significativo. A emissão total de CO₂ do solo durante o período de estudo foi estimada pela integral da área sob as parcelas de fluxo de CO₂ do solo versus tempo.

2.3 Resultados e discussão

As emissões provenientes da parcela D0 ($3,16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foram 53% maiores do que os da parcela D50 ($2,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e 42% maiores do que os da parcela D100 ($2,23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e essas diferenças foram significativas em $p < 0,10$ (Tabela 2.1). Isto

está de acordo com PANOSSO et al. (2008), que apresentou menores emissões em parcelas de sistema cana verde em comparação com um lote de cana queimada. Por outro lado, a média de emissões provenientes do tratamento D0 foram superiores aos observados por PANOSSO et al. (2009) no sistema cana queimada ($2,87 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e cana verde ($2,06 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). BRITO et al. (2009), trabalhando na mesma região de estudo, encontraram valores de emissão de $1,70$ - $2,21 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em áreas de cana-de-açúcar utilizando um sistema de colheita de cana crua.

A presença de resíduos vegetais na superfície do solo afetou significativamente a temperatura do solo, com valores médios de $24,2$, $23,7$ e $23,7$ °C para as parcelas D0, D50 e D100, respectivamente. A umidade do solo foi de $38,8\%$, 47% e $45,3\%$ nas parcelas D0, D50 e D100, respectivamente (Tabela 2.1). Novamente, a temperatura e umidade média do solo nos tratamentos D50 e D100 diferiram significativamente do tratamento D0 ($p < 0,10$). Assim, as menores densidades de cobertura vegetal correspondem a altas temperaturas e baixas umidades do solo.

Tabela 2.1 Média da emissão de CO_2 , temperatura e umidade do solo nas parcelas estudadas.

Tratamento	Média	Erro Padrão	Mínimo	Máximo	CV (%)
CO_2 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
D0	3.14 a	0.0750	1.04	6.85	34.65
D50	2.06 b	0.0451	0.62	4.12	31.77
D100	2.23 b	0.0578	1.01	4.88	37.60
Temperatura (°C)					
D0	24.2 a	0.1453	19.74	29.17	8.71
D50	23.7 b	0.1082	20.30	27.17	6.63
D100	23.7 b	0.1158	20.30	27.36	7.07
Umidade (%)					
D0	38.8 b	0.9950	13.00	67	33.23
D50	47.0 a	0.6165	19.00	64	17.00
D100	45.3 a	0.7761	13.00	71	22.23

N=10. CV= coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade.

Os benefícios da aplicação de resíduos vegetais aos solos tropicais estão relacionadas à temperatura e umidade do solo (DUIKER & LAL, 2000; SARTORI et al., 2006; PANOSSO et al., 2009). De acordo com WEIER (1996), as taxas de evolução de CO₂ são influenciadas pela presença ou ausência de resíduos na superfície do solo, indicando um efeito sobre a umidade e a temperatura do solo. O acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo apresenta vantagens como a redução da temperatura máxima diária. Por exemplo, DOURADO-NETO et al. (1999), investigando a influência dos resíduos na relação entre a temperatura e a umidade de um Latossolo Vermelho no sul do Brasil, observaram uma forte dependência espacial das variáveis, além de uma relação inversa ($r^2 = 0,45$, $p < 0,05$) entre temperatura e umidade, o mostrou ser ambos os efeitos favoráveis para o crescimento de microorganismos e o desenvolvimento das plantas (RESENDE et al., 2006; USSIRI & LAL, 2009).

Repetidas análises mostraram uma interação significativa ($p < 0,01$) entre tratamentos e tempo, indicando que o tempo deve ser considerado ao avaliar os efeitos do tratamento sobre as emissões de CO₂ do solo. A Figura 2.5 apresenta a variação temporal das emissões diárias de CO₂ (\pm erro padrão) para os tratamentos estudados.

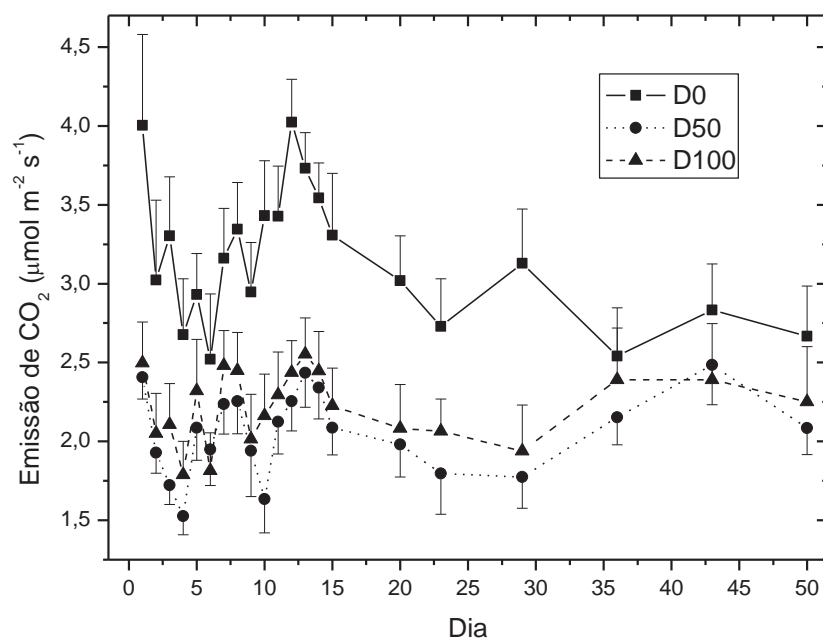


FIGURA 2.5 Média (\pm metade do erro padrão) da emissão de CO₂ do solo ao longo do período de estudo (50 dias).

No primeiro dia de estudo, as emissões foram tão baixas quanto 2,41 e 2,50 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ nas parcelas D50 e D100, respectivamente, e tão altas quanto 4,00 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na parcela D0. Assim, nossos resultados mostram que dentro de 24 horas da aplicação do resíduo de colheita, as emissões na parcela D0 foi significativamente maior ($p < 0,10$) do que as das parcelas D50 e D100. Outro fator que pode ter influenciado a maior emissão na parcela D0 foi a chuva simulada três dias antes do início das medições, que pode ter afetado a quebra dos agregados da superfície do solo pelo impacto da gota da chuva no solo. Essas diferenças permaneceram até quatro dias após o início do estudo. Nos dias 5 e 6, os valores de emissões foram semelhantes, e as emissões não diferiram estatisticamente quando os tratamentos foram comparados ($p > 0,10$). Entre os dias 7 e 29, as diferenças entre as emissões do D0 e os demais tratamentos voltaram a ser significativas a $p < 0,10$. As emissões provenientes do tratamento D0 foram sempre superiores aos demais tratamentos durante este período em que a seca foi mais intensa. Do dia 36 ao 50, período em que ocorreram precipitações, não se verificou diferenças significativas nas emissões entre os tratamentos. Pode-se notar que as emissões provenientes do tratamento D0 foram sempre superiores às dos demais tratamentos, com valores médios variando 2,5 a 4,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Houve pequenas diferenças entre as emissões de D50 e D100, variando de 1,5 a 2,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Além disso, os valores de emissão para todos os tratamentos tenderam a se aproximar ao final do estudo, variando entre 2,0 e 2,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estudos de emissão de CO_2 após preparo do solo realizados por diversos autores também indicam um aspecto de queda exponencial ao longo do tempo (LA SCALA et al., 2001, 2005, 2006, AL-KAISI & YIN, 2005).

A maior emissão de CO_2 do solo foi registrada na parcela D0 no dia 01 e dia 12, quando a temperatura do solo atingiu um dos seus valores mais altos (Figura 2.6). A temperatura do solo é um dos fatores mais importantes no processo de emissão de CO_2 , especialmente quando a variabilidade temporal é considerada. Altas temperaturas do solo levam a um aumento da atividade microbiana e a um decaimento da matéria orgânica do solo, resultando em aumentos nas emissões de CO_2 (FANG et al., 1998;

CALDERÓN & JACKSON, 2002). Recentemente, em áreas de cana-de-açúcar no sistema de manejo de cana queimada, PANOSSO et al. (2008) observou uma relação direta entre emissão de CO₂ e temperatura do solo e uma relação inversa entre emissão de CO₂ e umidade do solo.

As menores emissões de CO₂ registradas foram na parcela D50, no quarto dia de leitura (1,53 μmol m⁻² s⁻¹) e no décimo dia (1,63 μmol m⁻² s⁻¹). Esse fato pode estar associado à temperatura do ar, que atingiu seus menores valores, 19,8 e 20,4 °C nos dias 4 e 10, respectivamente. LIU et al. (2010) observou uma variabilidade temporal da emissão de CO₂ do solo, em relação à temperatura do ar maior do que em relação à temperatura do solo, porque a maioria das emissões foram atribuídas à decomposição dos resíduos da superfície.

A Figura 2.6 apresenta a variação temporal da temperatura do solo em todos os tratamentos, que se caracteriza por um aumento contínuo no período estudado em todas as densidades de resíduos de culturas. As temperaturas mais altas e mais baixas registradas durante o período de estudo foram observados no tratamento D0, e também é possível verificar um maior valor de CV (Tabela 2.1). Assim, em condições de solo descoberto, a temperatura do solo varia mais do que em condições cobertas. Tal como observado para as emissões, do dia 7 ao 23, a temperatura do solo nos tratamentos D50 e D100 foi significativamente ($p < 0,10$) inferior ao valor médio da parcela D0. As temperaturas do solo atingiram valores tão elevados como 27,5 e 25,2 °C para os tratamentos D0 e D50, respectivamente, no dia 14. Por outro lado, não houve diferenças na temperatura do solo entre os tratamentos perto dos eventos de precipitação de chuvas (dias 7, 13, 20 e 36). Este efeito também foi observado por SINGH & GUPTA (1977), HOWARD & HOWARD (1993) e FANG & MONCRIEFF (2001), que atribuiu este fenômeno ao aumento da umidade do solo e sua interação com a temperatura do solo.

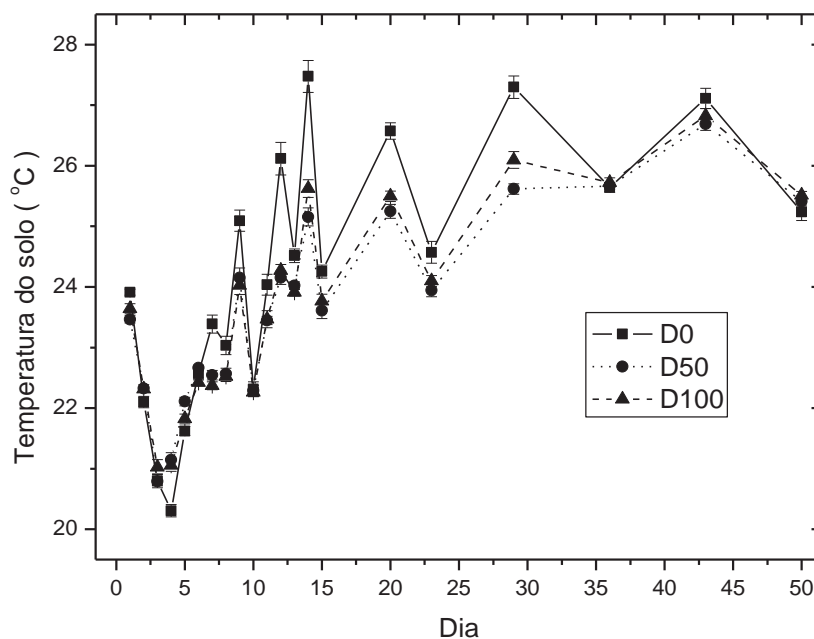


FIGURA 2.6 Média (\pm metade do erro padrão) da temperatura do solo ao longo do período de estudo (50 dias).

O padrão de umidade do solo foi similar à variação temporal das emissões de CO_2 (Figura 2.7). Até o dia 4, não houve diferenças significativas na umidade do solo entre os tratamentos. Com o progresso do experimento, essas diferenças começaram a aumentar, especialmente durante os dias mais secos do dia 8 ao 29. Os aumentos mais nítidos observados foram associados a eventos de precipitação, como no dia 7, com uma precipitação de 7 mm na noite anterior. Nota-se também uma redução significativa na umidade do solo, como no dia 29, no final de uma estiagem de 14 dias, quando o teor de umidade atingiu 18%.

Os valores mais altos e mais baixos de umidade do solo foram registrados no tratamento D100, o menor valor foi igual ao registrado na tratamento D0 durante o período de estiagem. O maior valor de CV da umidade do solo foi observado na parcela D0. O menor valor de umidade do solo na parcela D100 em relação à parcela D50 pode estar relacionado com a sua camada mais espessa de resíduos vegetais que impediram a penetração de água no solo (DUIKER & LAL, 2000).

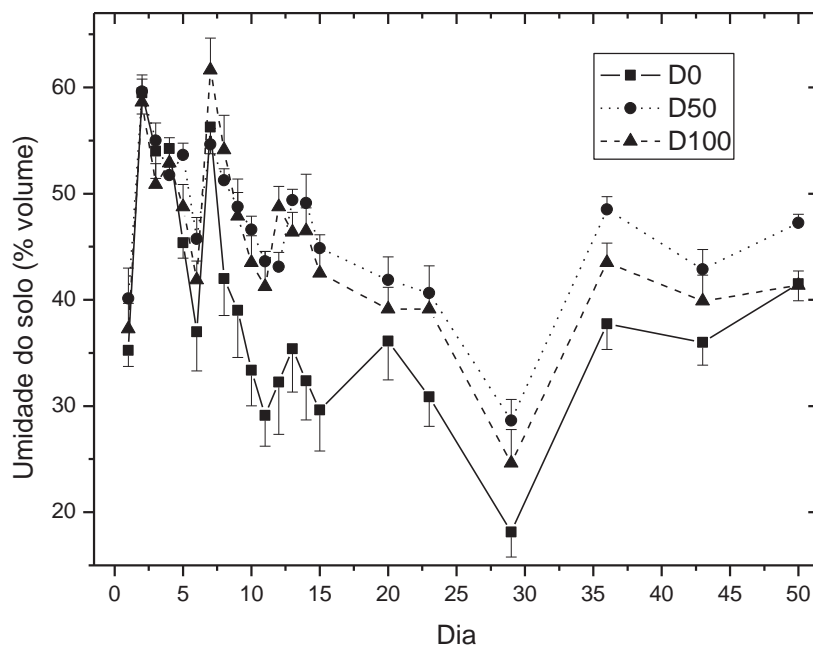


FIGURA 2.7 Média (\pm metade do erro padrão) da umidade do solo ao longo do período de estudo (50 dias).

Parcelas em condições de solo descoberto apresentaram reduzido valor médio de umidade do solo, mostrando a importância dos resíduos na manutenção da umidade do solo (Tabela 2.1). A cobertura vegetal funciona como uma camada de isolamento, reduzindo as oscilações térmicas e flutuações de umidade, favorecendo o armazenamento de água e outras propriedades físicas e químicas do solo (NOBRE et al., 2003).

A correlação linear entre as emissões de CO_2 do solo e a temperatura e umidade do solo indica uma correlação significativa ($p < 0,10$) em alguns dos casos. Emissões de CO_2 foram correlacionadas positivamente com a temperatura do solo ao longo do estudo, apenas na parcela D50. Emissões de CO_2 do solo foram negativamente relacionadas com a umidade do solo na parcela D0 e positivamente relacionada com a umidade do solo na parcela D100.

A emissão total no período de 50 dias para cada tratamento são apresentados na Figura 2.8.

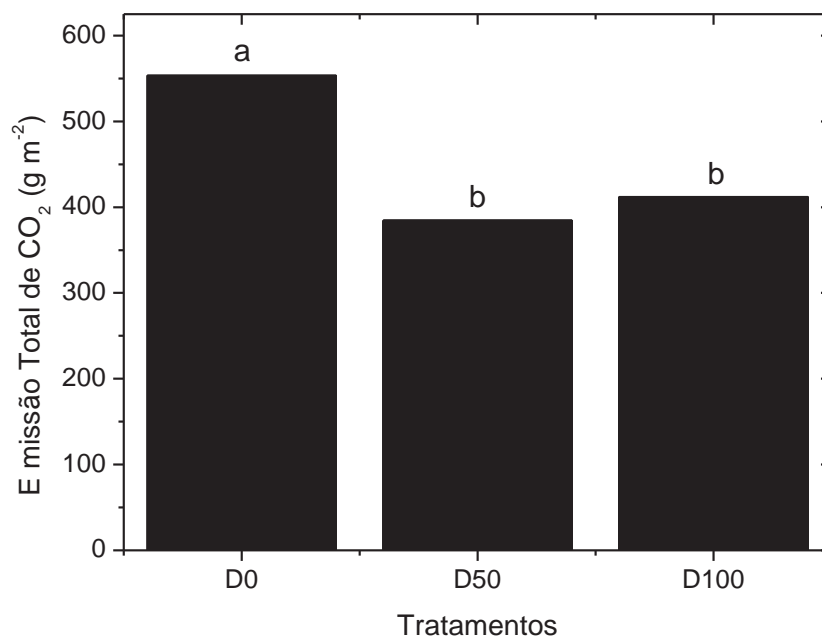


FIGURA 2.8 Emissão total de CO₂ em cada tratamento, separado pelo processo de separação de médias (diferenças são significativas a $p < 0,10$), proporcional à metade de palha da área.

A maior emissão total foi observada no tratamento D0 ($553,62 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$), em comparação com as emissões de $412,12$ e $384,69 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$ para os tratamentos D100 e D50, respectivamente. As diferenças foram significativas ($p < 0,10$) quando a emissão total da parcela D0 foi comparada aos tratamentos D50 e D100. Visto isso, a diferença na emissão total entre os tratamento D0 e D50 é $168,93 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$, e a diferença entre as parcelas D0 e D100 é $141,50 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$. Essas diferenças são equivalentes a uma emissão evitada de $460,7$ e $386 \text{ kg de CO}_2\text{-C ha}^{-1}$ nos tratamentos D50 e D100, respectivamente, durante os primeiros 50 dias após a deposição de resíduos de cana-de-açúcar na superfície do solo. Esses valores são significativos em comparação com o potencial de sequestro de carbono no Brasil (GALDOS et al., 2009) e Austrália (ROBERTSON & THORBURN, 2007b) de acordo com estudos em áreas de cana-de-açúcar, onde grandes quantidades de resíduos de colheita foram deixados na superfície do solo. Cabe salientar que os dados referem-se a uma quantidade de 6 t ha^{-1} , um valor menor do que o normalmente encontrado no campo, devido a ajustes técnicos.

Esse resultado indica a importância da manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo para minimizar as perdas de carbono do solo (SARTORI et al., 2006; CERRI et al., 2007). CURTIN et al. (2000) demonstraram redução das emissões de CO₂ do solo sob diferentes sistemas de manejo e atribuíram esta diminuição à presença de resíduos de colheita. DUIKER & LAL (2000) concluíram que a falta de diferença significativa nas emissões de CO₂ do solo para os tratamentos com diferentes quantidades de resíduos foi devido ao resíduo que não foi decomposto e que não contribuiu à emissão de CO₂.

2.4 Conclusões

A manutenção de resíduos vegetais de cana-de-açúcar na superfície do solo reduz significativamente as emissões de CO₂ do solo, provavelmente preservando mais o carbono do solo após a colheita, quando comparado ao solo descoberto. A temperatura e a umidade são afetadas pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, mas pesquisas adicionais devem ser realizadas para determinar se a difusão de gás no solo afeta as emissões.

2.5 Referências

AL-KAISI, M.M.; YIN, X.H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**. v. 34, p. 437-445. 2005.

BALL, B.C.; SCOTT, A.; PARKER, J.P. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. **Soil and Tillage Research**, v.53, p. 29-39, 1999. doi:10.1016/S0167-1987(99)00074-4.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p. 888-896, 2002.

BRITO, L.F.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M.; LA SCALA, N.Jr. Soil CO₂ emission of sugarcane field as affected by topography. **Scientia Agrícola**, Piracicaba. v. 66. N.1. p. 77-83. January/February 2009. doi: 10.1590/S0103-90162009000100011.

BUYANOWSKI, G.A.; WAGNER, G.H. Annual cycles of carbon dioxide level in soil air. **Soil Science Society of America Journal**. v. 47. p. 1139-1145. 1983.

CALDERÓN, F.J.; JACKSON, L.E. Rototillage, disking and subsequent irrigation: effects on soil nitrogen dynamics, microbial biomass and carbon dioxide efflux. **Journal of Environmental Quality**. v. 31. p. 752-758. 2002.

CERRI, C.E.P.; SPAROVEK, G.; BERNOUX, M.; EASTERLING, W. E., MELILLO, J. M., CERRI, C. C.. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agrícola**. v. 64, p. 83-99. 2007. doi: 10.1590/S0103-90162007000100013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2010. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – safra 2010 segundo levantamento, setembro 2010. Disponível em :

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/boletim_cana_setembro_2010.pdf>

CURTIN, D.; WANG, H.; SELLES, F.; MCCONKEY, B.G.; CAMPBELL, C.A. Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations. **Soil Science Society of America Journal**. v. 64. p. 2080-2086. 2000.

DOURADO-NETO, D.; TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; TOMINAGA, T.T.; CÁSSARO, F.A.M. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. **Scientia Agricola** v. 56, p. 1215-1221. 1999. doi: 10.1590/S0103-0161999000500025.

DUIKER, S.W.; LAL, R. Carbon budget study CO₂ using flux measurements from a no till system in central Ohio. **Soil Till. Res.** v. 54. p. 21-30. 2000.

EDWARDS, N.T. Effects of temperature and moisture on carbon dioxide evolution in a mixed deciduous forest floor. **Soil Science Society of America Journal**. v. 39. p. 361-365. 1975.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 306 p. 2006.

FANG, C.; MONCRIEFF, J.B.; GHOLZ, H.L.; CLARK, K.L. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. **Plant and Soil**, Dordrecht. v. 205. n.2. p. 135-146. 1998.

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

FRANCHINI, J.C.; VILA, F.J.G.; RODRIGUEZ, J. Transformations of plant residues used in the no-tillage management system as seen by flash pyrolysis. **J. Anal. Appl. Pyrol.** v. 62. p. 35-43. 2002.

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**. v. 92. p. 18-

29. 2007.

GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma** v. 153, p. 347–352. 2009. doi: 10.1016/j.geoderma.2009.08.025

HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M.; VAN DER LINDEN, P.J.; XIAOSU, D. The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change – **IPCC, Climate Change 2001**. Cambridge: University Press, 944 p., 2001.

HOWARD, D.M.; HOWARD, P.J.A. Relationships between CO₂ evolution, moisture content and temperature for a range of soil types. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford. v.25. n.11. p.1537-1546. 1993.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007. **The physical science basis**. Geneva: IPCC WGI Fourth Assessment Report, 18p., 2007.

KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Science Society of America Journal**. v. 57. P. 200-210. 1993.

LA SCALA, N.; MARQUES JR, 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**. v. 32, p. 1469-1473. 2000. doi:10.1016/S0038-0717(00)00051-1.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red latosol in Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 62, p. 163-166. 2001.

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CÂMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. **Soil and Tillage Research**. v. 84, p. 222-225. 2005. doi:10.1016/j.still.2004.11.004.

LA SCALA, N.JR.; 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**. v. 91, p. 244-248. 2006. doi:10.1016/j.still.2005.11.012.

LIU, Y.; LI, S.Q.; YANG, S.J.; HU, W.; CHEN, X.P. Diurnal and seasonal soil CO₂ flux patterns in spring maize fields on the Loess Plateau, China. **Soil and Plant Science**. v. 60. p. 245-255. 2010. doi: 10.1080/09064710902878121

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.; Lloyd, J. Soil respiration in a rainforest in Amazonia and in cerrado in central Brazil. In: GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (Eds.), **Amazonian Deforestation and Climate**. Wiley, New York, p. 319-329. 1996.

MIELNICK, P. C.; DUGAS, W. A. Soil CO₂ flux in a tallgrass prairie. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 32. p. 221-228. 2000.

NOBRE, A.D.; MOODY, P.; BERTHELSEN, S. Influence of changed management of sugarcane on some chemical properties in the humid wet tropics of north Queensland. **Australian Journal of Soil Research**. v. 41, p. 1133-1144. 2003. doi:10.1071/SR02158.

PANOSSO, A.R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J.; LA SCALA, N.Jr. 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. Abr./jun. 2008.

PANOSSO, A.R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; LA SCALA, N.Jr. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil and Tillage Research**. v. 105. p. 275-282. 2009. doi: 10.1590/S0100-69162008000200003.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great plains grassland. **Soil Science Society of America Journal**. v. 51. p. 1173-1179. 1987.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHÈS, B.; LARRÉ-LARROUY, M.C.; DE LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture Ecosystem & Environment**. v. 115, p. 285-289. 2006. doi:10.1016/j.agee.2005.12.014.

RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse application in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil** v. 281, p. 339-351. 2006. doi: 10.1007/s11104-005-4640-y.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Decomposition of sugarcane harvest residue in different climatic zones. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 1-11. 2007a. doi:10.1071/SR06079.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 13-23. 2007b. doi:10.1071/SR06080.

ROLDÁN, A.; CARAVACA, F.; HERNÁNDEZ, M.T.; GARCÍA, C.; SÁNCHEZ-BRITO, C.; VELÁSQUEZ, M.; TISCAREÑO, M.. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico). **Soil and tillage research**, v.72, p.65-73, 2003. doi:10.1016/S0167-1987(03)00051-5.

SARTORI, F.; LAL, R.; EBINGER, M.H.; PARRISH, D.J. Potential soil carbon sequestration and CO₂ offset by dedicated energy crops in the USA. **Crit. Rev. Plant Sci.** v. 25. P. 441-472. 2006. doi: 10.1080/07352680600961021.

SINGH, J.S.; GUPTA, S.R., Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. **The Botanical Review.** v. 43, p. 449-528, 1977. DOI: 10.1007/BF02860844.

SOUZA ANDRADE, D.; COLOZZI-FILHO, A.; GILLER, K.E.. The soil microbial community and soil tillage. In: El Titi, A. (Ed), **Soil Tillage in Agroecosystems**. CRC Press, Boca Raton FL, p. 51-81, 2003.

SWANSON, N. P. Rotating-boom rainfall Simulator. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v.8, n.1, p.71-72, 1965.

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

WANG, H.; CURTIN, D.; JAME, Y.W.; MCCONKEY, B.G.; ZHOU, H.F. Simulation of soil carbon dioxide flux during plant residue decomposition. **Soil Science Society of America Journal.** v. 66. p. 1304-1310. 2002. doi: 10.2136/sssaj2002.1304.

WEIER, K.L. Trace gas emissions from a trash blanketed sugarcane field in tropical Australia. In '**Sugarcane, Research towards Efficient and Sustainable Production**'. (Eds JR Wilson, DM Hogarth, JA Campbell, AL Garside) p. 271-272. 1996. (CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures: Brisbane).

CAPÍTULO 3 – EMISSÃO DE C-CO₂ EM SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM RESÍDUOS VEGETAIS EM SUPERFÍCIE

RESUMO – O manejo apropriado do solo e dos resíduos vegetais na agricultura pode resultar em diminuições significativas da emissão de CO₂ do solo e, conseqüentemente, ajudar a mitigar o efeito estufa. A fim de distinguir a contribuição do solo e dos resíduos de cana-de-açúcar, em relação à perda de CO₂ em períodos curtos, estudou-se a influência do preparo nas emissões de CO₂ em parcelas com e sem resíduos da cultura na superfície do solo. Para estimar a perda de carbono do solo induzida pelo preparo, as emissões após o preparo das parcelas, sem cobertura vegetal, foram comparadas àquelas das parcelas sem preparo. Maiores emissões foram observadas após o uso do arado de aiveca e do escarificador com valores totais de 67,97 e 61,34 g C-CO₂ m⁻², duas semanas após o preparo do solo, respectivamente, nas parcelas com resíduos de colheita. Os resultados indicam que o preparo do solo induziu uma rápida mineralização do carbono lábil, devido, principalmente, à quebra de agregados e à incorporação dos resíduos vegetais. A mudança no sistema de preparo do solo de aiveca para subsolador resultou em uma diminuição de 17,79 g m⁻² h⁻¹, sendo esse valor corresponde a 178 kg C-CO₂ ha⁻¹ que deixariam de ser emitidos à atmosfera em 16 dias de estudo, somente mudando-se o sistema de preparo de solo.

Palavras-chave: preparo do solo, emissão de CO₂, resíduo de cana-de-açúcar.

3.1 Introdução

O manejo do solo em áreas agrícolas tem sido apontado como um dos fatores que aceleram o efeito estufa, especialmente devido às emissões de CO₂ para a atmosfera (EUGSTER *et al.* 2010). A perda de carbono do solo pode ser avaliada tanto pela medição direta das mudanças no conteúdo de carbono do solo, quanto pelo acompanhamento das emissões de CO₂ do solo. A vantagem do segundo método perante o primeiro é a capacidade de estudo rápido de como as formas de manejo afetam imediatamente, ou quase imediatamente, a emissão. Em adição, é importante desenvolver novos procedimentos para estimar a emissão de gases estufa na agricultura (IPCC, 2006). O impacto do preparo do solo na perda de C do solo tem sido estudado por diversos autores, e alguns fatores de emissão foram associados a diferentes sistemas de manejo (LA SCALA *et al.*, 2008, 2009a, 2009b; SMITH *et al.*, 2010). Recentemente, alguns pesquisadores têm utilizado fatores de emissão de preparo de solo para a conversão de sistemas convencionais para sistemas com preparo mínimo; no entanto, isso depende da profundidade de preparo, e múltiplos fatores deveriam ser desenvolvidos para reduzir as estimativas de erro (SMITH *et al.* 2010).

Atividades agrícolas contribuem com aproximadamente 20% das emissões globais de gases do efeito estufa (LOKUPITIYA & PAUSTIAN, 2006). O preparo mínimo associado com a manutenção dos resíduos de culturas na superfície do solo, tem sido identificado como uma estratégia importante para o sequestro de carbono da atmosfera (LAL, 2007), além da retenção da palhada sobre o solo acumular nutrientes e matéria orgânica no solo (ROBERTSON & THORBURN, 2007). O preparo do solo induz a perda de C na forma de CO₂ pela quebra de agregados, expondo, a antes protegida matéria orgânica, aos microrganismos; também incorpora e mistura os resíduos e melhora as condições de oxigenação do solo pela aeração (JACINTHE & LAL, 2005; SIX *et al.*, 1999).

A incorporação dos resíduos de cultura no solo, por meio do preparo, é outro processo que mistura e maximiza o contato do resíduo com o solo e causa perdas de C

adicionais, quando comparadas à não incorporação de resíduos (ADIKU et al., 2008; JABRO et al., 2008; GESCH et al., 2007). Em vista disso, o revolvimento do solo e o grau de mistura e localização dos resíduos da colheita são fatores importantes que podem afetar a emissão de CO₂. Por outro lado, poucas pesquisas foram feitas com o intuito de particularizar esses efeitos.

Quando a prática agrícola é transformada de convencional para conservacionista, melhora-se a agregação do solo e a disponibilidade de água (PARÉ et al., 1999), diminui-se a oscilação da temperatura do solo e a erosão por água e vento, melhora-se a estrutura do solo e, com o tempo, aumenta-se a matéria orgânica do solo, muitas vezes resultando em altas produtividades (BAYER et al., 2000, 2002; AMADO et al., 2001; SÁ et al., 2001).

Alguns pesquisadores têm usado a emissão das parcelas sem preparo e o decaimento exponencial no tempo como referência para estimar a emissão de CO₂ após o preparo do solo (LA SCALA et al., 2008, 2009a, 2009b). Por meio da subtração dos valores de emissão de CO₂ após o preparo dos valores de emissão sem preparo, é possível estimar o efeito do preparo do solo nas perdas de carbono. Sendo importante normalizar tal perda de CO₂ adicional ao conteúdo de C do solo, pois a quantia de C no solo deveria se refletir no impacto do preparo para emissões adicionais (LA SCALA et al. 2008).

A hipótese do trabalho é baseada no pressuposto de que a emissão de C-CO₂ após o preparo do solo é fortemente influenciada pela decomposição da matéria orgânica do solo ou pela decomposição dos resíduos vegetais. Consequentemente, a perda de carbono do solo pode ser avaliada pela subtração da emissão da parcela após preparo do solo e sem cobertura vegetal pela emissão das parcelas sem preparo do solo e sem resíduos de colheita na superfície do solo. Alternadamente, a perda de C-CO₂ dos resíduos de colheita pode ser estimada por meio da subtração da emissão de C-CO₂ das parcelas no qual o mesmo sistema de colheita foi utilizado, mas com e sem resíduos de cultura na superfície do solo.

O objetivo desse trabalho foi de distinguir o efeito do solo e dos resíduos vegetais na emissão de CO₂, causada por sistemas de preparo em áreas de cana-de-açúcar no

Brasil e, também, de determinar a contribuição da perda de CO₂ do solo induzida pelo preparo e da mistura entre preparo e resíduos vegetais oriundos da colheita nas emissões de CO₂.

3.2 Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Estreito, área pertencente à Usina São Martinho, localizada no nordeste do Estado de São Paulo no município de Guatapar (Figura 3.1), tendo coordenadas geográficas 21 29 S e 48 02 W, com altitude média de 512 m acima do nível do mar. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). O clima da região  classificado, segundo Kppen, como sendo do tipo Aw, definido como tropical de verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média variando de 19,3 a 25,2 C. A precipitao pluviométrica anual média  de 1.183 mm, com período de maior concentrao de outubro a março e com precipitao mais espaçadas e de menores intensidades de abril a setembro.

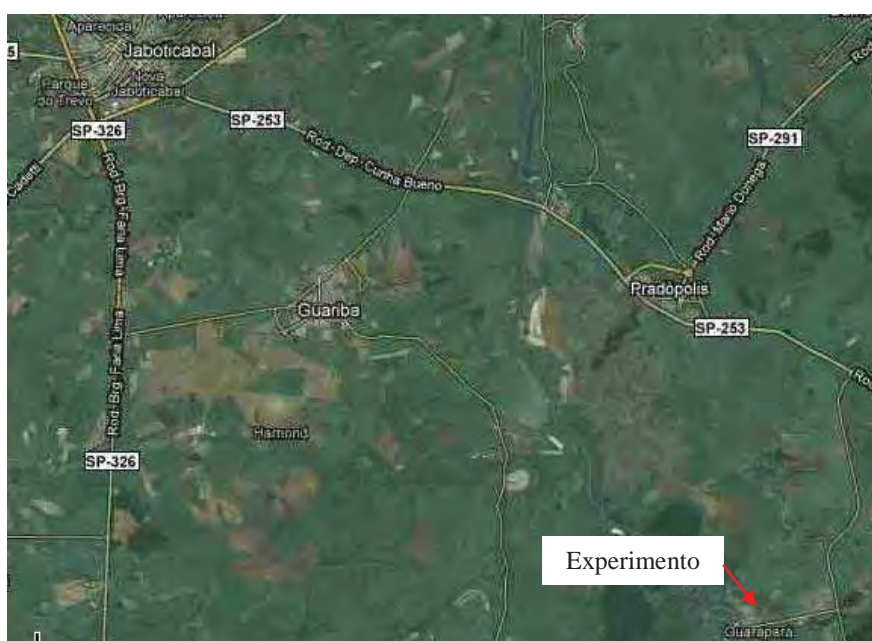


FIGURA 3.1 Localizao da área experimental.

Pelos últimos 15 anos a área tem sido utilizada para produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no sistema de manejo cana crua que envolve a colheita mecânica deixando grandes quantidades (15 ton ha⁻¹) da cultura sobre a superfície do solo, tendo essa palha uma relação C/N de 99:1. O solo da Fazenda Estreito apresenta teor de matéria orgânica do solo de 39 g dm⁻³, soma de bases de 62,8% e teor de carbono de 22,67 g C (orgânico) dm⁻³.

No dia 29 de Julho de 2009, doze tratamentos foram estabelecidos, em parcelas de 10 x 2 m cada (comprimento x largura). A descrição de cada tratamento encontra-se na Tabela 3.1 e nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 estão apresentadas as fotos das parcelas.

Tabela 3.1 Descrição dos tratamentos estudados no experimento.

Tratamento	Descrição	Profundidade do preparo (cm)
SDsp	Sem distúrbio sem palha	-
SDcp	Sem distúrbio com palha	-
AIVsp	Arado de aiveca sem palha	30
AIVcp	Arado de aiveca com palha	30
ERsp	Enxada rotativa sem palha	08
ERcp	Enxada rotativa com palha	08
PUsp	Preparo da usina (eliminador de soqueira + grade niveladora + subsolador) sem palha	12
PUcp	Preparo da usina (eliminador de soqueira + grade niveladora + subsolador) com palha	12
ESCsp	Escarificador + rolo destorroador sem palha	30
ESCcp	Escarificador + rolo destorroador com palha	30
SUBsp	Subsolador sem palha	35
SUBcp	Subsolador com palha	35

Nas parcelas sem cobertura vegetal, os resíduos de cana-de-açúcar foram removidos da superfície manualmente. Na parcela sob preparo do arado de aiveca foi empregado uma profundidade de trabalho de 30 cm de profundidade, com 3 aivecas. As configurações adotadas para o preparo com enxada rotativa foram a posição da placa de impacto abaixada, rotação do rotor de aproximadamente 153 rpm, com 32

facas do tipo C e profundidade média de trabalho de 8 cm. O preparo da usina consiste na aplicação do eliminador de soqueira, seguido da grade niveladora e subsolador, com profundidade de trabalho de 12 cm. Nos tratamentos com escarificador foi utilizado um escarificador de arrasto, conjugado com rolo destorroador, 5 hastes parabólicas, 2,90 m de largura e espaçamento entre hastes de 0,45 m e profundidade de trabalho de 30 cm. Nas parcelas com subsolador foi utilizada uma profundidade de trabalho de 35 cm, com 45 cm entre hastes. Ponteira simples, não alada, com 7 cm de largura.



FIGURA 3.2 Fotos das parcelas sem distúrbio (SD) e sob preparo com arado de aiveca (AIV) ambas com e sem palha sobre a superfície.



FIGURA 3.3 Fotos das parcelas sob preparo com enxada rotativa (ER) e sob preparo da usina (PU) ambas com e sem palha sobre a superfície.



FIGURA 3.4 Fotos das parcelas sob preparo com escarificador (ESC) e sob preparo com subsolador (SUB) ambas com e sem palha sobre a superfície.

Após o preparo do solo, 6 colares de PVC (diâmetro de 10 cm) foram distribuídos em uma diagonal ao formato da parcela e inseridos 3 cm dentro do solo de forma ordenada, com 1,7 m de distância aproximadamente entre os mesmos, com a função de servir de suporte à câmara de solos utilizada na mensuração da respiração do solo. Os colares foram inseridos 24 horas antes da primeira medição e sua utilização se deve ao fato de que podem ocorrer distúrbios causados pela inserção da câmara diretamente no solo, como a quebra da estrutura porosa, por exemplo, o que causaria aumento de CO_2 emitido pelo solo, superestimando o valor naquele ponto.

A emissão de CO_2 do solo foi computada utilizando-se o sistema LI-8100, fabricado pela companhia LI-COR, Nebraska, EUA (HEALY et al., 1996) (Figura 3.5). Este sistema consiste de uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo nos pontos estudados, com volume interno de 991 cm^3 e área de contato com o solo de $71,6 \text{ cm}^2$. Durante o modo de medição o ar do interior da câmara tem a concentração de CO_2 continuamente avaliada a partir de um espectrômetro de absorção ótica. Variações da concentração de CO_2 do ar no interior da câmara ao longo do tempo compõem o cálculo da emissão de CO_2 do solo (LA

SCALA et al., 2000), que é tomado rapidamente em cada ponto, num intervalo de no máximo 2 minutos.

A temperatura foi acompanhada com sensor do próprio sistema LI-8100 (Figura 3.5), que consiste de uma haste de 20 cm, 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. O princípio de funcionamento desse sensor é baseado no chamado termistor, uma resistência elétrica que tem o valor modificado de acordo com a temperatura do solo. As leituras da temperatura do solo foram feitas durante o período em que o sistema LI-8100 estava realizando as medições de emissão de CO₂ do solo.



FIGURA 3.5 Foto do sistema LI-8100 com o termômetro.

A umidade do solo foi mensurada utilizando um TDR (*Time Domain Reflectometry*), denominado *Hydrosense System* (Campbell Scientific, Utha, EUA) (Figura 3.6). O aparelho TDR é constituído de uma sonda, apresentando duas hastes de 12 cm, inseridas no interior do solo o mais perpendicular possível em relação a

superfície, nos locais próximos aos colares de PVC. O princípio de funcionamento consiste em medir o tempo de percurso de um pulso eletromagnético no espaço compreendido entre as duas extremidades das hastes, sendo o tempo de percurso relacionado com a constante dielétrica média do meio no qual a sonda-guia é inserida. Pelo fato do experimento ter sido instalado na chamada estação seca, não ocorreu precipitação durante o experimento.



FIGURA 3.6 Foto do aparelho TDR

As medições do fluxo de CO_2 , temperatura e umidade ocorreram do dia 29 de julho ao dia 13 de Agosto de 2009. Do dia 29 de julho ao dia 9 de agosto as medições foram diárias, com intervalos de 24 horas entre elas, depois foi realizada mais uma medição no dia 13 de Agosto de 2009. Sendo assim, foram realizadas 13 avaliações em 16 dias de estudo. O horário estabelecido para medição da emissão de CO_2 , umidade e temperatura, foi no período da manhã, a partir das 7 h 30 min.

Os resultados foram analisados utilizando-se a estatística descritiva (média, erro padrão da média, desvio padrão, mínimo e máximo). Para a caracterização da

variabilidade temporal das variáveis analisadas foi utilizada a análise de variância de medidas repetidas no tempo.

3.3 Resultados e Discussão

A estatística descritiva da emissão de C-CO₂, temperatura e umidade do solo nas parcelas estudadas no experimento estão apresentadas na Tabela 3.2. Nota-se que a emissão de C-CO₂ foi superior nos tratamentos AIVcp e ESCcp com uma média de emissão de 0,196 e 0,175 g C-CO₂ m⁻² h⁻¹ respectivamente, ambos com o preparo do solo aplicado na presença de palha, sendo as menores emissões observadas nos tratamentos sem distúrbio, SDcp (0,064 g C-CO₂ m⁻² h⁻¹) e SDsp (0,072 g C-CO₂ m⁻² h⁻¹), respectivamente (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 Estatística descritiva da emissão de C-CO₂ do solo (gramas m⁻² h⁻¹) ao longo do período estudado.

Tratamento	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo	Emissão Total
SDsp	0.072	0.006	0.002	0.062	0.082	25.80
SDcp	0.064	0.011	0.003	0.050	0.081	22.45
AIVsp	0.127	0.027	0.007	0.083	0.169	44.01
AIVcp	0.196	0.063	0.017	0.100	0.292	67.97
ERsp	0.140	0.030	0.008	0.099	0.221	49.34
ERcp	0.142	0.030	0.008	0.082	0.203	49.12
PUsp	0.100	0.048	0.013	0.060	0.255	33.21
PUcp	0.123	0.032	0.009	0.053	0.176	42.77
ESCsp	0.127	0.035	0.009	0.080	0.203	44.21
ESCcp	0.175	0.031	0.008	0.142	0.243	61.37
SUBsp	0.084	0.022	0.006	0.049	0.134	28.77
SUBcp	0.143	0.032	0.008	0.089	0.199	50.18

A Tabela 3.3 apresenta as diferenças na temperatura do solo quando sistemas de preparo são comparados. Nota-se uma pequena diminuição na temperatura do solo nas parcelas com cobertura vegetal quando comparadas às parcelas sem resíduo de cana-de-açúcar. A Tabela 3.4 apresenta as diferenças na umidade do solo quando

sistemas de preparo são comparados. Nos tratamentos SD, ER e SM houve um aumento da umidade do solo nas parcelas com cobertura vegetal. Já nos tratamentos AIV, ESC e SUB, as parcelas que apresentaram maior umidade foram as sem cobertura vegetal. Isso pode ser explicado pelo fato dos tratamentos AIV, ESC e SUB terem incorporado melhor a palha de cana-de-açúcar ao solo e os resíduos terem ficado na camada mais inferior, onde o TDR não alcançou.

Tabela 3.3 Estatística descritiva da temperatura do solo (°C) ao longo do período estudado.

Tratamento	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
SDsp	19.98	0.43	0.11	19.43	20.87
SDcp	19.89	0.21	0.06	19.55	20.27
AIVsp	20.10	0.63	0.17	18.60	21.17
AIVcp	20.40	0.45	0.12	19.72	21.27
ERsp	20.45	0.38	0.10	19.83	21.02
ERcp	20.06	0.48	0.13	19.05	20.95
PUsp	19.88	0.46	0.12	19.08	20.70
PUcp	19.90	0.42	0.11	19.17	20.67
ESCsp	20.02	0.49	0.13	19.17	20.77
ESCcp	19.96	0.40	0.11	19.43	20.70
SUBsp	20.06	0.44	0.12	19.47	20.97
SUBcp	19.66	0.37	0.10	19.02	20.22

Tabela 3.4 Estatística descritiva da umidade do solo (% volume) ao longo do período estudado.

Tratamento	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão	Mínimo	Máximo
SDsp	33.40	9.84	2.63	18.33	51.17
SDcp	50.72	2.88	0.77	45.17	55.33
AIVsp	18.37	4.18	1.12	10.33	23.50
AIVcp	15.89	4.35	1.16	9.00	21.67
ERsp	13.42	3.25	0.87	9.83	19.83
ERcp	15.77	3.28	0.88	9.33	20.33
PUsp	15.78	3.31	0.88	11.83	21.50
PUcp	19.18	3.18	0.85	11.67	23.83
ESCsp	17.28	2.56	0.68	13.17	21.83
ESCcp	17.99	1.72	0.46	15.17	20.33
SUBsp	22.73	5.59	1.49	13.00	32.67
SUBcp	26.82	3.37	0.90	18.17	31.67

O efeito do preparo do solo e da presença de resíduos vegetais associado ao preparo pode ser melhor visualizado na Figura 3.7. Quando o tratamento SDsp e os tratamentos após preparo sem resíduos de cultura são comparados, o efeito do preparo mostrou uma diferença nas emissões que diminuíram com o tempo após o preparo e esse decréscimo foi semelhante à queda exponencial observada em vários estudos (AL-KAISI & YIN, 2005; LA SCALA et al., 2005, 2006). Nota-se também que as emissões nas parcelas com a presença de resíduos vegetais, no caso palha de cana-de-açúcar, nem sempre apresentaram diferenças muito grandes quando comparadas com a parcela sem palha, como é o caso do tratamento enxada rotativa. Os tratamentos ERcp e ERsp resultaram em emissões totais similares com valores de 49,12 e 49,34 g C-CO₂ m⁻², respectivamente, em 16 dias após preparo do solo. Por outro lado, outros sistemas de preparo do solo, como subsolador e escarificador, provocaram emissões bastante diferenciadas quando a palha esteve ou não presente na superfície no momento do preparo do solo (Tabela 3.2).

Nota-se que o sistema de preparo ER não provocou grandes diferenças nas emissões ao longo dos dias após preparo, quando se compara sua aplicação sobre as parcelas com e sem palha (Figura 3.7B). O efeito do preparo sobre as perdas de carbono do solo e da palha é melhor observado na parcela com arado de aiveca, como é esperado de um sistema de preparo que causa grande desagregação dos agregados. Houve aumento na emissão total (Tabela 3.2) de 18,21 g C-CO₂ m⁻² de SDsp para AIVsp, supostamente por conta da perda do solo e de 23,95 g C-CO₂ m⁻² de AIVsp para AIVcp por conta da palha. Os sistemas escarificador, subsolador, preparo da usina e arado de aiveca foram aqueles que provocaram aumentos significativos na emissão devido a presença da palha na superfície quando da aplicação do preparo do solo. Porém, o sistema subsolador parece não impactar nas perdas de carbono via CO₂ do solo somente, o que pode ser observado pelas emissões similares provenientes das parcelas SDsp e SUBsp (Figura 3.7D).

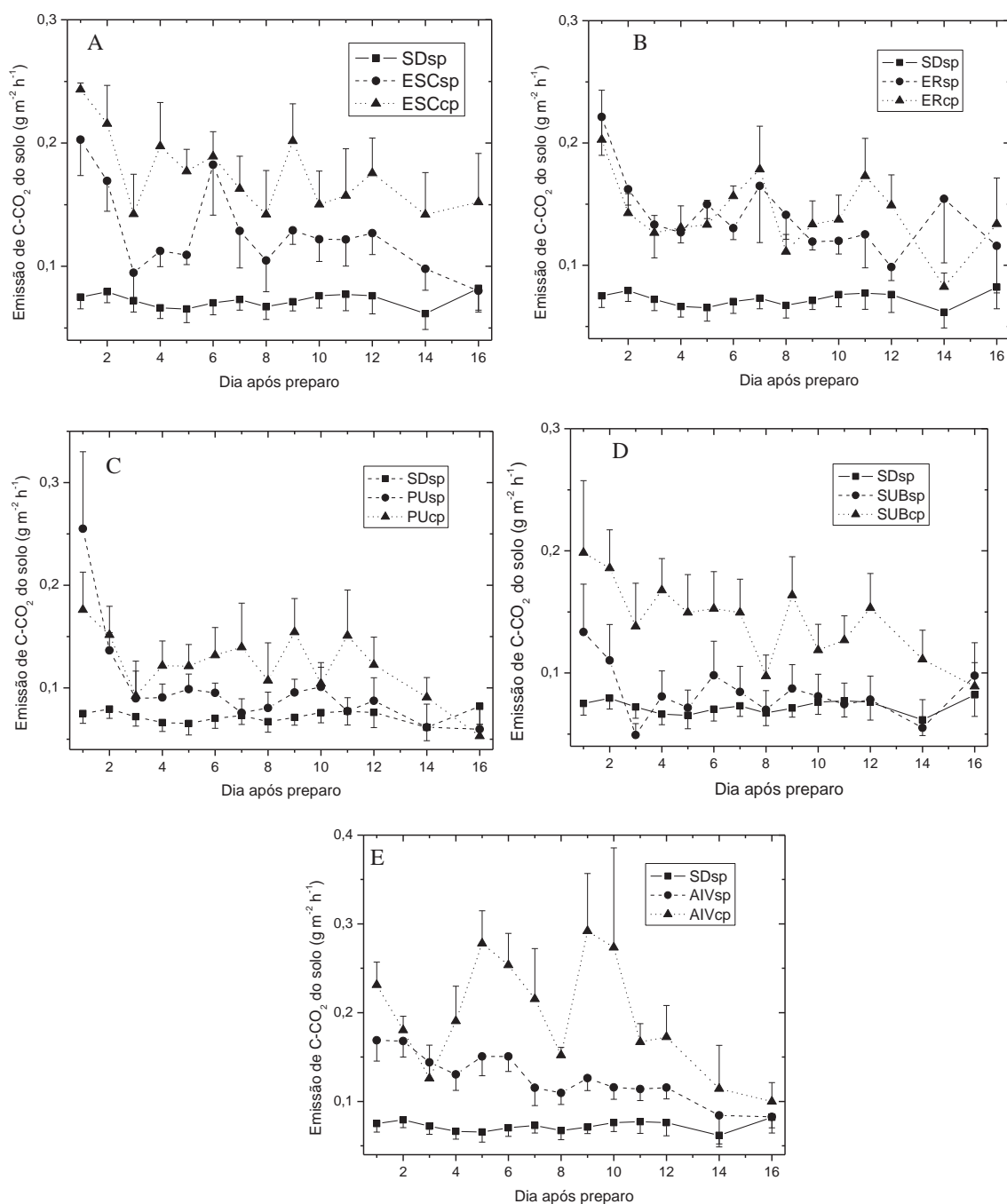


FIGURA 3.7 Emissão de C-CO₂ nas parcelas onde o preparo do solo foi conduzido com e sem palha, em adição a emissão da parcela sem distúrbio sem palha (SDsp).

Diferenças entre as emissões de C-CO₂ em SDsp e os demais tratamentos sem palha foram, em sua maioria, devido à exposição do C lábil aos microrganismos. Essa

exposição é causada pela quebra de agregados por conta do preparo do solo e as consequentes mudanças no decaimento do fator de carbono do solo. No entanto, quando as emissões de C-CO₂ de SDsp e os demais tratamentos com palha são comparadas, um aumento adicional, provavelmente decorrente somente da contribuição dos resíduos da colheita, foi observado. Assim, é suposto que a quebra de agregados e a contribuição do C lábil às emissões são as mesmas em ambas as parcelas com o mesmo preparo do solo (SIX et al., 1999; JACINTHE & LAL, 2005; LA SCALA et al., 2008).

As emissões totais em C-CO₂ associadas a cada sistema de preparo na condição de com ou sem palha podem ser visualizadas na Figura 3.8. Nota-se que, no geral, as emissões sofreram aumento com o preparo do solo e também com a presença de palha na superfície, com exceção do sistema enxada rotativa que não resultou em grandes diferenças nas emissões das parcelas com ou sem resíduos de colheita. A presença de resíduos de cultura nessa parcela indica que os mesmos não foram incorporados ao solo e/ou não foram suficientemente fragmentados comparados à outros métodos de preparo. Esse fato foi relacionado à falta de emissão adicional devido à presença de resíduo de colheita na superfície, na maioria dos dias.

As emissões totais durante os 16 dias de estudo foram tão altas quanto 67,97 e 61,40 g de C-CO₂ m⁻² para AIVcp e ESCcp, respectivamente, e tão baixas quanto 25,80 e 28,77 g C-CO₂ m⁻² em SDsp e SUBsp, respectivamente (Figura 3.6). Supostamente, diferenças nas emissões são relacionadas ao preparo, mas devido à efeitos diferentes. Por exemplo, o aumento em SDsp para AIVsp se deve principalmente à quebra de agregado, à exposição do C lábil e às mudanças no decaimento do fator C devido às mudanças no preparo induzido das estruturas físicas do solo. Em contraste, aumentos de AIVsp para AIVcp ou ESCsp para ESCcp são principalmente devido à incorporação dos resíduos de cultura e à mistura porque o C lábil da quebra de agregados deveria ser o mesmo quando AIVsp e AIVcp ou ESCsp e ESCcp são comparados. O crescimento de 23,95 e 17,16 g de C-CO₂ m⁻² na emissão total de AIVsp para AIVcp e de ESCsp para ESCcp são equivalentes à 240 e 172 kg C-CO₂ ha⁻¹ emitidos em 16 dias, principalmente dos resíduos de cultura.

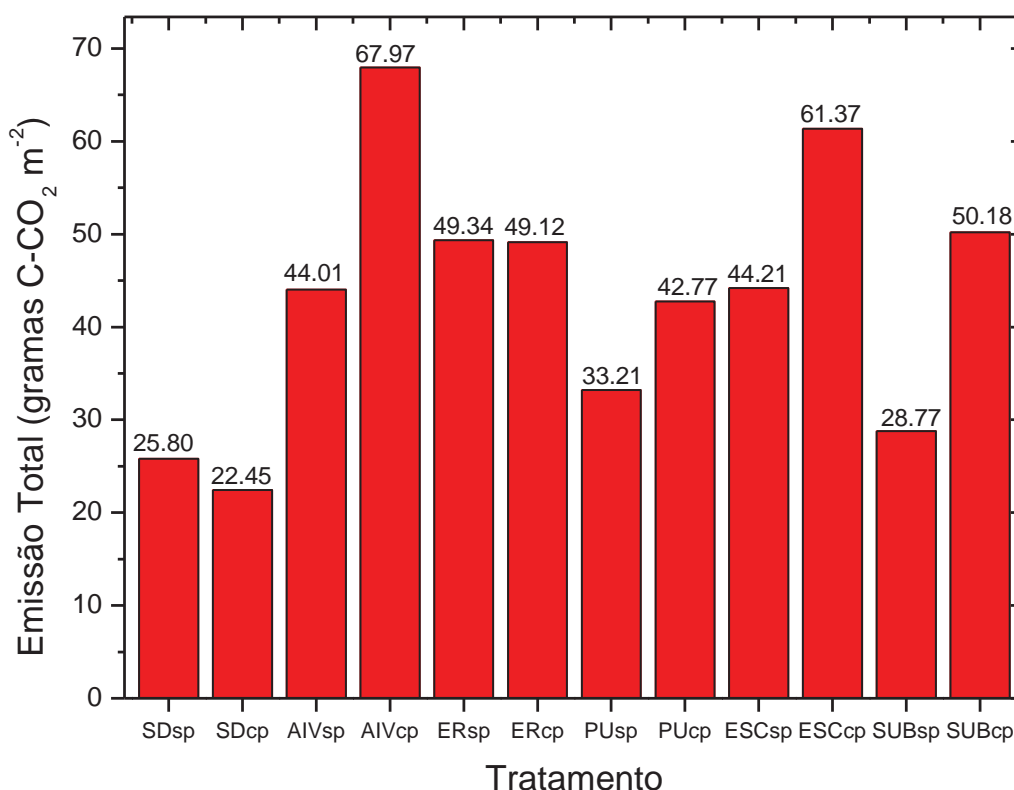


FIGURA 3.8 Emissão total de C-CO₂ nas parcelas estudadas sob a condição sem distúrbio e sob preparo (com e sem palha presente).

Subtraindo-se a parcela AIVcp (67,97 g m⁻² h⁻¹) da SDsp (25,80 g m⁻² h⁻¹), obtêm-se um valor de 42,17 g m⁻² h⁻¹, porém, quando se considera a subtração da parcela SUBcp (50,18 g m⁻² h⁻¹) da SDsp (25,80 g m⁻² h⁻¹), obtêm-se um valor de 24,38 g m⁻² h⁻¹. Assim, comparando-se os exemplos acima, notamos que a mudança no sistema de preparo do solo de aiveca para subsolador resultou em uma diminuição de 17,79 g m⁻² h⁻¹ (42,17 - 24,38 g m⁻² h⁻¹) sendo esse valor corresponde a 178 kg C-CO₂ ha⁻¹ que deixariam de ser emitidos à atmosfera em 16 dias de estudo, somente mudando-se o sistema de preparo de solo.

O resultado encontrado nesse experimento corrobora o reportado por RESENDE et al. (2006), que indica que parte do C armazenado e associado aos resíduos de uma cultura no solo foi perdido após o preparo durante o período de renovação do canavial, que normalmente acontece a cada seis anos em áreas de cultivo de cana de açúcar.

Mudanças na emissão de C do solo, devido à incorporação, foram previamente relatadas por ADIKU et al. (2008) e AL-KAISI & YIN (2005). JACINTHE & LAL (2005) afirmaram que o C protegido corresponde aproximadamente a 0,5 % do carbono orgânico total na camada de solo superficial (0-5 cm) em cultivos sem preparo de solo. No presente trabalho, o preparo é aplicado somente uma vez a cada seis anos, o que supostamente aumenta o C orgânico e a proteção dos agregados (RAZAFIMBELO et al., 2006). Além disso, quando o resíduo vegetal oriundo da colheita é incorporado ao solo, não é todo o C lábil que fica imediatamente disponível para a atividade microbiana, pois a degradação do resíduo depende fortemente de seu contato com o solo (THORBURN et al., 2001). Esse fato é capaz de explicar a variabilidade encontrada nos resultados.

3.4 Conclusões

A presença de resíduos vegetais de cana-de-açúcar na superfície do solo influencia a magnitude de emissão de C-CO₂ do solo nos sistemas de preparo com arado de aiveca, preparo da usina, escarificador e subsolador. Emissões em parcelas com preparo do solo são diferentes, especialmente nos primeiros dias após o preparo. A emissão total indica que no sistema de preparo com enxada rotativa não há nenhum impacto nas emissões de CO₂ de curto prazo, quando os resíduos de cana-de-açúcar são inclusos.

3.5 Referências

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**. v. 311, p. 29-38. 2008. doi: 10.1007/s11104 008 9652

AL-KAISI, M.M.; YIN, X.H. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**. v. 34, p. 437-445. 2005.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 25, p. 189–197. 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 54, p. 101–109. 2000. doi:10.1016/S0167-1987(00)00090-8

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil** v. 238, p. 133–140. 2002. doi: 10.1023/A:1014284329618

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 306 p. 2006.

EUGSTER, W.; MOFFAT, A.M.; CESCHIA, E.; AUBINET, M.; AMMANN, C.; OSBORNE, B.; DAVIS, P.A.; SMITH, P.; JACOBS, C.; MOORS, E.; LE DANTEC, V.; BEZIAT, P.; SAUNDERS, M.; JANS, W.; GRUNWALD, T.; REBMANN, C.; KUTSCH, W.L.; CZERNY, R.; JANOUS, D.; MOUREAUX, C.; DUFRANNE, D.; CARRARA, A.; MAGLIULO, V.; DI TOMMASI, P.; OLESEN, J.E.; SCHELDE, K.; OLIOSO, A.; BERNHOFER, C.; CELLIER, P.; LARMANOU, E.; LOUBET, B.; WATTENBACH, M.; MARLOIE, O.; SANZ, M.J.; SOGAARD, H.; BUCHMANN, N. Management effects on

European cropland respiration. **Agriculture, ecosystems and environment**. v. 139, p. 346-362. 2010. doi:10.1016/j.agee.2010.09.001.

GESCH, R.W.; REICOSKY, D.C.; GILBERT, R.A.; MORRIS, D.R. Influence of tillage and plant residue management on respiration of a Florida Everglades Histosol. **Soil Till. Res.** v. 92, p. 156-166. 2007.

HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. **Soil Science Society of America Journal**. v. 60, p. 740-747. 1996.

IPCC - IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. In: S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe, Editors, **Agriculture, Forestry and Other Land Use**. 4, IGES, Japan. 2006.

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**. v. 88, p. 1478-1484. 2008. doi:10.1016/j.jenvman.2007.07.012.

JACINTHE, P.A.; LAL, R. Labile carbon and methane uptake as affected by tillage intensity in a Mollisol. **Soil and Tillage Research**. v. 80, p. 35-45. 2005. doi:10.1016/j.still.2004.02.018.

LAL, R. Soil Science and the Carbon Civilization. **Soil Science Society of American Journal**. v. 71, p. 1425-1437. 2007. doi:10.2136/sssaj2007.0001.

LA SCALA, N.; MARQUES JR, 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. v. 32, p. 1469-1473. 2000. doi:10.1016/S0038-0717(00)00051-1.

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; PANOSSO, A.R.; CÂMARA, F.T.; PEREIRA, G.T. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. *Soil and Tillage Research* v. 84, p. 222-225. 2005. doi:10.1016/j.still.2004.11.004.

LA SCALA, N.JR.; 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.** v. 91, p. 244-248. 2006. doi:10.1016/j.still.2005.11.012.

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; BOLONHEZI, D.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. **Soil and Tillage Research.** v. 99, p. 108-118. 2008. doi:10.1016/j.still.2008.01.006.

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of bare soil CO₂ fluxes after tillage described by first-order decay models. **European Journal of Soil Science.** v. 60, p. 258-264. 2009a. doi:10.1111/j.1365-2389.2008.01102.x

LA SCALA, N.JR.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; ARCHER, D.; REICOSKY, D.C. First-order decay models to describe soil C-CO₂ loss after rotary tillage. **Scientia Agricola.** v. 66, p. 650-657. 2009b.

LOKUPITIYA, E.; PAUSTIAN, K. Agricultural Soil Greenhouse Gas Emissions: A Review of National Inventory Methods. **Journal of Environmental Quality.** v. 35, p. 1413–1427. 2006. doi:10.2134/jeq2005.0157.

PARÉ, T.; DINEL, H.; MOULIN, A.P.; TOWNLEY-SMITH, L. Organic matter quality and structural stability of a Black Chernozemic soil under different manure and tillage practices. **Geoderma**. v. 91, p. 311–326. 1999. doi:10.1016/S0016-7061(99)00011-7.

RAZAFIMBELO, T.; BARTHÈS, B.; LARRÉ-LARROUY, M.C.; DE LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugarcane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture Ecosystem & Environment**. v. 115, p. 285-289. 2006. doi:10.1016/j.agee.2005.12.014.

RESENDE, A.S.; XAVIER, R.P.; OLIVEIRA, O.C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse application in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**. v. 281, p. 339-351. 2006. doi:10.1007/s11104-005-4640-y.

ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 13-23. 2007. doi:10.1071/SR06080.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, A.; LAL, R.; VENSKE-FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of American Journal**. v. 65, p. 1486–1499. 2001.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of American Journal**. v. 63, p. 1350-1358. 1999.

SMITH, W.N.; GRANT, B.B.; DESJARDINS, R.L.; WORTH, D.; LI, C.; BOLES, S.H.; HUFFMAN, E.C. A tool to link agricultural activity data with the DNDC model to estimate

GHG emission factors in Canada. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 136, p. 301-309. 2010. doi:10.1016/j.agee.2009.12.008.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. **Field Crops Research**. v. 70, p. 223-232. 2001. doi:10.1016/S0378-4290(01)00141-1.