

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DINÂMICA DO EFLUXO DE CO₂ E DA
DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS AFETADA PELO
TIPO DE CULTURA DE COBERTURA E SISTEMA DE
PREPARO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cristiano Keller

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**DINÂMICA DO EFLUXO DE CO₂ E DA DECOMPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS AFETADA PELO TIPO DE CULTURA DE
COBERTURA E SISTEMA DE PREPARO**

Cristiano Keller

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós
Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

Orientador: Prof. Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Keller, Cristiano

Dinâmica do efluxo de co2 e da decomposição de resíduos afetada pelo tipo de cultura de cobertura e sistema de preparo / Cristiano Keller.-2015.

82 p.; 30cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015

1. Sequestro de C 2. Manejo do solo 3. Relação C/N I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Cristiano Keller. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: cristianokeller89@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

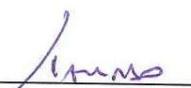
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**DINÂMICA DO EFLUXO DE CO₂ E DA DECOMPOSIÇÃO DE
RESÍDUOS AFETADA PELO TIPO DE CULTURA DE COBERTURA
E SISTEMA DE PREPARO**

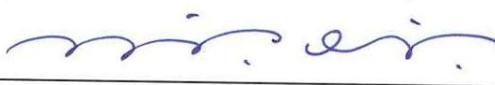
elaborado por
Cristiano Keller

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

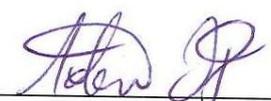
COMISSÃO EXAMINADORA:



Telmo Jorge Carneiro Amado
(Presidente/Orientador)



Newton La Scala Júnior, Dr. (UNESP)



Ademir de Oliveira Ferreira, Dr.(UEPG)

Santa Maria, 24 de Fevereiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Florentino Keller e Marli T. Gresele Keller e aos meus irmãos Felipe Keller e Graciela Keller pelo apoio ao decorrer dessa caminhada.

A UFSM, Dpt. de Solos e ao Cnpq por oportunizar e financiar minhas pesquisas.

Ao professor Telmo Jorge Carneiro Amado pelos ensinamentos e oportunidades ao longo da graduação e do mestrado.

À FUNDACEP e ao Dr. Jackson Fiorin, por toda a assistência e a oportunidade de trabalhar na sua área experimental.

A todos os colegas do Laboratório de Uso, Manejo e Conservação do Solo que, de alguma maneira, auxiliaram em minha formação. Agradeço especialmente aos amigos Rafael Pivotto Bortlotto e Douglas Dalla Nora pelo auxílio durante o desenvolvimento das pesquisas.

Vocês fazem parte dessa conquista!

Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

DINÂMICA DO EFLUXO DE CO₂ E DA DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS AFETADA PELO TIPO DE CULTURA DE COBERTURA E SISTEMA DE PREPARO

AUTOR: CRISTIANO KELLER
ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Santa Maria, 24 de Fevereiro de 2015.

A contabilidade líquida do balanço de carbono no solo, tem como relevância a identificação de práticas agrícolas que contribuam para mitigação das mudanças climáticas globais. Neste sentido, pesquisas devem ser conduzidas visando melhorar a precisão das estimativas das taxas de emissão e sequestro de C em experimentos de campo, para quantificar a capacidade real do solo em acumular C e o quanto poderá ser reemitido para atmosfera na forma de CO₂ por mudanças no manejo do solo. Este trabalho, dividido em dois capítulos, tem por objetivo investigar as relações entre sistemas de preparo e tipos de resíduos vegetais nas emissões de C-CO₂ e no potencial de sequestro de C. O trabalho foi desenvolvido em parcelas que constituem o experimento "Influência do preparo do solo e da rotação de culturas sobre o rendimento e a rentabilidade das culturas", instalado em 1985, situado na atual Cooperativa Central Gaucha LTDA, Tecnologia (CCGL-tec), antiga Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotriga (FUNDACEP), no município de Cruz Alta – RS. O primeiro estudo avaliou o efluxo de C-CO₂ durante 125 dias no período de novembro de 2013 a março de 2015, utilizando câmara de fluxo fechado dinâmica com analisador infravermelho (LI-8100), combinando sistemas de preparo, plantio convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD) com diferentes tipos de cobertura do solo. No segundo combinaram-se os efluxos acumulados de C-CO₂ desse período com a dinâmica de decomposição de resíduos culturais de aveia preta (*Avena strigosa* Schreber), ervilhaca comum (*Vicia sativa* (L.) Walp.) e o consórcio das mesmas. Os resultados indicaram que em Latossolo argiloso, na ausência de resíduos vegetais, a ruptura dos agregados pelo preparo do solo em PR e PC teve limitado incremento nos efluxos de C-CO₂. A umidade do solo foi a variável que melhor explicou as variações do efluxo de C-CO₂ para os sistemas de cultivo PR e PD. O decaimento dos efluxos até alcançar a fase de menor e estável efluxo diferiu entre os sistemas de preparo, persistindo no PC até o final do primeiro mês, em PR até cerca de 20 dias após o preparo e em PD até 7 dias após a semeadura. Do total de C-CO₂ emitido pelos resíduos, os primeiros 10 dias após o manejo do solo foram responsáveis por emitir a maior quantidade, destacando-se em PC os resíduos de ER com 445,0 kg ha⁻¹ (19,4%), em PR os resíduos de AV+ER com 889,9 kg ha⁻¹ (29,6%) e em PD os resíduos de ER com 384,9 kg ha⁻¹ (24,5%). O tipo de cobertura exerceu influência sobre o efluxo de C-CO₂, com aumento dos mesmos à medida que decresceu a relação C/N dos resíduos para o PC e PR. Em PD a parcela com resíduos de ER de menor relação C/N, não diferiu estatisticamente do PC e PR de maior relação C/N, mostrando-se menos sensível as variações das relações C/N. O tempo em que o solo atuou como

dreno de C-CO₂ em PC foi de 43, 40 e 10 dias, para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente, a partir desses períodos o solo passou a atuar como fonte de C-CO₂ para a atmosfera. Em PD o influxo de C-CO₂ para a AV persistiu até o final do experimento, para AV+ER e ER até os primeiros 86 e 44 dias respectivamente. Em PD independente do resíduo cultural o balanço parcial de C-CO₂ no solo foi positivo, com maior influxo para os resíduos da AV, intermediário para o consorcio AV+ER e menor para a ER, com taxas de conversão do C de 24,8, 13,9 e 11,4% para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente. Em PC o solo atuou como dreno de C somente quando submetido ao manejo com AV com taxa de conversão do C de 16,4%, nos demais manejos o solo atuou como fonte de C-CO₂ para a atmosfera com efluxo de 103,7 e 105,5% em relação ao C total adicionado pelos resíduos para o consorcio AV+ER e ER, respectivamente.

Palavras-chave: Sequestro de C. Manejo do solo. Relação C/N.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

CARBON DIOXIDE ISSUE AND CARBON STOCK CHANGE IN SOIL AFFECTED BY TYPE OF CULTURE OF COVERAGE AND PREPARATION SYSTEMA

UTHOR: CRISTIANO KELLER
ADVISOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Santa Maria, February 24, 2015.

The liquid carbon accounting balance in the soil is important to identify agricultural practices that contribute to mitigation of global climate change. In this sense, research must be conducted to improve the accuracy of estimates of emission rates and C sequestration in field experiments to quantify the actual capacity of the soil to accumulate C and how much can be reissued to the atmosphere as CO₂ by changes in soil management. This work is divided into two chapters, aims to investigate the relationship between tillage systems and types of wastes in emissions of C-CO₂ and C sequestration potential. The study was conducted in plots making up the experiment "Influence of tillage and crop rotation on yield and profitability of crops", installed in 1985, located in the current Central Cooperative Gaucha LTDA Technology (CCGL-tec) former Foundation Experimentation and Research Center Fecotriga (FUNDACEP), in Cruz Alta - RS. The first study evaluated the flow of C-CO₂ for 125 days from November 2013 to March 2015, using dynamic closed flow chamber with infrared analyzer (LI-8100), combining tillage and conventional tillage (PC) reduced tillage (PR) and no tillage (NT) with different types of land cover. In the second combined if the cumulative flows of C-CO₂ that period with the decomposition of crop residues of oat (*Avena strigosa* Schreber), common vetch (*Vicia sativa* (L.) Walp.) and the consortium of the same. The results indicated that in clayey Oxisol, in the absence of plant residues, the breakdown of households by tillage in PR and PC had limited increase in outflows of C-CO₂. Soil moisture was the variable that best explains the variations of C-CO₂ efflux for PR and NT cropping systems. The decay of outflows until reaching the lower phase and stable efflux differ among tillage systems, persisting in the PC until the end of the first month in PR until about 20 days after preparation and NT up to 7 days after sowing. Of the C-CO₂ emissions from waste, the first 10 days after soil management were responsible for issuing the largest amount, especially in the PC ER waste with 445.0 kg ha⁻¹ (19.4%) in PR AV+ER waste with 889.9 kg ha⁻¹ (29.6%) and NT the ER waste with 384.9 kg ha⁻¹ (24.5%). The type of coverage has an effect on the flow of C-CO₂, with an increase of them as decreased the C/N waste to the PC and PR. In NT the portion with waste ER smaller C/N, was not significantly different PC and PR higher C/N, being less sensitive to variations of the C/N ratios. The time in which the soil acts as a sink for C-CO₂ PC was 43, 40 and 10 days for waste AV, AV+ER and ER, respectively, from these periods the soil began to act as a source of C-CO₂ into the atmosphere. In NT the influx of C-CO₂ into the AV persisted until the end of the experiment, AV+ER and ER to the first 86 and 44 days respectively. Independent crop residue NT partial balance of C-CO₂ in the soil was positive, with greater influx to the waste of AV,

intermediate for the AV+ER consortium and less to the ER, with C the conversion rates of 24.8, 13.9 and 11.4% for waste AV, AV+ER and ER, respectively. In PC soil acts as C drain only when submitted to management with AV C with the conversion rate of 16.4%, in other managements soil served as a source of C-CO₂ into the atmosphere with 103.7 and efflux 105.5% relative to the total C added to the residue consortium AV+ER and ER, respectively.

Keywords: Sequestration of C. Soil management. C/N ratio.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em preparo convencional; a: período total de avaliação (125 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com barra de erro padrão; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca35

Figura 2: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em preparo reduzido; a: período total de avaliação (125 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com barra de erro padrão; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca36

Figura 3: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em plantio direto; a: período total de avaliação (120 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com barra de erro padrão; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca37

Figura 4: Evolução temporal dos efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais em sistema de Preparo Convencional (PC), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia: AV+ER; aveia + ervilhaca: ER; Ervilhaca40

Figura 5: Evolução temporal dos efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais em Sistema de Preparo Reduzido (PR), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia: AV+ER; aveia + ervilhaca: ER; Ervilhaca41

Figura 6: Evolução temporal dos efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais em Sistema de Preparo Plantio Direto (PD), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia: AV+ER; aveia + ervilhaca: ER; Ervilhaca42

Figura 7: Efluxos totais de carbono acumulado durante o período de 125 dias (mais metade do erro-padrão, kg C-CO₂ ha⁻¹), relativo aos sistemas de preparo do solo; PD: plantio direto; PR: preparo reduzido; PC: plantio convencional e seus respectivos tipos de cobertura; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia+ervilhaca; ER: ervilhaca. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo dentro de cada tipo de cobertura e médias seguidas por letras minúsculas comparam os tipos de resíduos culturais dentro de cada sistema de preparo, pelo teste de Tukey a 5% de significância46

ARTIGO II

Figura 1: Matéria seca remanescente dos resíduos culturais das plantas de cobertura em plantio convencional (a) e plantio direto (b), até os 120 dias após instalação do experimento; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca. ** p < 0,01; *** p < 0,00168

Figura 2: Evolução temporal do sequestro aparente de carbono no solo em sistema plantio convencional (PC) no período de 125 dias, para os resíduos de; a) Aveia; b) Aveia mais Ervilhaca e c) Ervilhaca71

Figura 3: Evolução temporal do sequestro aparente de carbono no solo em sistema plantio direto (PD) no período de 125 dias, para os resíduos de; a) Aveia; b) Aveia mais Ervilhaca e c) Ervilhaca72

Figura 4: Balaço aparente de C no solo dos sistemas de Preparo; a: Plantio direto; b: Plantio convencional. Manejados com; AV: Aveia; AV+ER: Aveia+Ervilhaca; ER: Ervilhaca; no período de 125 dias de avaliação. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e médias seguidas por letras minúsculas comparam os tipos de cobertura, pelo teste de Tukey a 5% de significância.....75

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1 – Quantidade de massa seca e carbono aportado em cada sistema de preparo do solo pelos diferentes tipos de resíduos culturais.....	23
Tabela 2 – Descrição dos dados meteorológicos no período de avaliação (22/11/2013 a 25/03/2014). Cruz Alta, RS	25
Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA).....	26
Tabela 4 – Temperatura e PPA média do solo, precipitação e efluxo médio de C-CO ₂ observada nos diferentes tratamentos durante o período de avaliação	28
Tabela 5 – Relação entre Efluxo de C-CO ₂ e variáveis de Temperatura e Umidade do Solo e do Ar.....	31

ARTIGO II

Tabela 1 – Descrição dos dados meteorológicos no período de avaliação.....	64
Tabela 2 – Quantidade de massa seca e carbono aportado em cada sistema de preparo do solo pelos diferentes tipos de resíduos culturais.....	64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 HIPÓTESES.....	17
3 OBJETIVOS DO TRABALHO	18
3.1 Objetivo geral	18
3.2 Objetivos específicos.....	18
4 ARTIGO I – DINÂMICA DO EFLUXO DE C-CO₂ DO SOLO AFETADO POR SISTEMAS DE PREPARO E RESÍDUOS VEGETAIS.	19
4.1 Resumo	19
4.2 Introdução.....	20
4.3 Material e Métodos	21
4.3.1 Caracterização da área experimental.....	21
4.3.2 Condições experimentais	22
4.3.3 Coleta dos dados das emissões de C-CO ₂	23
4.3.4 Avaliações complementares.....	24
4.3.5 Dados meteorológicos.....	25
4.3.6 Análise matemática e estatística	25
4.4 Resultados e Discussão	26
4.4.1 Evolução temporal dos efluxos de C-CO ₂	32
4.4.2 Efluxos totais de C-CO ₂ associado ao sistema de preparo do solo e tipos de cobertura vegetal.....	43
4.5 Conclusões	46
4.6 Referências Bibliográficas	47
5 ARTIGO II – DINÂMICA DO SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE PREPARO E RESÍDUOS VEGETAIS.	58
5.1 Resumo	58
5.2 Introdução.....	59
5.3 Material e Métodos	61
5.3.1 Caracterização da área experimental.....	61
5.3.2 Condições experimentais	62
5.3.3 Coleta dos dados das emissões de C-CO ₂	63
5.3.4 Dados meteorológicos.....	63
5.3.5 Determinação da taxa de decomposição	64
5.3.6 Análise matemática e estatística	65
5.4 Resultados e discussão.....	66

5.4.1 Decomposição dos resíduos culturais em plantio direto e plantio convencional.	66
5.4.2 Evolução temporal do balanço aparente de carbono no solo.....	68
5.4.3 Efeito da relação C/N dos tipos de resíduos culturais e do sistema de preparo sobre o sequestro de carbono do solo.	73
5.5 Conclusão	76
5.6 Referências Bibliográficas	76

1 INTRODUÇÃO GERAL

No último relatório de avaliação apresentado por cientistas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), em novembro de 2014, o aumento das emissões dos gases do efeito estufa (GEE) estimado em 1,3% ao ano (1970 a 2000), apresentaram um elevado incremento, com crescimento anual, entre os anos de 2000 a 2010 de 2,2%(IPCC, 2014).

Esse aumento nas emissões de GEE, como o dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), clorofluorcarbonos (CFCs), são apontados como responsáveis pela ocorrência de fenômenos naturais extremos, como as intensas ondas de calor, tempestades, secas e furacões, cada vez mais severos, assim como a extinção de inúmeras espécies (MOITINHO, 2013).

Nesse contexto, a agricultura é indicada como uma importante fonte emissora de GEE, sendo responsável mundialmente por aproximadamente 22% das emissões totais de CO_2 , 80% das emissões de N_2O e 55% das emissões de CH_4 (IPCC, 2007).

No Brasil, estima-se que a agricultura seja responsável por emitir 75, 91 e 94% das emissões totais de CO_2 , CH_4 e N_2O , respectivamente (Cerri & Cerri, 2007). Por outro lado, este setor pode fazer parte da estratégia de mitigação do efeito estufa com potencial de compensar cerca de 20 a 30% das emissões de GEE (BAYER, 2007; RICE e REED, 2007), devido à extensão da área ocupada e a flexibilidade de adoção de práticas de manejo que promovam o influxo de Carbono (C) e a redução das emissões.

Nos próximos anos projeta-se um acentuado incremento da produção agrícola brasileira em função da crescente demanda internacional pelas commodities agrícolas, para tanto será necessário a incorporação de novas áreas à produção com mudança no uso da terra e a intensificação dos cultivos pela exploração de safra e safrinha (dois cultivos no período de verão) e no uso de insumos (fertilizantes, fungicidas, inseticidas, herbicidas e etc.). Tal expansão e intensificação do setor agrícola representam um risco de incremento nas já elevadas emissões de GEE deste setor.

Visando enfrentar o duplo desafio de estimular o crescimento da agricultura e ao mesmo tempo manter ou reduzir as emissões de GEE, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) lançou o programa Agricultura de Baixo Carbono

(ABC). De acordo com Rossi (2010) a agricultura tem as melhores oportunidades tanto de mitigação como de adaptação as mudanças climáticas em curso. Portanto, o governo brasileiro estruturou um programa cujo objetivo principal é implementar alternativas de baixa emissão de carbono visando alcançar a meta de mitigação das emissões de GEE assumida de forma voluntária na conferência das partes (COP 9), reunião sobre biodiversidade promovida pelas Nações Unidas em 2010.

No programa ABC do governo brasileiro destaca-se o estímulo a adoção do sistema plantio direto na palha, a substituição de fertilizantes nitrogenados minerais pela fixação biológica de nitrogênio e a recuperação de áreas degradadas.

Pelo incremento na adoção do sistema plantio direto de 8 milhões de hectares, passando da atual área de 25 milhões de hectares para 32 milhões prevê-se uma redução de 16 a 20 milhões de toneladas de carbono até 2020. Pelo estímulo a fixação biológica de nitrogênio na produção de grãos, com ênfase a soja, prevê-se uma redução de pelo menos 16 milhões de toneladas de carbono. Finalmente, a recuperação de 15 milhões de hectares de áreas com pastagens degradadas contribuiria com uma redução de 101 milhões de toneladas de carbono equivalente (Rossi, 2010).

A eficiência do sistema plantio direto, segundo o ministério da agricultura, está associado a redução de 90% nas perdas de solo, redução de 60 a 70% no uso de combustíveis fósseis e incremento de 1% no teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, no horizonte de dez anos.

Dessa forma, as ações antrópicas relacionadas com a gestão do solo podem interferir diretamente no fluxo de CO₂ entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera (LA SCALLA et al., 2001; REICOSKY et al., 1997; MORELL et al., 2010; SUGIHARA et al., 2012).

O solo, por ser um reservatório natural de carbono (C), constitui-se um importante compartimento deste elemento, sendo capaz de estocar uma quantidade quase que 3 vezes mais em relação ao que armazena a vegetação e 2 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999). Assim, dado o tamanho do compartimento solo uma variação mínima no C estocado neste poderia resultar em consideráveis mudanças na concentração atmosférica de CO₂ (LUO, WANT e SUN, 2010).

A taxa de emissão de CO₂ do solo para a atmosfera é determinada, principalmente, pela temperatura ambiente, umidade, C disponível para a atividade dos microorganismos, da relação C/N da matéria orgânica e dos resíduos

incorporados (BUYANOVSKY et al., 1986; SILVA et al., 2010; BORTOLLOTO et al., 2015). Ainda, reportaram que os sistemas de preparo e de cultura também influenciam as variáveis que controlam o estoque de carbono no solo (BAYER et al., 2000) e a sua emissão para a atmosfera na forma de CO₂ (REICOSKY et al., 2005; MOITINHO et al., 2012). A investigação da eficiência das práticas de manejo do solo e das plantas de cobertura visa suportar a transição da agricultura convencional com elevada emissão para a agricultura conservacionista de baixo carbono.

O sequestro de C no solo em áreas agrícolas, e em especial em PD, constitui-se o processo mais econômico de mitigação, com os benefícios de utilizar menor quantidade de combustível e de fertilizantes sintéticos.

O estudo do fluxo de GEE em sistemas agrícolas no Brasil, e especialmente no Rio Grande do Sul, ainda é incipiente, de tal forma que a compreensão da dinâmica do CO₂ pode contribuir para a identificação de sistemas de manejo capazes de mitigar C, minimizando o impacto da agricultura no âmbito das mudanças climáticas globais.

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo estimar os efluxos de C-CO₂ e o potencial de sequestro de C no solo, para os principais sistemas de preparo e culturas de cobertura. Para tanto, foram realizadas medições do efluxo de C-CO₂ do solo e determinação das taxas de decomposição por um período de 125 dias, nos sistemas de preparo convencional, preparo reduzido e plantio direto, manejados sob solo descoberto, com resíduos de aveia preta, consórcio aveia mais ervilhaca e ervilhaca.

2 HIPÓTESES

O tipo de sistema de preparo associado à qualidade de resíduos culturais regula as emissões de CO₂ e a mudança de estoque de carbono no solo.

A adoção do sistema plantio direto e do consórcio de culturas de cobertura são as estratégias mais eficientes na redução das emissões de CO₂ do solo e de incremento do estoque de C.

A emissão de CO₂ do solo é regulada por uma forte interação entre o tipo de resíduo vegetal e o sistema de preparo, de modo que em Latossolos argilosos a contribuição do tipo de resíduo tem sido frequentemente subestimada.

3 OBJETIVOS DO TRABALHO

3.1 Objetivo geral

Investigar as relações entre sistemas de preparo e o tipo de resíduos vegetais nos efluxos de CO₂ e no potencial de sequestro de C no solo.

3.2 Objetivos específicos

Quantificar as principais fontes de emissões de CO₂ no período de implantação das culturas de verão.

- Caracterizar a evolução temporal das emissões de CO₂ do solo durante o ciclo da cultura de verão.

- Avaliar a influência da relação C/N dos resíduos culturais, associado ao sistema de preparo do solo na emissão e sequestro de C.

- Determinar o período de estabilização do fluxo de CO₂ em diferentes sistemas de preparo.

- Avaliar a influência das variáveis climáticas temperatura e umidade do solo e do ar sobre a emissão de CO₂.

4 ARTIGO I – DINÂMICA DO EFLUXO DE C-CO₂ DO SOLO AFETADO POR SISTEMAS DE PREPARO E RESÍDUOS VEGETAIS.

4.1 Resumo

Nos próximos anos está previsto um acentuado incremento da produção agrícola brasileira em função da crescente demanda pelas commodities agrícolas, para tanto será necessário a incorporação de novas áreas à produção e a intensificação no uso de insumos. Tal intensificação do setor agrícola representa um risco de incremento nas já elevadas emissões de GEE. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a contribuição dos sistemas de preparo e da relação C/N das plantas de cobertura sobre a dinâmica de C-CO₂ do solo. O trabalho foi realizado em parcelas que constituem um experimento de longa duração iniciado em 1985 no município de Cruz Alta - RS. O estudo foi conduzido em parcelas subdivididas, com 4 repetições. O tratamento principal foi constituído por três sistemas de preparo: Preparo convencional (PC), preparo reduzido (PR) e plantio direto (PD). A subparcela constituiu-se por tipos de cobertura: Sem cobertura (SC), Aveia (AV) (alta C/N), aveia mais ervilhaca (AV+ER) (média C/N) e ervilhaca (ER) (baixa C/N). O registro das emissões de C-CO₂ (câmara LI-COR, LI-8100) foram feitos às 8, 13 e 17 horas no PC, às 8:30, 13:30 e 17:30 horas no PR e às 9, 14 e 18 horas em PD, tendo sido calculada a emissão média diária, concomitantemente com as determinações de temperatura e umidade do solo e do ar, totalizando 28 dias avaliações por um período de 125 dias. A umidade do solo foi a variável que melhor explicou as variações do efluxo de C-CO₂ para os sistemas de cultivo PR e PD. A temperatura do solo apresentou correlação com o efluxo de C-CO₂ apenas para o sistema de cultivo PD. O decaimento dos efluxos diferiu entre os sistemas de preparo, persistindo no PC até o final do primeiro mês, em PR até cerca de 20 dias após o preparo e em PD até 7 dias após a semeadura. Os maiores efluxos de C-CO₂ em PC foram observados no dia seguinte ao preparo com incrementos de 220,6% para os resíduos de ER, 176,6% para o consorcio AV+ER e 194,8% para a AV. Em PR os maiores efluxos são observados no quarto dia após o preparo do solo com incrementos de 329,8% para os resíduos de ER e 321,7% para o consorcio AV+ER. Os valores máximos de efluxo em PD ocorreram no sexto dia após a realização da semeadura. Do total de C-CO₂ emitido pelos resíduos destacando-se em PC os resíduos de ER com 445,0 kg ha⁻¹ (19,4%), em PR os resíduos de AV+ER com 889,9 kg ha⁻¹ (29,6%) e em PD os resíduos de ER com 384,9 kg ha⁻¹ (24,5%). O tipo de cobertura exerceu influência sobre o efluxo de C-CO₂, com aumento dos mesmos à medida que decresceu a relação C/N para o PC e PR. Sendo o PD pouco sensível as variações da relação C/N. Em PD a parcela com resíduos de ER de menor relação C/N, não diferiu estatisticamente do PC e PR de maior relação C/N. A manutenção dos resíduos de baixa C/N, na superfície do solo em PD, representou uma redução nos efluxos de C-CO₂ de 30 e 26% em relação ao PR ER e PC ER, respectivamente.

Palavras-chave: Efeito estufa, manejo do solo, relação C/N.

4.2 Introdução

As mudanças climáticas associadas ao aumento das concentrações dos GEE geram uma necessidade crescente de desenvolvimento e identificação de técnicas que proporcionem a mitigação das emissões em vários setores da economia (DE FIGUEREDO, 2014).

Devido ao reconhecimento da importância da contabilidade líquida dos fluxos de carbono quando se refere as emissões por fontes e remoções por sumidouros pela convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (WEST & MARLAND, 2002), várias práticas de manejos agrícolas tem sido estudadas, buscando evitar ou diminuir as emissões de GEE, mantendo o desafio de reduzir as emissões líquidas e aumentar a produção de alimentos, fibras e biocombustíveis (SMITH et al. 2010).

Tendo em vista a grande capacidade de armazenamento de C no solo, cerca de 3 vezes mais em relação ao que armazena a vegetação e 2 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999), uma variação mínima nesse compartimento poderia resultar em consideráveis mudanças na concentração atmosférica de CO₂ (LUO, WANT e SUN, 2010). Dessa forma, as ações antrópicas relacionadas com a gestão do solo podem interferir diretamente no fluxo de CO₂ entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera (LA SCALLA et al., 2001; REICOSKY et al., 1997; MORELL et al., 2010; SUGIHARA et al., 2012).

Entre as principais variáveis indicadas na literatura que controlam o estoque de C no solo e sua emissão para a atmosfera na forma de CO₂ destacam-se temperaturas do ar e do solo, conteúdo de água no solo, densidade do solo, porosidade, nutrientes, concentração de carbono orgânico total (COT) (USSIRI; LAL, 2009), as formas manejo dos resíduos culturais, tipos de preparo do solo, aplicação de fertilizantes, rotação de culturas, a profundidade de ação e intensidade das operações de preparo, (ARMENTANO & MENGES, 1986; ÁLVARO-FUENTES et al., 2007; PRIOR et al., 2000; REICOSKY; LINDSTROM, 1993; REICOSKY; ARCHER, 2007), bem como da dinâmica da atividade microbiana, que é influenciada pela relação C/N (carbono/nitrogênio) dos resíduos vegetais (SIX et al., 2006).

Em se tratando de sistemas de manejo do solo, estima-se que o preparo convencional ao longo da história tem conduzido a uma redução média na ordem de

30 a 50% no conteúdo original de MO (SCHLESINGER, 1985). Há evidências que esta redução no estoque de MO foi uma das fontes que contribuíram para o significativo aumento da concentração de CO₂ na atmosfera (WILSON, 1978; POST et al., 1990). Em contra partida o plantio direto por reduzir a mobilização do solo e pela necessidade de ser associado à rotação de culturas, com inclusão de culturas de cobertura, oferece grande alternativa para sequestrar carbono em sistemas agrícolas tropicais e subtropicais (AMADO, 1999; AMADO & MIELNICZUK, 1999; BAYER et al., 2000), com capacidade de restaurar entre 50 a 100% dos níveis originais de C do solo (AMADO et al., 2006; BAYER et al., 2000b; BODDEY et al., 2010; SÁ et al., 2001; VIEIRA et al., 2007).

De acordo com MacLeod et al. (2010), embora existam várias alternativas tecnicamente viáveis para reduzir as emissões agrícolas, não são óbvias quais práticas poderão permitir reduções eficientes de GEE. Dessa forma medidas dos fluxos de gases do solo induzidas por diferentes práticas de manejo ou sistemas de preparo são importantes para identificar quais são os mais impactantes no balanço de C do solo (POST et al. 1990; REICOSKY, 1997).

Existe uma carência de informações a respeito dos efluxos de C-CO₂ em diferentes sistemas de preparo do solo e resíduos culturais. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi quantificar o impacto dos sistemas de preparo e das principais plantas de cobertura utilizadas no sul do Brasil, quanto aos efluxos de C-CO₂ durante as operações de implantação das culturas de verão.

4.3 Material e Métodos

4.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em parcelas que constituem o experimento "Influência do preparo do solo e da rotação de culturas sobre o rendimento e a rentabilidade das culturas", instalado em 1985 (Ruedell, 1995). Para este trabalho foram escolhidos os sistemas de rotação R2 (Aveia/soja/trigo/soja) e R1 (Trigo/soja/aveia/soja/aveia+ervilhaca/milho/nabo). O experimento está situado na atual Cooperativa Central Gaucha LTDA, Tecnologia (CCGL-tec), antiga Fundação

Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrigo (FUNDACEP), no município de Cruz Alta – RS (Rio Grande do Sul), na região do Planalto Médio, nas coordenadas geográficas 28°36' Sul e 53°40' Oeste com altitude de 409 m. O clima da região segundo classificação climática de Koppen (1948) é subtropical úmido, Cfa 2a, com precipitação média anual de 1774 mm. A temperatura média anual é de 18,7°C (média do período de 1998 a 2006 - Estação Meteorológica da CCGL-tec). O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2005), com predomínio de caulinita e óxidos de ferro (63,5 g kg⁻¹, extraído por DCB) com teor de argila de 570 g kg⁻¹. Entre os óxidos de ferro, a hematita está presente em maior proporção do que a goethita, conferindo cor avermelhada ao solo (CAMPOS, 2006).

4.3.2 Condições experimentais

Este estudo ocorreu no período de 22/11/2013 a 24/03/2014, no qual foi realizado o manejo das culturas de cobertura, preparo do solo e implantação da cultura de verão (soja) nas parcelas estudadas.

A pesquisa foi desenvolvida em parcelas subdivididas, com 4 repetições. A parcela principal foi constituída por três sistemas de preparo: a) Preparo convencional (PC), b) Preparo reduzido (PR) e c) Plantio direto (PD). A subparcela constituiu-se por quatro tipos de cobertura: a) sem cobertura (SC), b) Aveia preta (AV) (*Avena strigosa* Schieb.) (alta C/N), c) aveia + ervilhaca (*Vicia sativa* L.) (ER) (média C/N) e d) ervilhaca comum (ER) (baixa C/N).

O tratamento para os três sistemas de preparo com cobertura de AV foi instalado no sistema de rotação R1 e com cobertura de AV+ER no sistema de rotação R2. Para a cobertura ER foi realizada uma adaptação no sistema R2, sendo instalada no lugar de aveia+ervilhaca apenas a cultura da ervilhaca.

O PC constituiu-se de uma lavração, com arado de quatro discos (profundidade de trabalho de 0,20 m), seguido de duas gradagens com grade de 36 discos (profundidade de 0,15 m) (dia 23/11/2013). O PR constituiu-se apenas de preparo com escarificador de 5 braços espaçados a 0,35 m (profundidade de trabalho de 0,35 m) (dia 23/11/2013). Já o PD constituiu-se de dessecação

(15/11/2013) e na mobilização do solo apenas na linha durante a operação de semeadura, permanecendo as entrelinhas cobertas pelos resíduos da cultura anterior. A semeadura em ambos os sistemas de preparo foi realizada com semeadora equipada com duplo disco (Semeato SHM mid land 15/17) no dia 25/11/2013.

A quantidade de massa seca (MS) existente na área (Tabela 1) para os sistemas de preparo e tipos de resíduos culturais da parte aérea foi calculada coletando-se, aleatoriamente, quatro subamostras de 0,5 m² em cada parcela. No momento da avaliação, a aveia encontrava-se no estágio final de florescimento e a ervilhaca no início do florescimento. A relação C/N dos resíduos apresentou valor máximo de 34:1 na cultura da Aveia, mínimo de 13,5:1 para a cultura da ervilhaca e em consorcio valor intermediário de 23,5:1

Tabela 1 – Quantidade de massa seca e carbono aportado em cada sistema de preparo do solo pelos diferentes tipos de resíduos culturais.

Sistema de preparo	Resíduo cultural	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Carbono (kg ha ⁻¹)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)
PC	AV	6598	2651	78
	AV + ER	6780	2735	116
	ER	6401	2569	190
PR	AV	6398	2571	75
	AV + ER	6903	2784	118
	ER	6525	2619	194
PD	AV	6442	2589	76
	AV + ER	6858	2766	117
	ER	6498	2608	193

* Quantidade de carbono na massa seca obtida em análise química laboratorial; AV: 40,18 %; AV+ER: 40,33 %; ER: 40,14 %.

4.3.3 Coleta dos dados das emissões de C-CO₂

O registro das emissões de CO₂ foi realizado com auxílio de um sistema portátil LI-COR (LI-8100, Lincoln, NE, USA), o qual monitora a mudança na concentração de CO₂ no interior da câmara utilizando um analisador de gás na faixa do infravermelho (IRGA). A câmara consiste de um sistema colocado sobre anéis de PVC de 0,20 m de diâmetro, inseridos a 0,10 m no solo. Esta câmara possui um

volume interno de 4823,9 cm³, com uma área exposta para o solo de 317,8 cm². Após a câmara estar fechada, a concentração de CO₂ foi registrada a cada 2,5 s durante 1,5 min em cada anel de PVC. A taxa de emissão de CO₂ para cada ponto de amostragem (anel de PVC) foi estimada através de interpolação. Posteriormente, os valores obtidos em CO₂ foram transformados para kg de C-CO₂ ha⁻¹.

Em cada tipo de cobertura do solo foram instalados 4 anéis de PVC, ou seja, 16 em cada sistema de preparo, totalizando 48 pontos amostrais.

As avaliações iniciaram um dia antes preparo do solo (22/11/2013), sendo realizado um total de 28 dias de avaliações (dias 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 de novembro de 2013; 1, 2, 4, 6, 9, 11, 13, 16, 18, 20, 23 e 30 de dezembro de 2013; 7, 15, 23 de janeiro de 2014; 5 e 17 de fevereiro de 2014; 5 e 25 de março de 2014) em um período de 125 dias. Nesses dias de avaliação, as emissões de CO₂ foram registradas, por questões operacionais, às 8, 13 e 17 horas no PC, às 8:30, 13:30 e 17:30 horas no PR e às 9, 14 e 18 horas em PD, tendo sido calculada a emissão média diária. O efluxo acumulado foi calculado por meio de interpolação dos dados distribuídos nas 28 leituras realizadas de acordo a equação:

$$Efl_{tx} = Efl_{an} + (t_x - t_{an}) \times \frac{(Efl_p - Efl_{an})}{(t_p - t_{an})}$$

Onde:

Efl_{tx} = Efluxo no tempo x;

Efl_{an} = Efluxo anterior;

Efl_p = Efluxo posterior;

t_x = Tempo x (dias);

t_{an} = Tempo anterior;

t_p = Tempo posterior.

4.3.4 Avaliações complementares

A temperatura (°C) e a umidade volumétrica (m³ m⁻³) do solo foram avaliadas concomitantemente às emissões de CO₂, a 0,05 m de profundidade, em todos os tratamentos, para tanto, utilizou-se um sensor de temperatura (Termistor) e um TDR (Time Domain Reflectometry), ambos acoplados ao sistema LI-8100.

4.3.5 Dados meteorológicos

Os dados climatológicos de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante o período de avaliação, descritos na Tabela 2, foram obtidos de registros da estação meteorológica da CCGL - tec., distante aproximadamente 150 m do experimento.

Tabela 2 – Descrição dos dados meteorológicos no período de avaliação (22/11/2013 a 25/03/2014). Cruz Alta, RS.

Mês/ano	T ar (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)
Novembro/13	23,21	64,1	23,6
Dezembro/13	24,87	67,9	144,2
Janeiro/14	24,46	72,0	195,4
Fevereiro/14	24,35	69,0	157,6
Março/14	21,33	71,9	130,0
Média	23,69	69,7	Total = 650,8

4.3.6 Análise matemática e estatística

Os dados de efluxo de C-CO₂, temperatura e umidade do solo foram submetidos a uma análise através de gráficos Box-Plot com auxílio do software Excel 2007, com exclusão dos pontos identificados como atípicos e extremos.

Os efeitos dos tratamentos sobre os efluxos de C-CO₂ foram submetidos a análise de variância (anova) descrito na tabela 3, seguido de análise descritiva dos dados, fazendo uso da média e do erro padrão. Quando houve interação significativa entre os sistemas de preparo e tipos de cobertura, o efeito sobre o efluxo de C-CO₂ foi analisado através do Teste de Tukey a 5% de significância, com auxílio do software Sisvar (versão 5.3). O efeito dos fatores ambientais (temperatura e umidade do solo e do ar) sobre o efluxo de C-CO₂ foi avaliado somente para o período dos primeiros 30 dias de condução do experimento, buscando evitar possíveis contribuições nos efluxos provenientes de raízes, submetendo os dados a análise de regressão com auxílio do software Sigma Plot (versão 12.1).

Tabela 3 – Análise de Variância (ANOVA).

FV	Fluxo médio diário	Fluxo total acumulado	Temperatura média diária do solo	Umidade média diária do solo
Preparo	***	***	ns	***
Cobertura	***	***	ns	ns
Preparo x cobertura	**	***	ns	ns
CV (%)	41,71	26,67	--	36,66

** p < 0,01; *** p < 0,001; ^{ns} não significativo.

4.4 Resultados e Discussão

Durante o período de avaliação (22/11/13 à 25/03/14) a temperatura média do ar foi de 23,7 °C, semelhante a normal climatológica (período de 1998 a 2006, Cruz Alta – RS) de 23,8 °C para o mesmo período, com mínima de 21,3 °C para o mês de março de 2014, e máxima de 24,9 °C para o mês de dezembro de 2013. A umidade relativa do ar média foi de 69,7 %, com mínima de 64,1 % para novembro de 2013 e máxima de 71,9 para março de 2014. A precipitação total foi de 650,8 mm, pouco abaixo da normal climatológica observada para o mesmo período (653,7 mm), com chuvas bem distribuídas ao longo do tempo de avaliação.

Em relação a temperatura do solo medida a 0,05 m de profundidade, não foi verificada diferença ($p > 0,05$) entre os sistemas de preparo e tipos de cobertura, descritos na tabela 2, corroborando com Pes (2011), o qual não encontrou diferença estatística significativa entre o PD e PC nesse mesmo experimento, no entanto os valores descritos pelo mesmo para os resíduos de AV e de AV+ER ficaram abaixo dos encontrados nesse estudo. Os valores de temperatura do solo ficaram dentro da faixa de temperatura ótima para a atividade microbiana do solo, de 20,0 °C (THIERRON; LAUDELOUT, 1996) a 30,0 °C (O'CONNELL, 1990).

Para a umidade do solo medida a 0,05 m de profundidade, foi verificada diferença ($p > 0,05$), entre os sistemas de preparo, em que PR e PD não diferiram entre si, sendo superiores ao PC.

No PC, a umidade volumétrica teve a menor amplitude entre os preparos ($0,18 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sendo a maior umidade registrada no consórcio AV+ER no dia 05/03/14 ($0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e as menores umidades ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em SC e AV no dia

05/02/14. Em PR a maior umidade também ocorreu no consórcio AV+ER ($0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no dia 05/03/14 e a menor em SC ($0,02 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no dia 18/12/13 com a maior amplitude registrada ($0,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Já no PD a umidade gravimétrica teve uma amplitude de $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo a maior umidade registrada no dia 01/12/13 ($0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no consorcio AV+ER e a menor umidade ($0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) no SC no dia 23/12/13.

A PPA foi calculada conforme descrito por Franzluebbbers (1999), considerando que o PC, PR e o PD apresentaram, respectivamente, a densidade do solo de 1,08, 1,13 e $1,18 \text{ kg dm}^{-3}$, não se mostrando, neste estudo, como fator limitante para a atividade microbiológica do solo, com uma amplitude de apenas 2,8%, variando de 44,8% (PR SC) a 47,6% (PD ER), considerando que a maior atividade microbiológica, medida pelo fluxo de CO_2 do solo, é observada quando PPA for próxima a 60% e menor fluxo de CO_2 quando a PPA for próxima a 30% (LINN; DORAN, 1984). Não foi realizado comparação de médias para a PPA, devido ao fato de que o preparo do solo no PC e PR alteram os padrões de densidade do solo ao longo do tempo, o que acarreta em mudanças nos valores da PPA.

O conteúdo de água ótimo para os processos microbianos localiza-se próximo à capacidade de campo, quando os macroporos estão preenchidos principalmente por ar, facilitando a difusão de oxigênio (O_2), e os microporos estão preenchidos principalmente por água, o que facilita a difusão de substratos (LOU e ZHOU, 2006). Além disso 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).

Os menores efluxos médios de C- CO_2 (Tabela 4) foram observados para os sistemas de preparo manejados sem cobertura com valores de 34,3, 30,3 e $29,3 \text{ kg C-CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ para PC, PR e PD respectivamente, não havendo diferença estatística significativa entre eles (Tukey 5%), o que era esperado devido à baixa disponibilidade de material orgânico para a decomposição microbiológica. Em estudos anteriores realizados por Pes (2011) nesse mesmo experimento, durante a primavera, a remoção dos resíduos em PC e PD apresentaram médias dos efluxos de C- CO_2 de 18,4 e $17,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ respectivamente, bem abaixo dos encontrados nesse estudo, provavelmente pela diferente época de avaliação.

Tabela 4 – Temperatura e PPA média do solo, precipitação e efluxo médio de C-CO₂ observada nos diferentes tratamentos durante o período de avaliação.

Sistema de Preparo	Tratamento	Temperatura média do solo --- °C ---	PPA média do Solo --- % ---	Efluxo médio de C-CO ₂ do período -- kg ha ⁻¹ dia ⁻¹ --
PC	SC	29,8 ns	44,9	34,3 Ac
	AV	28,4	45,6	45,5 Ab
	AV+ER	28,9	45,1	48,8 Aab
	ER	28,2	45,0	52,7 Aa
PR	SC	29,0 ns	44,8	30,3 Ac
	AV	27,8	45,9	37,4 Bb
	AV+ER	27,7	45,4	48,2 Aa
	ER	27,9	45,0	54,4 Aa
PD	SC	29,1 ns	47,1	29,3 Ab
	AV	27,0	47,7	36,4 Bb
	AV+ER	27,3	47,0	40,5 Ba
	ER	27,5	47,6	41,9 Ba

ns = não significativo.¹ PPA = Porosidade preenchida por água. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo dentro de cada tipo de cobertura e médias seguidas por letras minúsculas comparam os tipos de cobertura do solo dentro de cada sistema de preparo, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Para os demais efluxos entre os sistemas de preparo PC e PR, obteve-se valores semelhantes sem diferença estatística, exceto para a AV, que foi 17,8% menor em PR. Em PD somente os efluxos da AV foram semelhantes com o PR AV, para os demais os valores observados foram inferiores. Em PC os maiores efluxos médios foram observados nos resíduos de ER, diferindo dos resíduos da AV, já o consórcio AV+ER não diferiu dos mesmos. Em PR não houve diferença entre os resíduos de ER e AV+ER, sendo superiores em relação aos resíduos da AV. Em PD a relação C/N baixa e média dos resíduos não exerceu influência significativa sobre o efluxo de C-CO₂, sem diferença estatística.

As emissões médias diárias observadas por Pes et al. (2011) nesse mesmo experimento para os resíduos da aveia foram inferiores aos observados nesse estudo, com valores de 26,4 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PC e de 24,9 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PD, sem diferença significativa entre os sistemas (Tukey 5%). Da mesma forma, outros autores reportaram emissões no PC e PD semelhantes (CAMPOS et al., 2011b; COSTA et al., 2008; FORTIN et al., 1996).

No caso de Campos et al. (2011b), as avaliações das emissões de C-CO₂ realizadas nas mesmas parcelas deste experimento para os resíduos da aveia, em longo período (728 dias), foram de 39,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹ no PC e 36,96 kg ha⁻¹ dia⁻¹ em PD, cerca de 14,0% inferior e 1,5% superior aos observados nesse estudo, respectivamente.

Na tabela 5 é apresentada a relação entre os efluxos de C-CO₂ e as variáveis de temperatura e umidade do solo e do ar. A umidade do solo foi a variável que melhor explicou as variações do efluxo de C-CO₂ para os sistemas de cultivo PR e PD, com R² máximo de 0,48 (p < 0,001) em PD SC e mínimo de 0,17 (p < 0,05) em PR AV+ER, com aumento do efluxo à medida que aumentou a umidade. Em PC não houve correlação significativa entre o efluxo de C-CO₂ e a umidade do solo. Este fato, a curto prazo pode estar associado ao fracionamento dos agregados causado pelo revolvimento do solo, o qual aumenta a aeração e a temperatura, reduzindo a umidade do mesmo, e a longo prazo, o rompimento da estrutura física (macroporos) pode ter dificultado a infiltração de água e as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, corroborando com estudos realizados por LOU et al. (2004), onde, a umidade do solo teve uma relação fraca com o efluxo de C-CO₂ do solo, mostrando que os efeitos da umidade dependem também da estrutura do solo (DAVIDSON et al. 1998; KNAPP et al. 1998). Morreira et al. (2015) estudando a variação da umidade do solo nesse mesmo experimento para a cultura da soja (2006/2007 e 2008/2009) na camada de 0,2 a 0,5 m observaram que o teor de água foi sempre maior em PD comparado ao PC, indicando que em PD, não há vedação da superfície do solo e a palha aumenta a infiltração e, por conseguinte a capacidade de água disponível no solo nas camadas mais profundas.

O aumento da temperatura do solo ocasionou diminuição no efluxo de C-CO₂, apresentando correlação apenas para o sistema de cultivo PD, com R² próximo a 0,25 (p < 0,05), exceto para o manejo SC. Corroborando com AL-KAISI; YIN, (2005) e OMONODE et al. (2007), que encontraram uma baixa proporção da variação dos efluxos de CO₂ explicada pela temperatura e umidade do solo, sendo estas dependentes do momento das avaliações e dos sistemas de preparo considerados.

Em contrapartida Janssens et al. (2001) reportaram que a mudanças na temperatura do solo pode influenciar em até 80% as variações temporais no fluxo de CO₂, desde que em adequada umidade do solo. Da mesma forma, outros estudos realizados por Smith et al. (2003) indicaram que o CO₂ liberado pela respiração

aeróbica é dependente principalmente da temperatura, mas se torna dependente da umidade à medida que um solo seca.

A umidade e temperatura do ar apresentaram relação significativa com o efluxo de C-CO₂ para os sistemas de preparo PC SC e PR SC. Este resultado sugere que a presença dos resíduos atua como uma barreira entre o solo e atmosfera, tornando o efluxo de C-CO₂ menos dependente das variações de umidade e temperatura do ar. Os resíduos incrementam a infiltração e o armazenamento da água no solo, diminuem a taxa de evaporação, aumentam a reflexão dos raios solares e mantêm a temperatura mais amena na camada superficial (HECKLER; SALTON, 2002).

Tabela 5 – Relação entre Efluxo de C-CO₂ e variáveis de Temperatura e Umidade do Solo e do Ar.

Sistema de Preparo	Tratamento	Umidade do Solo		Temperatura do Solo		Umidade do ar		Temperatura do ar	
		Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²	Equação	R ²
PC	SC	-	ns	-	ns	$y = 0,567 x + 46,69$	0,61***	$y = 0,324 x + 14,77$	0,30*
	AV	-	ns	-	ns	-	ns	-	ns
	AV+ER	-	ns	-	ns	-	ns	-	ns
	ER	-	ns	-	ns	-	ns	-	ns
PR	SC	-	ns	-	ns	$y = 0,348 x + 54,77$	0,54***	$y = 0,211 x + 19,23$	0,23*
	AV	$y = 3,0 \cdot 10^{-3} x + 0,085$	0,44**	-	ns	-	ns	-	ns
	AV+ER	$y = 1,0 \cdot 10^{-3} x + 0,158$	0,17*	-	ns	-	ns	-	ns
	ER	$y = 1,0 \cdot 10^{-3} x + 0,113$	0,41**	-	ns	-	ns	-	ns
PD	SC	$y = 10,0 \cdot 10^{-3} x + 0,010$	0,48***	-	ns	-	ns	-	ns
	AV	$y = 4,0 \cdot 10^{-3} x + 0,097$	0,36**	$y = -0,155 x + 31,31$	0,25*	-	ns	-	ns
	AV+ER	$y = 3,0 \cdot 10^{-3} x + 0,117$	0,46**	$y = -0,087 x + 30,26$	0,24*	-	ns	-	ns
	ER	$y = 3,0 \cdot 10^{-3} x + 0,119$	0,40**	$y = -0,097 x + 30,82$	0,26*	-	ns	-	ns

* p < 0.05; ** p < 0.01; *** p < 0.001; ns não significativo.

4.4.1 Evolução temporal dos efluxos de C-CO₂

As figuras 1, 2 e 3 apresentam a evolução temporal dos efluxos de C-CO₂ de todos os tratamentos durante o período avaliado com detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação nos quais ocorreu maior intensidade dos efluxos.

Em cada um desses gráficos é possível observar o efeito dos sistemas de preparo do solo, (PC, PR e PD) e dos tipos de relação C/N dos resíduos culturais (AV, AV+ER e ER) sobre os efluxos, em comparação as parcelas com solo descoberto. Um dia após o preparo do solo os menores efluxos, nos sistemas de preparo PC e PR, foram observados nas parcelas SC com valores de 30,1 e 22,1 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de C-CO₂ respectivamente.

Os maiores efluxos de C-CO₂ em PC foram observados no dia seguinte ao preparo com incrementos de 220,6% para os resíduos de ER, 176,6% para o consorcio AV+ER e 194,8% para a AV, alcançando picos de 118, 108,76 e 63,12 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de C-CO₂ respectivamente (Figura 1b).

Segundo Jackson et al. (2003), o aumento da emissão após o preparo pode ser atribuída à liberação física do CO₂ armazenado nos poros do solo, oriundo da atividade microbiana, e ao rápido incremento pela decomposição do C lábil oriundo da incorporação de resíduos vegetais ao solo e da exposição da matéria orgânica do solo (MOS) protegida no interior de agregados de solo (AL-KAISI; YIN, 2005; LA SCALA, et al., 2005).

Significantes efluxos de C-CO₂ promovidos pelo preparo do solo tem sido demonstrados em experimentos de curta e intermediária duração (ALVAREZ et al., 2001; LA SCALA et al., 2001; PRIOR et al., 2000), sendo verificada uma alta emissão logo após o preparo e na sequencia, os níveis de emissão se estabilizam em valores similares ao do período anterior ao preparo, que representa a emissão basal dos microrganismos do solo (REICOSKY et al. 2005; LA SCALA et al., 2006), sendo que esta emissão basal será diferente em sistemas de manejo que apresentam distintas adições de resíduos vegetais e estoques de carbono orgânico total (COT) no solo (COSTA et al., 2008). Reicosky e Lindstron (1993), em estudo comparando a perda de CO₂ acumulado em cinco horas, determinaram que o tratamento com arado perdeu 13,4 vezes mais CO₂ em comparação ao PD.

Em PR os maiores efluxos são observados no quarto dia após o preparo do solo com incrementos de 329,8% para os resíduos de ER e 321,7% para o consorcio AV+ER, alcançando picos de 129,5 e 133,3 $\text{ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de C-CO₂ respectivamente, no entanto para os resíduos da AV o maior incremento foi observado no nono dia após o preparo, com cerca de 133% (69,1 $\text{kg ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de C-CO₂) (Figura 2b). Esses valores são superiores aos obtidos em PC, indicando que o preparo com escarificador pode ser ainda mais nocivo do que o preparo com arado seguido de grade. De acordo com Reicosky (1997), este fato pode ser explicado pelo maior contato solo-resíduo, mas principalmente pela maior resposta dos microorganismos a adição de oxigênio ao meio. O PR além de incorporar cerca de 30 a 50% dos resíduos, abre grandes espaços pela passagem dos braços do escarificador, que permanecem vazios, alterando a permeabilidade do ar ao solo e permitindo uma rápida troca gasosa nos agregados do solo que são expostos a um ambiente de maior concentração de oxigênio, onde o CO₂ passa a ser succionado e distribuído em forma de redemoinhos para a atmosfera (REICOSKY, 1997).

Reicosky e Lindstron (1993), encontraram maior efluxo de C-CO₂ em solo manejado por arado de aiveca, seguido de arado de aiveca mais grade, e menor fluxo na área somente com grade e com PD. Os autores associaram o menor fluxo ao menor ou nulo distúrbio no solo. Ainda em PR é possível observar uma maior resposta nos aumentos dos efluxos de C-CO₂ logo após os eventos de precipitação em comparação ao PC e PD, devido a maior infiltração de água no solo em decorrência do preparo com escarificador.

Os valores máximos de efluxo em PD ocorreram no sexto dia após a realização da semeadura, com incremento de 190% para os resíduos de ER, 248,6% para o consorcio AV+ER e 153% para a AV alcançando picos de 71,6, 77,09 e 46,89 $\text{kg ha}^{-1}\text{dia}^{-1}$ de C-CO₂ respectivamente (Figura 3b).

Apesar de não terem sido instalados anéis nas linhas de semeadura, o aumento das emissões em PD pode estar associado à precipitação ocorrida no dia 26 de novembro de 2013 e o maior contato dos resíduos com a superfície do solo em decorrência da semeadura da soja.

O comportamento geral das curvas de emissão observado no presente estudo foi semelhante ao relatado anteriormente na literatura como os aspectos do decaimento no tempo, que é característico de estudos de emissões após preparo do solo (REICOSKY & LINDSTROM, 1993; ROCHETTE & ANGERS, 1999; LA SCALA

JR et al., 2006; LASCALA JR et al., 2008; DE FIGUEREDO et al., 2014), com aumentos dos efluxos associados a eventos de precipitação como foram nos dias 26, 27 e 30 de novembro, 1, 5 e 9 de dezembro de 2013 com valores de 7, 5, 11, 9, 17 e 12 mm, respectivamente.

Uma possível explicação para o aumento dos efluxos de C-CO₂ após as chuvas, seja principalmente pelo aumento da atividade e/ou população microbiana (ROCHETTE et al. 1991; FRANZLUEBBERS et al. 2000). Outros autores sustentaram que esses aumentos das emissões podem ser devido à infiltração de água no interior do solo e seu efeito na remoção do ar sobre o efluxo de C-CO₂, concluindo que a influência da umidade sobre a respiração do solo é mais pronunciada do que sua influencia no efluxo de C-CO₂ (MAIER et al. 2011).

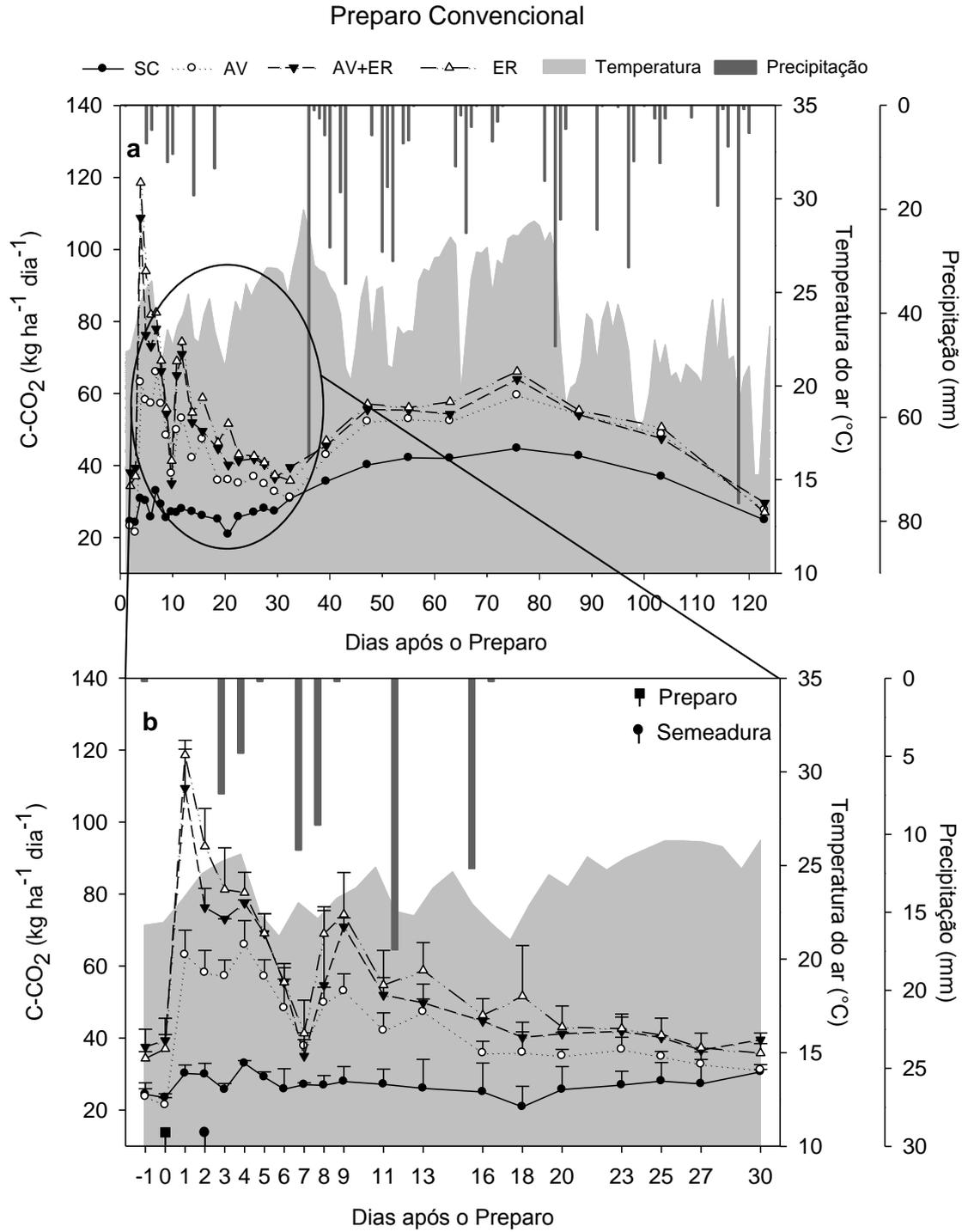


Figura 1: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em preparo convencional; a: período total de avaliação (125 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com metade de barra de erro padrão; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca.

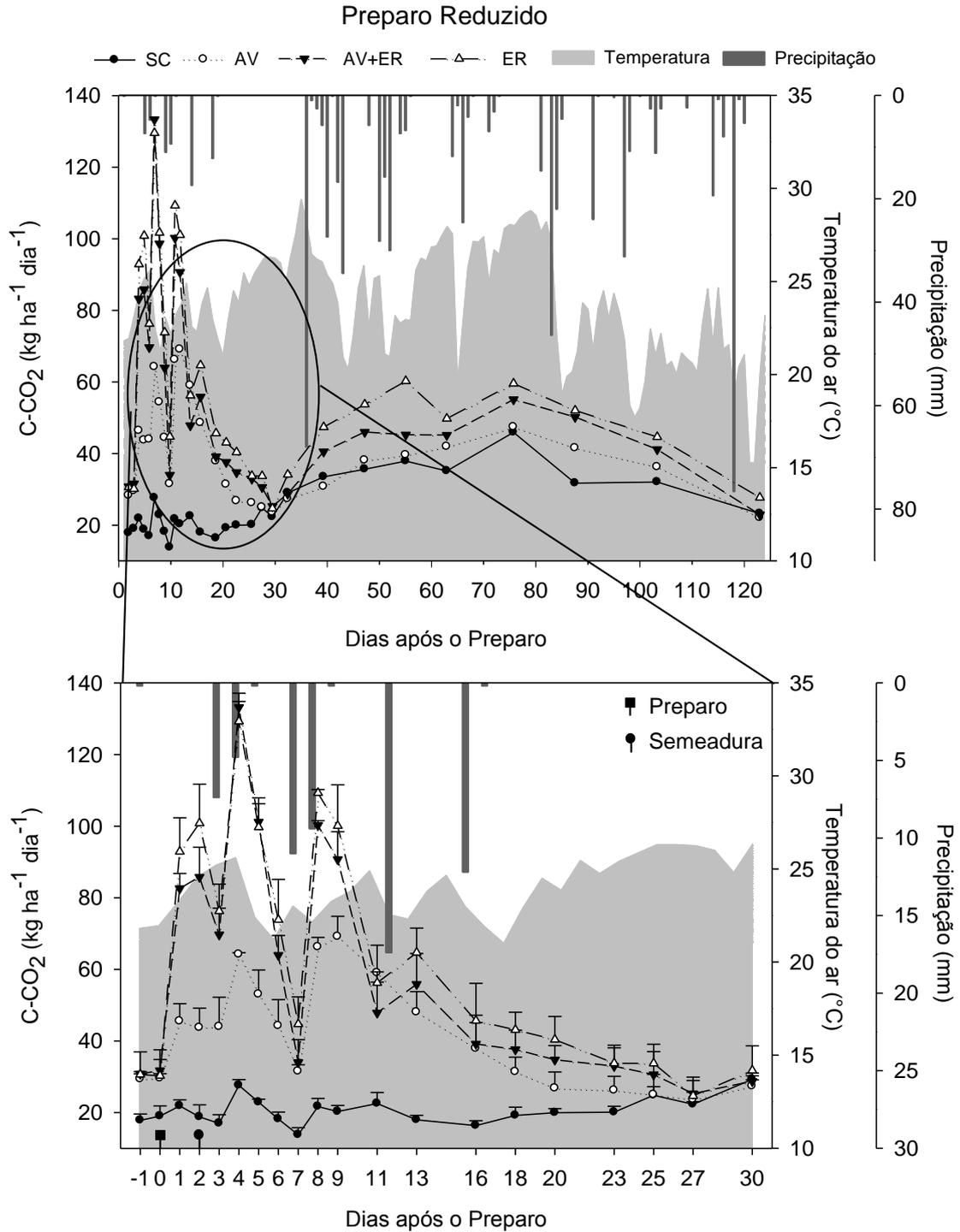


Figura 2: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em preparo reduzido; a: período total de avaliação (125 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com metade da barra de erro padrão; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca.

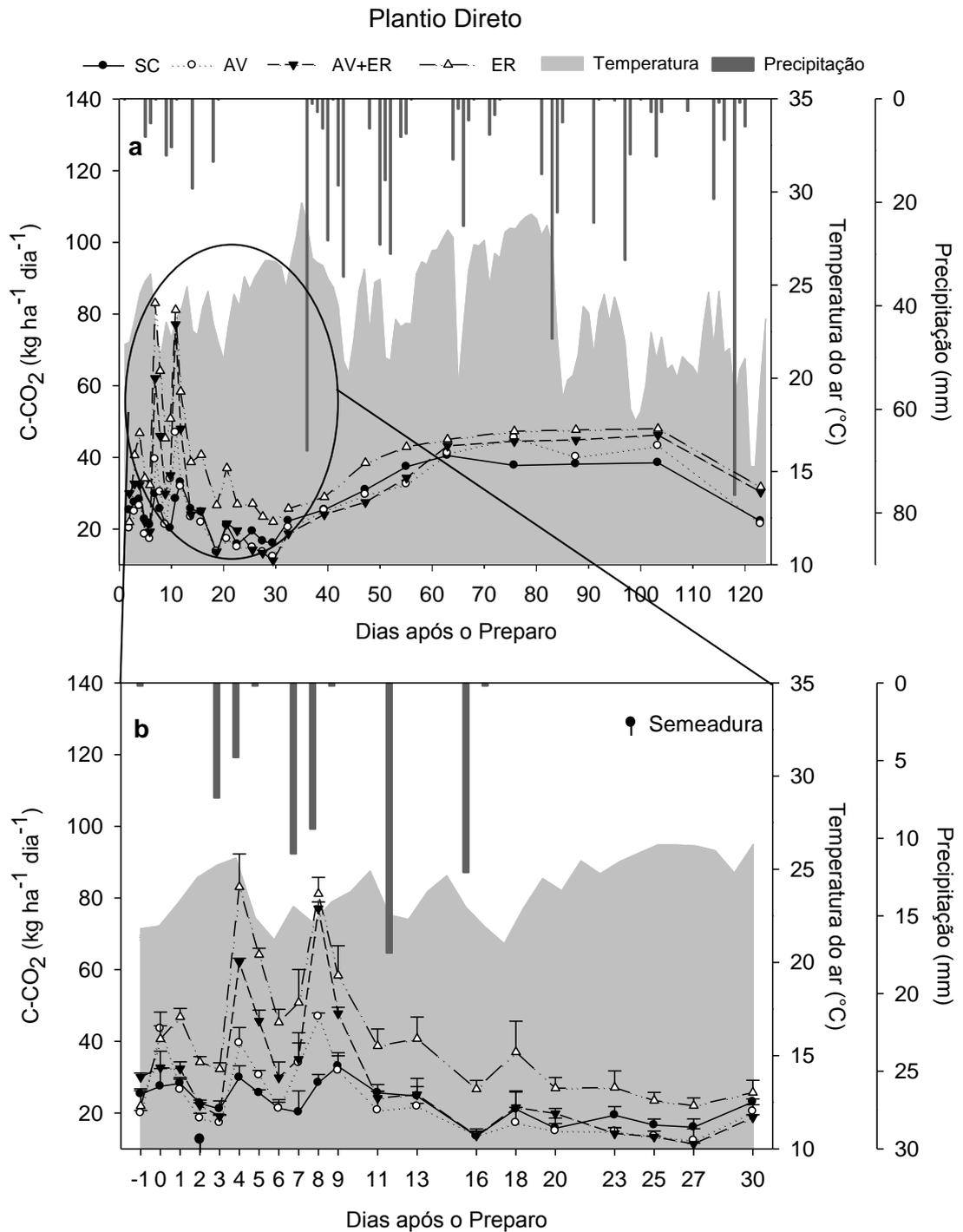


Figura 3: Variabilidade temporal das médias diárias dos efluxos de C-CO₂, temperatura do ar e precipitação pluviométrica em plantio direto; a: período total de avaliação (125 dias); b: detalhamento dos primeiros 30 dias de avaliação com metade da barra de erro padrão; SC: sem Cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca.

Para o melhor entendimento da contribuição dos resíduos culturais sobre a dinâmica de C-CO₂, são apresentados, nas figuras 4, 5 e 6, as evoluções temporais dos efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais. Para tanto foram descontados os valores dos efluxos das parcelas SC dos respectivos manejos com resíduos de cada sistema de preparo. O decaimento dos efluxos ao longo do tempo após o preparo diferiu entre os sistemas, persistindo no PC até o final do primeiro mês, em PR até cerca de 20 dias após o preparo e em PD até 7 dias após a semeadura. Em todos os sistemas de preparo os primeiros 10 dias foram responsáveis por emitir a maior quantidade de C-CO₂, destacando-se o PC ER com 445,0 kg ha⁻¹ (19,4%), PR AV+ER com 889,9 kg ha⁻¹ (29,6%) e PD ER com 384,9 kg ha⁻¹ (24,5%).

Os resíduos culturais são importante fonte de C e energia aos microrganismos do solo. O aporte desses materiais orgânicos ao solo provoca um aumento na atividade microbiana, podendo resultar no incremento da decomposição da MOS comparado a solos sem a adição de resíduos culturais. Essa mineralização extra de C oriunda da MOS é denominada de “efeito priming” (DALENBER e JAGER 1989), o que pode explicar as maiores emissões associadas aos manejos com AV+ER e ER de média e baixa relação C/N, sob PR e PC. Neste caso, o “efeito priming” foi causado pela incorporação dos resíduos ao solo, principalmente da ervilhaca, uma leguminosa com alta capacidade de fixação de nitrogênio (N). Portanto o N fixado pode ter acelerado a atividade microbiana do solo e, como consequência, a decomposição do C-lábil que estava protegido no interior dos agregados antes das operações de preparo do solo.

Tomando como base os primeiros 30 dias após a realização dos respectivos preparos, constaram-se perdas de C-CO₂ em relação à quantidade de C aportado via resíduos culturais (Tabela 1), em PC de 17,4, 25,8 e 36,6%, em PR de 23, 43 e 51,7% e em PD de 10%, 17,9% e 26% para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente.

Entretanto, Pes (2011), determinou que aos 23 dias de avaliação após as operações de preparo, a taxas de perdas de C-CO₂ neste mesmo Latossolo para os resíduos da AV foram de 22 e 24%, para o consorcio AV+ER de 65 e 35% do total adicionado para PC e PD, respectivamente.

Em experimento com resíduos de cana de açúcar com relação C/N próxima 100:1 Figueiredo et al. (2014), determinaram que em 25 dias após o preparo um

montante de 14% do carbono incorporado ao solo foi emitido na forma de C-CO₂. LA SCALA JR. et al. (2006), sugeriram que 30% do carbono dos resíduos de colheita de cana podem ser perdidos após a aração de um solo tropical, em 30 dias após o preparo.

Vários estudos têm demonstrado que a elevação da taxa de decomposição da matéria orgânica resultante do manejo convencional do solo (com lavração e gradagem) pode liberar para a atmosfera mais de 50% do carbono orgânico presente em solos não manejados (Reicosky & Lindstron,1993; Bayer, 2000).

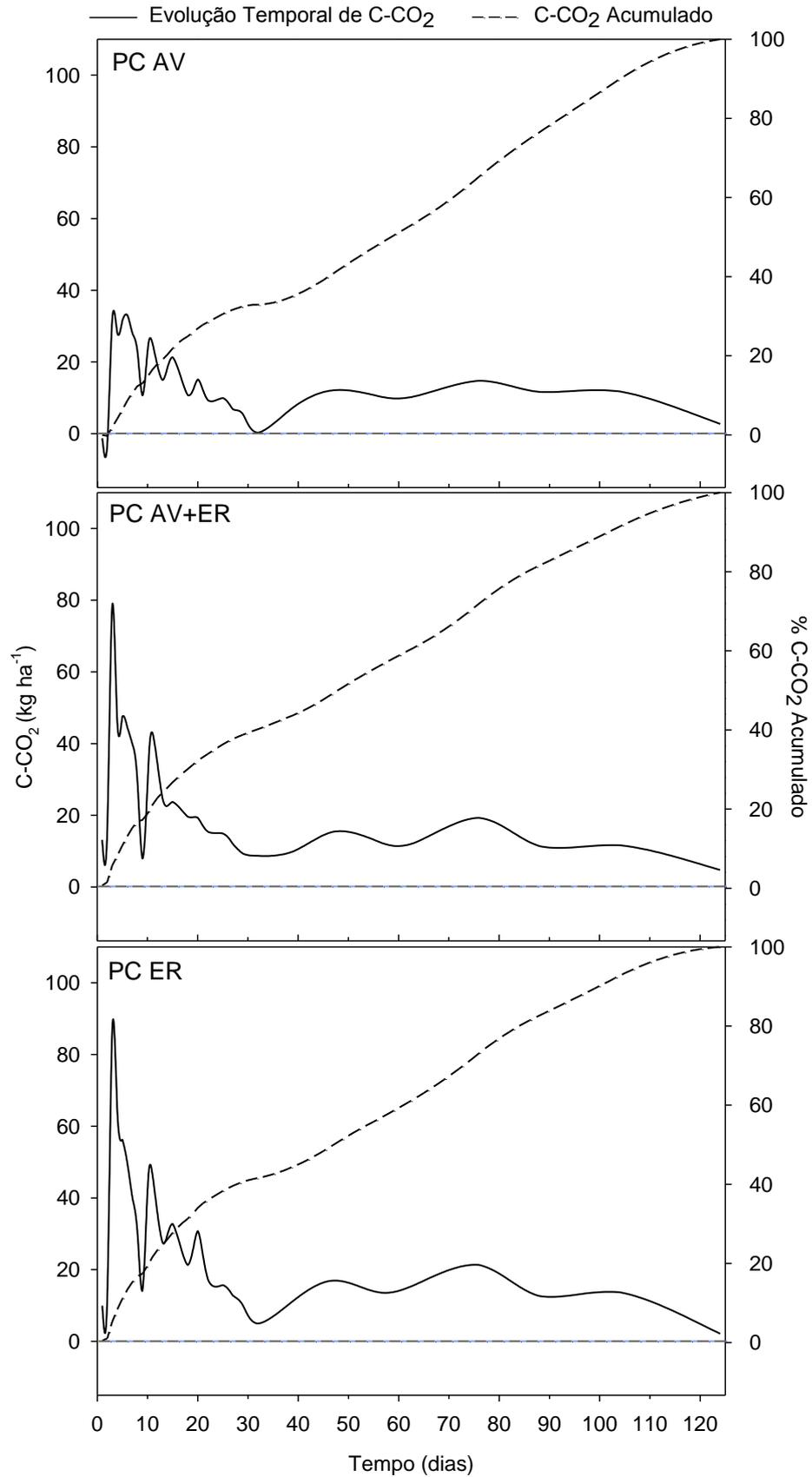


Figura 4: Evolução temporal dos Efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais em sistema de Preparo Convencional (PC), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia; AV+ER; aveia + ervilhaca; ER; Ervilhaca.

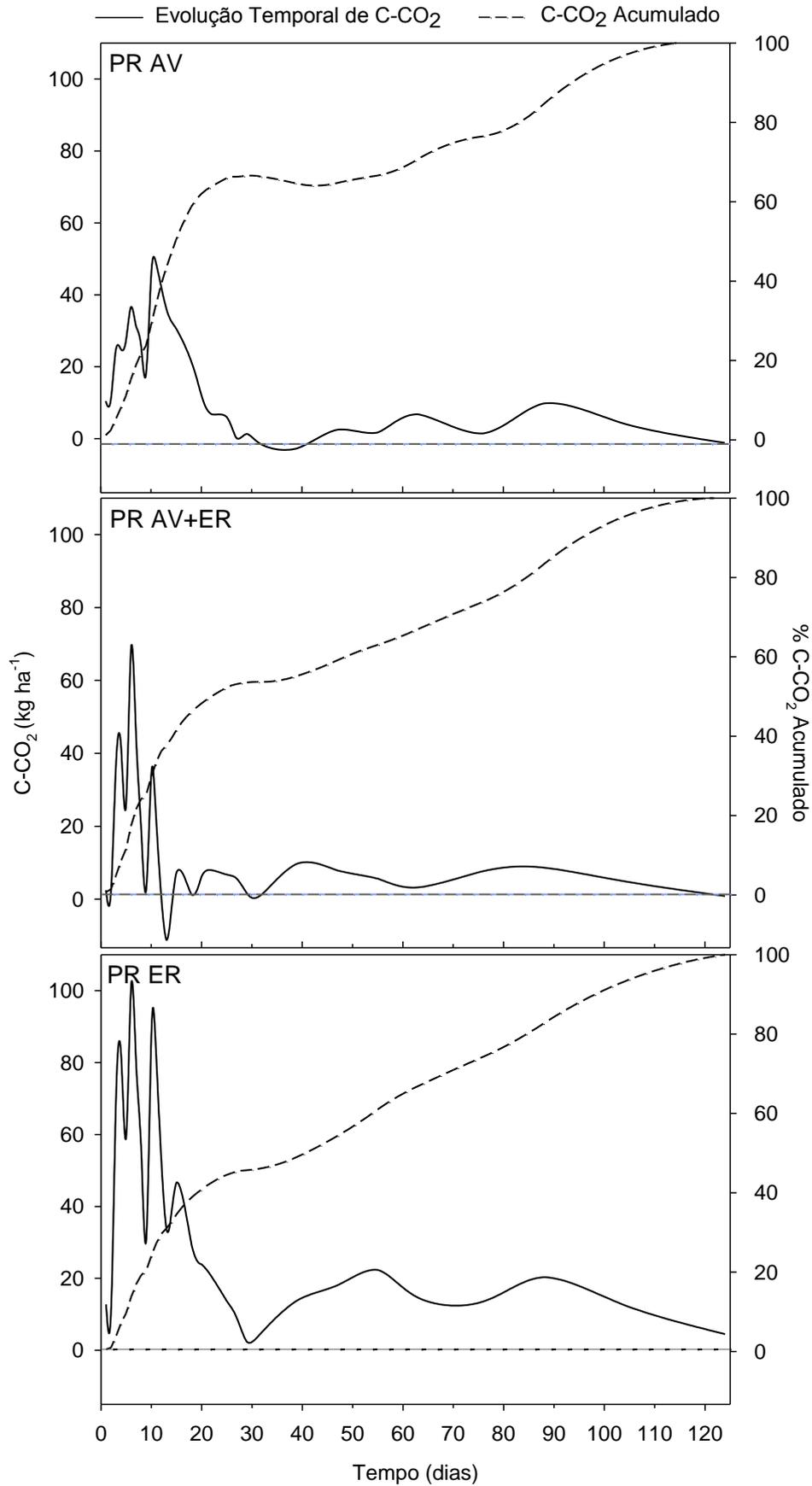


Figura 5: Evolução temporal dos Efluxos provenientes do compartimento resíduos culturais em Sistema de Preparo Reduzido (PR), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia; AV+ER; aveia + ervilhaca; ER; Ervilhaca.

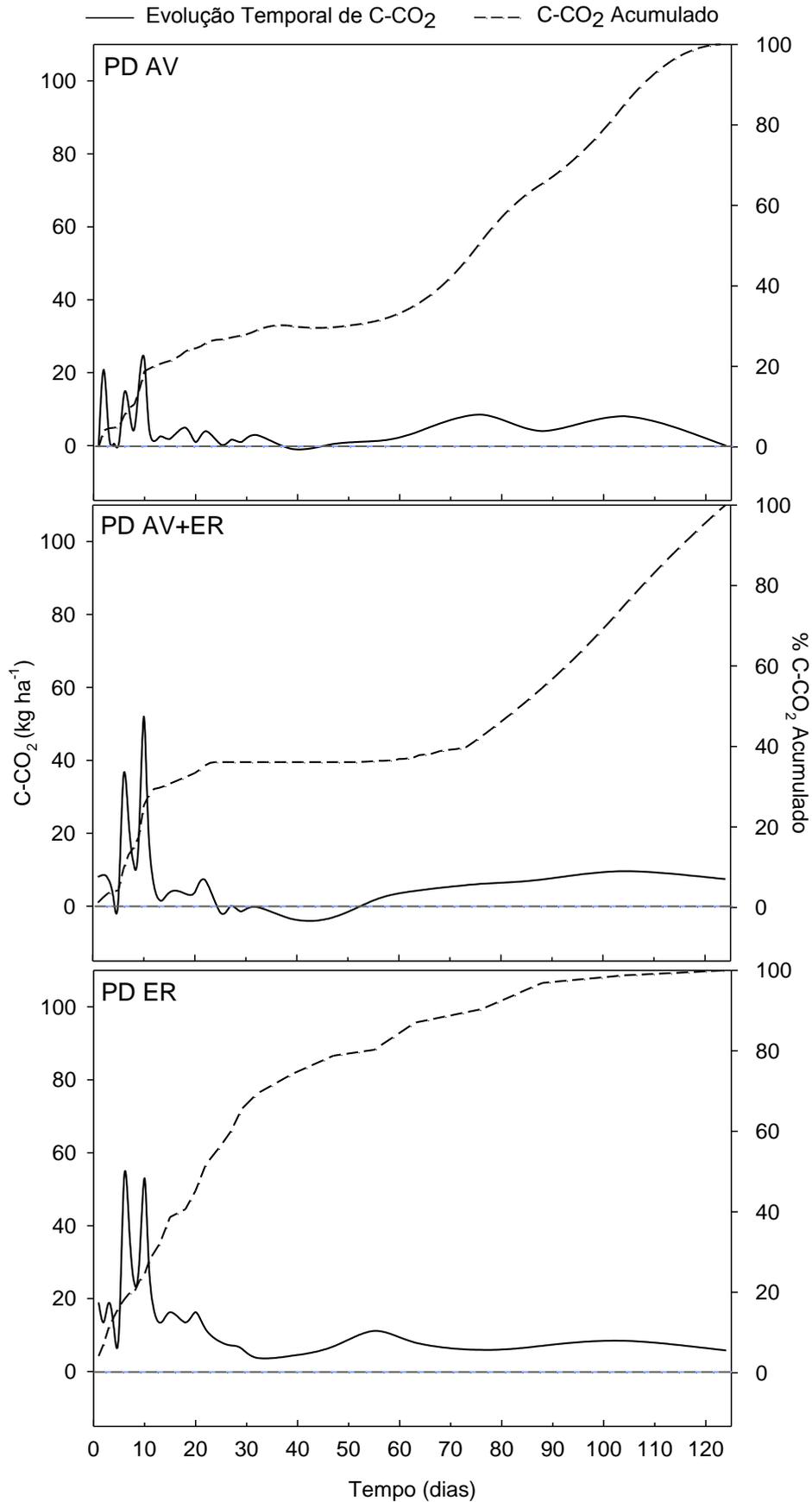


Figura 6: Evolução temporal dos Efluxos de C-CO₂ provenientes do compartimento resíduos culturais em Sistema Plantio Direto (PD), seguido das porcentagens acumuladas de C-CO₂: AV; aveia; AV+ER; aveia + ervilhaca; ER; Ervilhaca.

4.4.2 Efluxos totais de C-CO₂ associado ao sistema de preparo do solo e tipos de cobertura vegetal.

Na figura 7 são apresentados os efluxos de C-CO₂ acumulados dos 125 dias de avaliação. Primeiramente observa-se que o preparo do solo na ausência de resíduos teve incremento no efluxo total de C-CO₂ de 17% (628,2 kg C-CO₂ ha⁻¹) em PC SC em comparação ao PD SC. Já em PR SC o incremento no efluxo em relação ao PD SC foi menor, cerca de 3,4% (126,4 kg C-CO₂ ha⁻¹). Essa variação nos efluxos não apresentou diferença estatística significativa para o teste de Tukey a 5% de significância. Esses resultados podem ser justificados de duas formas. A primeira delas pode estar associada aos altos teores de argilas caulínicas e óxidos de Al e Fe (63,5 g kg⁻¹) nesse Latossolo (Campos, 2006), os quais promovem a chamada proteção química do C armazenado, de tal forma que a proteção física do C no interior dos macroagregados passa a desempenhar um papel complementar (Denef & Six, 2004; Fabrizzi, 2006), onde a maior parte do C está associada à fração mineral menor que 53µm, a qual é menos influenciada pelo preparo (CONCEIÇÃO et al., 2005). A segunda explicação pode estar associada ao grande número de preparos pelo qual esse solo foi submetido ao longo de 29 anos de condução do experimento. Tendo em vista 2 atividades de lavração e gradagem por ano, contabiliza-se cerca de 60 perturbações, de tal forma que o C lábil prontamente disponível pode já ter sido consumido pela atividade microbiana. Campos et al. (1995) analisando a estabilidade estrutural desse mesmo experimento após sete anos de condução relatou uma baixa percentagem de C lábil ocluído no interior dos agregados, além de menor quantidade de classes de agregados de maior tamanho em PC em comparação ao PD.

Outros estudos realizados nessa mesma área por Pes (2011) indicaram que o preparo do solo teve limitada contribuição no incremento das emissões de C-CO₂, sendo ela estimada em 8,5% na média dos períodos de primavera e outono.

De acordo com La Scala et al. (2008), em solos descobertos, sem a presença de resíduos, o CO₂ emitido representa a taxa de decomposição da MOS, como resultado da respiração microbiana, desde que não exista atividade de raízes.

Portanto a prática de revolvimento, tanto em maior como em menor grau, PC e PR respectivamente, causou maior impacto sobre o efluxo de C-CO₂ devido à

incorporação dos resíduos culturais ao solo do que pela quebra dos agregados e disponibilização do C lábil para a decomposição microbiana. Isso indica que em solos argilosos manejados sem a presença de resíduos o preparo ocasiona pequeno incremento no efluxo de C-CO₂, concordando com estudos realizados por Pes et al. (2011) no mesmo experimento manejado em PC e PD sob resíduos da cultura da soja. Os autores concluíram que a maior parte do C-CO₂ emitido foi associada à incorporação dos resíduos ao solo.

Em Latossolo cultivado sob preparo convencional até 80% do aumento das emissões de C-CO₂ foram derivadas da decomposição de resíduos vegetais incorporados na camada superior do solo (PES et al. 2011; GRAVE et al. 2015). A aração seguida de gradagem resultou em maior fracionamento físico dos resíduos e maior mistura deles com o solo. Já a escarificação incorpora entre 30 a 50% dos resíduos e promove menor fracionamento físico. Neste estudo, somente o tratamento com aveia preta as emissões sob preparo convencional foram 21,6% superior a do escarificador. Nas demais culturas de cobertura não houve diferença. Giacomini e Aita (2003) relataram a importância do contato solo-resíduo para acelerar a decomposição microbiana.

Em PD observou-se os menores efluxos C-CO₂, onde mesmo a parcela com resíduos de ER (5242,3 kg ha⁻¹) com a menor relação C/N, não diferiu estatisticamente do PC e PR de maior relação C/N (Tukey a 5%). O PD com resíduos de AV+ER de média C/N, foi inferior aos tratamentos de PC e PR de baixa, média e alta C/N, exceto para o PR AV os quais não diferiram estatisticamente.

Segundo Curtin et al. (2000), menores emissões de CO₂ em PD em relação ao PC podem ser parcialmente atribuídas à lenta decomposição dos resíduos culturais localizados na superfície do solo, quando comparado às práticas de preparo que incorporam os resíduos. Além disso, a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo pode contribuir para reduzir a emissão de CO₂ por servir como uma barreira entre o solo e a atmosfera, tendo uma lenta taxa de decomposição devido ao menor contato solo-resíduo (AITA et al., 2006).

O tipo de cobertura exerceu influência sobre o efluxo de C-CO₂, com aumento dos mesmos à medida que decresceu a relação C/N para o PC e PR. O efluxo de C-CO₂ provocado pelos resíduos das culturas de AV, AV+ER e ER em PC representaram em relação ao tratamento SC um incremento de 32,5 (1396,0 kg ha⁻¹), 42 (1804,0 kg ha⁻¹), e 53,4 % (2294,1 kg ha⁻¹) respectivamente. Em PR o

incremento dos resíduos em relação ao SC foi de 23,3 para a AV (885,5 kg ha⁻¹), 58,8 para a AV+ER (2232,0 kg ha⁻¹) e 79,2% para a ER (3006,5 kg ha⁻¹). Apesar dos efluxos acumulados nos sistemas de baixa e média relação C/N em PR estarem acima dos observados para os mesmos tratamentos em PC, não houve diferença estatística ($p < 0,05$) entre ambos. Já em PD, houve diferença estatística significativa somente entre os tratamentos AV+ER e ER em relação aos tratamentos SC e AV. De forma geral a presença de resíduos em PD ocasionou modificação nos efluxos com valores de inferiores a 43%. Sendo assim, é possível inferir que o PD foi menos sensível as variações dos tipos de cobertura (relação C/N) sobre os efluxos de C-CO₂. Indicando ainda, que se por algum motivo for necessário o revolvimento do solo em PD, seja para a descompactação do solo ou correção da acidez, o mesmo seja feito sobre resíduos culturais de alta relação C/N, como é o caso da aveia, reduzindo o impacto sobre os efluxos de C-CO₂ e conseqüentemente sobre os estoques de COS.

A manutenção dos resíduos de ER na superfície em PD representou em relação ao PR ER e PC ER, uma redução nos efluxos C-CO₂ para a atmosfera de 30 (1561,6 kg ha⁻¹) e 26% (1351,0 kg ha⁻¹) respectivamente.

Maiores emissões de resíduos com relação C/N baixa são explicados devido à maior facilidade que os microorganismos do solo encontram para decompor, comparado com os de relação C/N alta (AULAKH et al., 1991; QUEMADA & CABRERA, 1995; TIAN et al., 1997). A menor decomposição dos resíduos de alta relação C/N tem sido atribuída à deficiência de N e à presença de constituintes recalitrantes. Os microrganismos decompositores possuem menor relação C/N do que os resíduos culturais. Dessa forma, o N é reconhecido como um fator limitante para o crescimento e para a atividade microbiana durante o processo de decomposição (DA ROS, 2004).

Prior et al. (1997), relataram que as maiores emissões de C-CO₂ em PD e PC, foram encontradas após a cultura da soja em comparação a cultura do sorgo e a diferença foi atribuída a menor relação C/N dos resíduos culturais da soja.

Da mesma forma Acosta et al. (2011), descrevem que a relação C/N do resíduo da aveia preta (40:1) e da ervilhaca (25:1) teria influenciado de forma significativa o comportamento das emissões de C-CO₂, indicando uma decomposição mais lenta da aveia preta quando incorporada individualmente em relação ao consorcio.

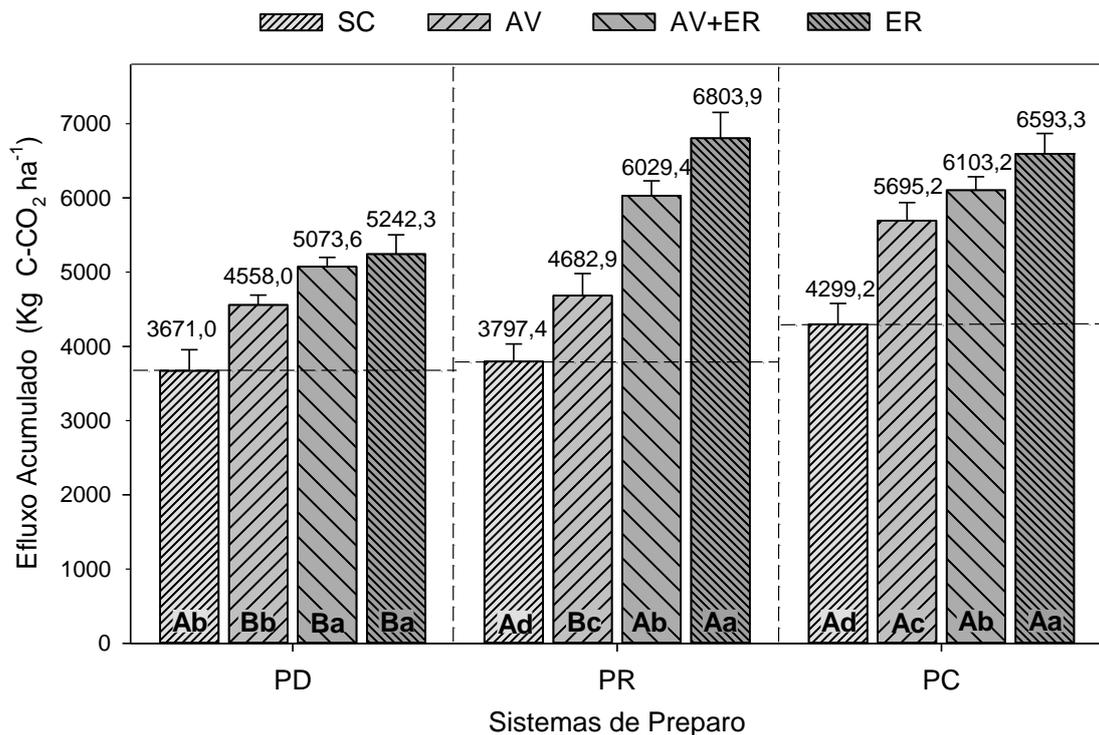


Figura 7: Efluxos totais de carbono acumulado durante o período de 125 dias (mais metade do erro-padrão, kg C-CO₂ ha⁻¹), relativo aos sistemas de preparo do solo; PD: plantio direto; PR: preparo reduzido; PC: plantio convencional e seus respectivos tipos de cobertura; SC: sem cobertura; AV: aveia; AV+ER: aveia+ervilhaca; ER: ervilhaca. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo dentro de cada tipo de cobertura e médias seguidas por letras minúsculas comparam os tipos de resíduos culturais dentro de cada sistema de preparo, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Outro fator a ser considerado nas maiores emissões de CO₂ em PR e PC em relação ao PD são as diferentes condições de solo, como aumento da aeração, mudanças de temperatura e teor de água, que são alteradas pelo revolvimento, o que pode favorecer a decomposição microbiana (REICOSKY et al., 2008; FIGUEIREDO et al., 2014).

4.5 Conclusões

O aumento da temperatura do solo ocasionou redução dos efluxos de C-CO₂, sob PD, no qual o solo foi minimamente perturbado. A umidade do solo foi a variável que melhor explicou as variações no efluxo de C-CO₂ para os sistemas de preparo

PD e PR, exceto para o tratamento PR SC, com maiores efluxos à medida que aumentou a umidade.

A umidade e temperatura do ar apresentaram relação com o efluxo em PC SC e PR SC, indicando que a presença dos resíduos torna as emissões menos dependente das variações diárias de temperatura e umidade.

Em Latossolo argiloso, na ausência de resíduos vegetais, a ruptura dos agregados pelo preparo do solo em PR e PC teve limitado incremento nos efluxos de C-CO₂, cerca de 3,4 e 17% em relação ao PD, respectivamente, sem diferença estatística significativa.

OS efluxos em PD com resíduos de ER de menor relação C/N, não diferiram estatisticamente do PC e PR de maior relação C/N.

O tipo de cobertura exerceu influência sobre o efluxo de C-CO₂, com aumento dos mesmos à medida que decresceu a relação C/N para o PC e PR. Sendo o PD menos sensível as variações da relação C/N.

A manutenção dos resíduos de baixa C/N, na superfície do solo em PD+ER, representou uma redução na emissão de C-CO₂ de 30 e 26% em relação ao PR ER e PC ER, respectivamente.

Do total de C-CO₂ emitido pelo compartimento resíduo, os primeiros 10 dias após o manejo do solo foram responsáveis por emitir a maior quantidade destacando-se o PC ER com 445,0 kg ha⁻¹ (19,4%), PR AV+ER com 889,9 kg ha⁻¹ (29,6%) e PD ER com 384,9 kg ha⁻¹ (24,5%).

O decaimento das emissões no tempo diferiu entre os sistemas de cultivo, persistindo no PC até 30 dias, em PR de 20 dias após o preparo e em PD até 7 dias após a semeadura.

Visando a redução dos efluxos de C-CO₂ resíduos de leguminosas deveriam ser associadas ao sistema PD, evitando sua incorporação parcial (escarificador) ou total (convencional).

4.6 Referências Bibliográficas

ACOSTA, J. A. et al. Effect of ¹⁵N-labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1337-1345, 2011.

AITA, C. et al. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 149-161, 2006.

AL-KAISI, M. M.; YIN, X. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 2, p. 437-445, 2005.

ALVAREZ, R.; ALVAREZ, C. R.; LORENZO, G. Carbon dioxide fluxes following tillage from a Mollisol in the Argentine Rolling Pampa. **Eur. European Journal of Soil Biology**, v. 37, p. 161-166, 2001.

ÁLVARO-FUENTES, J. et al. Soil carbon dioxide fluxes following tillage in semiarid Mediterranean agroecosystems. **Soil & Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 331-341, 2007.

AMADO, T. J. C. et al. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.

AMADO, T. J. C. Sequestro de carbono em plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. In: CONFERÊNCIA ANUAL DA REVISTA PLANTIO DIRETO, 4., Passo Fundo, 1999. Anais. Passo Fundo: Aldeia Norte. p. 44-51, 1999.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Plantio direto e rotação de culturas com leguminosas - uma excelente combinação para promover o incremento da capacidade produtiva do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 50, p. 23-27, 1999.

ARMENTANO, T. V.; MENGES, E. S. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. **Journal of Ecology**, London, v. 74, n. 3, p. 755-774, 1986.

AULAKH, M. S. et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, n. 4, p. 1020-1025, 1991.

BAYER, C. Desafios no manejo da matéria orgânica e seqüestro de C no solo na agricultura conservacionista (Palestra). In: XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Gramado. 2007.

BAYER, C. et al. C and N stocks and the role of molecular recalcitrance and organomineral interaction in stabilizing soil organic matter in a subtropical Acrisol managed under no-tillage. **Geoderma**, v. 133, n. 3-4, p. 258-268, 2006.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006a.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, p. 1473-1478, 2001.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 599-607, 2000.

BODDEY, R. M. et al. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

BORTOLOTTO, R. P. et al. Soil carbon dioxide flux in a in no-tillage winter system. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, p. 450-457, 2015.

BRUCE, J. P. et al. Carbon sequestration in soils. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 382-389, 1999.

BUYANOVSKY, G. A.; WAGNER, G. H.; GANTZER, C. J. Soil respiration in a winter wheat ecosystem. **Soil Science Society of American Journal**, v. 50, p. 338-344, 1986.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 57, p. 1071-1076, 1993.

CAMPOS, B. C. et al. Long-term C-CO₂ emissions and carbon crop residue mineralization in an Oxisol under different tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 819-832, 2011.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas.** 2006, 190f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CAMPOS, B. C. et al. Estabilidade estrutural de um latossolo vermelho-escuro sob rotação de culturas e manejo de solo ao final de sete anos. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 40-44, 2007.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Boca Raton: CRC Lewis, p. 97-165, 1996.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 2005.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 323-332, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 161-168, 2005.

CURTIN, D. et al. Tillage effects on carbon fluxes in continuous wheat and fallow-wheat rotations. **Soil Science Society of American Journal**, v. 64, p. 2080-2086, 2000.

DA ROS, C. O. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio com o uso de uréia, na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto.** 2004, 129f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DALENBERG, J. W.; JAGER, G. Priming effect of some organic additions to ¹⁴C-labelled soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 21, p. 443-448, 1989.

DAVIDSON, E. A.; BELK, E.; BOONE, R. 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, n. 3, p. 217-227, 1998.

DENEFF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregates formation and stabilization. **European Journal of Soil Science**, p. 1-11, 2004.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1714-1723, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 374 p.

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**, v. 50, p. 21-32, 1999.

FABRIZZI, K. P. **Microbial ecology and C and N dynamics in agroecosystems. Manhattan**. 2006. 210f. Tese (Ph.D. Thesis). Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, 2006.

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

FIGUEIREDO E. B. et al. Short-term CO₂-C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum* spp.) replanting in southern Brazil. **Global Change Biology. Bioenergy**, p. n/a-n/a, 2014.

FIGUEIREDO, E. B. et al. Short-term CO₂-C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum* spp.) replanting in southern Brazil. **Global Change Biology. Bioenergy**, v. n/a, p. 1-13, 2014.

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

FRANZLUEBBERS, A. J. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. **Applied Soil Ecology**, v. 11, p. 91-101, 1999.

FRANZLUEBBERS, A. J. et al. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 613– 623, 2000.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A. Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simulated no-till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 190-195, 2000.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

GRAVE, R. A. et al. Short-term carbon dioxide emission under contrasting soil disturbance levels and organic amendments. **Soil & Tillage Research**, v. 146, p. 184–192, 2015.

HECKLER, J. C.; SALTON, J. C. Palha: Fundamento do Sistema Plantio Direto. Dourados,MS: **Embrapa Agropecuária Oeste**. 26p., 2002 (Coleção Sistema Plantio Direto).

HEINRICHS, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa-MG, v. 25, n. 2, p. 331-340, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

JACKSON, L. E. et al. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, v. 114, p. 305-317, 2003.

JANSSENS, I. A. et al. Assessing forest soil CO₂ efflux: An in situ comparison of four techniques. **Tree Phys**, v. 20, p. 23-32, 2001.

KNAPP, A. K.; CONARD, S. L.; BLAIR, J. M. Determinants of soil CO₂ flux from a subumid grassland: effect of fire and fire history. **Ecological applications**, Washington, v. 8, n. 3, p. 760-770, 1998.

KONG, A. Y. Y. et al. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 4, p. 1078-1085, 2005.

LA SCALA JR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugarcane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 91, p. 244–248, 2006.

LA SCALA JR., N. et al. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, p. 108-118, 2008.

LA SCALA, N. et al. Carbon dioxide emissions after application of tillage systems for a dark red Latossol in Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 62, p. 163-166, 2001.

LA SCALA, N. et al. Soil CO₂ efflux following rotary tillage of a tropical soil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 222–225, 2005.

LUO, Y.; ZHOU, X. Soil Respiration. **Elsevier**, Amsterdam, p. 92, 2006.

LUO, Z. K.; WANG, E. L.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, n. 3/4, p. 211-223, 2010.

MAcLEOD, M. et al. Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 103, p. 198-209, 2010.

MAIER, M. et al. Soil CO₂ efflux vs soil respiration: Implications for flux models. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 67, p. 1.723-1.730, 2011.

MARCOLINI, L. W. **Produção e decomposição de coberturas vegetais de inverno e sua influência na infestação e fitossociologia de plantas daninhas.** (Dissertação de Mestrado) Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2009. 77p.

MOITINHO, M. R. **Emissão de CO₂ e sua relação com propriedades, manejo do solo e palha em áreas de cana-de-açúcar.** 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2013.

MOITINHO, M. R. et al. Variações diurnas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo sobre diferentes manejos pós-colheita da cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 7, n. 2, 2012.

MOREIRA, V. S. et al. Seasonality of soil water exchange in teh soybean growing season in southern Brasil. **Scientia Agricola** (USP. Impresso), v. 72, p. 103, 2015.

MORELL, F. J. et al. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem: effects of tillage systems and nitrogen fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p. 167-173, 2010.

NICOLOSO, R. S. **Soil organic carbon stabilization mechanisms on temperate and sub-tropical climate agroecosystems.**2009. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

O'CONNELL, A. M. Microbial decomposition (respiration) of litter in eucalypt forests of Southwestern Australia: An empirical model based on laboratory incubations. **Soil Biol. Biochem**, v. 22, p. 153-160, 1990.

OMONODE, R. A. et al. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations. **Soil & Tillage Research**, v. 95, n. 1-2, p. 182-195, 2007.

PES, L. Z. et al. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 117, p. 163-171, 2011.

POST, W. M. et al. The Global Carbon Cycle. **American Scientist**, v. 78, p. 310 326, 1990.

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

- PRIOR, S. A. et al. Residue and tillage effects on planting implement-induced short-term CO₂ and water loss from a loamy sand soil in Alabama. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 197-199, 2000.
- QUEMADA, M.; CABRERA, M. L. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 59, n. 2, p. 471-477, 1995.
- REICOSKY, D. C. et al. Tillage and wind effects on soil CO₂ concentrations in muck soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 99, p. 221-231, 2008.
- REICOSKY, D. C. et al. Tillage-induced CO₂ loss across an eroded landscape. **Soil & Tillage Research**, v. 81, p. 183-194, 2005.
- REICOSKY, D. C.; LINDSTROM, M. J. Effect of fall tillage method on short term carbon dioxide flux from soil. **Agronomy Journal**, v. 85, p. 1.237-1.243, 1993.
- REICOSKY, D. C.; ARCHER, D. W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, v. 94, n. 1, p. 109-121, 2007.
- REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v. 41, p. 105-118, 1997.
- RICE, C. W.; REED, D. Soil Carbon Sequestration and Greenhouse Gas Mitigation: A Role for American Agriculture. Kansas State University (KSU), Agronomy Department, p. 35, 2007.
- 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 American Journal**, v. 63, p. 621-628, 1999.
- ROCHETTE, P.; DESJARDINS, R. L.; PATTEY, E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 71, n. 7, p. 189-196, 1991.
- RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta, FUNDACEP, p. 134, 1995.

ROSSI, W. Os desafios da agricultura brasileira. Como manter a produtividade no campo e o respeito ao meio ambiente. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. p. 5, 2010.

SÁ, J. C. M. et al. 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.

SANTOS, N. Z. D. et al. Forages, cover crops and related shoot and root additions in no-till rotations to C sequestration in a subtropical Ferrasol. **Soil & Tillage Research**, v. 111, n. 2, p. 208-218, 2011.

SCHLESINGER, W. H. Changes in soil carbon storage and associated properties with disturbance and recovery. In: TRABALHA, J. R.; REICHELE, D. E. (Eds.). The changing carbon cycle: A global analysis. New York, 1985 p.194-220.

SILVA, W. M. et al. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2010.

SIX, J. et al. 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. et al. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: Interactions of soil physical factors and biological processes. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p. 779-791, 2003.

SMITH, W. N. et al. C.A tool to link agricultural activity data with the DNDC model to estimate GHG emission factors in Canada. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136 (3-4), p. 301-309, 2010.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. A. Stabilization and destabilization of soil organic matter: Mechanisms and controls. **Geoderma**, v. 74, p. 65-105, 1996.

SOUZA, E. D. et al. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SUGIHARA, S. et al. Effects of land management on CO₂ flux and soil C stock in two Tanzanian croplands with contrasting soil texture. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 46, p. 1–9, 2012.

THIERRON, V.; LAUDELOUT, H. Contribution of root respiration to total CO₂ efflux from the soil of a deciduous forest. **Can. J. Forest Res**, v. 26, p. 1142-1148, 1996.

TIAN, G. et al. Soil fauna-mediated decomposition of plants residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Eds.). *Driven by nature: plant and litter quality and decomposition*. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, p. 125-34, 1997.

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**, v. 104, n. 1, p. 39-47, 2009.

VIEIRA, F. C. B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v. 96, p. 195-204, 2007.

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 & Environment**, Amsterdam, v. 91, p. 217-232, 2002.

WEST, T. O.; MARLAND, G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: Methodology for full carbon cycle analyses. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 439-444, 2002.

WILSON, E. T. Pioneer agricultural explosion in CO₂ levels in the atmosphere. **Nature**, v. 273, p. 40-41, 1978.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

5 ARTIGO II – DINÂMICA DO SEQUESTRO DE CARBONO NO SOLO EM SISTEMAS DE PREPARO E RESÍDUOS VEGETAIS.

5.1 Resumo

Uma das opções promissoras indicadas para sequestrar carbono em solos agrícolas é a utilização de plantas de cobertura associado a sistemas conservacionistas que realizam o mínimo de preparo do solo. No entanto, os estudos dos efeitos das culturas de cobertura associado aos tipos de manejo sobre os estoques de COS necessitam ser aprofundados para identificar as melhores práticas capazes de minimizar os efeitos das mudanças climáticas. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi de avaliar a contribuição dos sistemas de cultivo e da relação C/N das plantas de cobertura sobre o sequestro de carbono no solo. O trabalho foi realizado em parcelas que constituem um experimento de longa duração (29 anos), Cruz Alta - RS. O estudo foi conduzido em parcelas subdivididas, com 4 repetições. O tratamento principal foi constituído por dois sistemas de preparo: Plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). A subparcela constituiu-se por quatro tipos de cobertura e/ou resíduos vegetais: Sem Cobertura (SC), Aveia (AV) (alta C/N), avia + ervilhaca (AV+ER) (média C/N) e ervilhaca (ER) (baixa C/N). A determinação dos efluxos de CO₂ foi feita com uma câmara LI-COR (LI-8100), por um período de 125 dias. A decomposição dos resíduos vegetais foi avaliada em sacos de poliéster “mesh-bags”, sendo distribuídos em superfície no PD e enterrados a uma profundidade 0,1 m em PC, com coletas de quatro repetições em cada data de avaliação. A quantidade de carbono remanescente diferiu entre os sistemas PC e PD nos resíduos culturais da AV e ER, e semelhante para AV+ER. O tempo em que o solo atuou como dreno de C-CO₂ em PC foi de 43, 40 e 10 dias, para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente, a partir desses períodos o solo passou a atuar como fonte de C-CO₂, para a atmosfera. Em PD o influxo de C-CO₂ para a AV persistiu até o final do experimento, para AV+ER e ER até os primeiros 86 e 44 dias respectivamente. Em PD o efluxo dos resíduos do consórcio AV+ER, não diferiu do PC manejado com AV, sendo inferior aos demais. Já o efluxo de ER em PD se mostrou superior em relação ao PC apenas para os resíduos da AV e inferior aos demais. Em PD independente do resíduo cultural o solo atuou como dreno de C-CO₂, com maior influxo para os resíduos da AV, intermediário para o consórcio AV+ER e menor para a ER, com taxas de conversão do C de 24,8, 13,9 e 11,4% para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente. Em PC o solo atuou como dreno de C somente quando submetido ao manejo com AV com taxa de conversão do C de 16,4%, nos demais manejos o solo atuou como fonte de C-CO₂ para a atmosfera com efluxo de 103,7 e 105,5% em relação ao C total adicionado pelos resíduos para o consórcio AV+ER e ER, respectivamente.

Palavras-chave: Plantas de cobertura, manejo do solo, balanço aparente de C.

5.2 Introdução

A inclusão de plantas de cobertura em sistemas de cultivo é uma das opções promissoras indicadas para sequestrar carbono em solos agrícolas, com a vantagem de aumentar a produção e manter ou até mesmo elevar os níveis de matéria orgânica do solo (MOS). No entanto, os efeitos das culturas de cobertura como adubação verde sobre os estoques de carbono orgânico do solo (COS) são amplamente negligenciados (POEOPLAU e DON, 2015).

Até o momento o foco científico sobre as plantas de cobertura foram, principalmente, pela sua capacidade de melhorar a qualidade do solo e, assim, fomentar a produção agrícola, porém o seu potencial para aumentar os estoques de COS e mitigar as mudanças climáticas tem sido destacado em poucos estudos (LAL, 2004). Nos últimos anos, com a diminuição da área de cultivo de trigo na região sul do Brasil, o interesse por parte dos produtores pelas culturas de outono/inverno para cobertura de solo tem aumentado, destacando-se a aveia preta (*Avena strigosa* Schieb.), dentre as gramíneas, e a ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), dentre as leguminosas (HEINRICHS et al., 2001).

A aveia caracteriza-se pela elevada capacidade de produção de fitomassa e maior tempo de permanência no solo, já a ervilhaca a preferência pela espécie deve-se principalmente à sua capacidade de fixar o N_2 atmosférico, fato que contribui para a melhoria do balanço de N no solo (AITA et al., 1994). Dessa forma, admite-se que o cultivo consorciado de aveia e ervilhaca proporcione uma fitomassa que se decomponha mais lentamente no solo do que a ervilhaca solteira, protegendo-o dos agentes erosivos e, ao mesmo tempo, forneça mais N as culturas em sucessão do que a aveia solteira (HEINRICHS et al., 2001). Apesar da amplitude do uso dessas culturas, há uma lacuna na literatura sobre o impacto do uso das mesmas sobre os efluxos de C-CO₂ e sua influência nos estoques de COS.

Buscando quantificar o aporte de C no solo através da decomposição de resíduos, os trabalhos existentes na literatura comumente baseiam-se no método do saco de resíduo. Neste, a biomassa vegetal de peso e composição química conhecida é colocada em pequenos sacos de material permeável, garantindo a troca de umidade e calor com o meio, assim como acesso de microrganismos que utilizam este material para seu metabolismo (WIEDER & LANG, 1982; AMADO et al., 2003).

No entanto, são escassas as informações comparando a decomposição dos resíduos com os efluxos acumulados de C-CO₂.

O solo constitui um importante compartimento, por ser um reservatório natural de carbono (C), sendo capaz de estocar uma quantidade deste, quase que 3 vezes mais em relação ao que armazena a vegetação e 2 vezes mais do que a atmosfera (BRUCE et al., 1999), onde uma variação mínima no C acumulado neste poderia resultar em consideráveis mudanças na concentração atmosférica de CO₂ (LUO, WANT e SUN, 2010).

De acordo com Steiner et al. (2012), a MOS constitui o maior reservatório de C do solo, o qual pode ser alterado com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema agrícola instalado. Mudanças nos estoques de COS provem do desequilíbrio entre as entradas de C, principalmente na forma de restos culturais ou adubações orgânicas e saídas, causadas pela decomposição, lixiviação e erosão.

Dois áreas básicas estão sendo apontadas nos estudos referentes aos mecanismos de sequestro de C. Uma delas está direcionada à compreensão dos processos de emissão e absorção por diferentes ecossistemas naturais (AMADO et al., 2001; FERNANDES et al., 2002; SIX et al., 2006) e outra no desenvolvimento de alternativas de uso da terra que promovam o sequestro de CO₂ por esses sistemas (LA SCALA et al., 2001; LAL, 2004; DE RESENDE et al., 2006; PANOSSO et al., 2009). Compreender os mecanismos envolvidos no processo de produção e emissão de CO₂ do solo, bem como os fatores que influenciam tais processos torna-se imprescindíveis (MOITINHO et al., 2012).

A taxa de emissão de CO₂ do solo para a atmosfera é determinada principalmente pela temperatura ambiente, umidade, C disponível para a atividade dos microorganismos, da relação C/N da matéria orgânica e dos resíduos incorporados (BUYANOVSKY et al., 1986; SILVA et al., 2010). Moitinho et al. (2012), afirmam ainda que as formas de manejo também influenciam as variáveis que controlam o estoque de carbono no solo e a sua emissão para a atmosfera na forma de CO₂.

Dessa forma práticas de manejo inadequadas podem levar a um rápido declínio do estoque de COS, contribuindo para o aumento das emissões de CO₂ à atmosfera (FREIXO et al., 2002). Por outro lado, sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo representam alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno de C-CO₂ atmosférico e

mitigação do aquecimento global (AMADO et al., 2001; BAYER et al., 2006; CARNEIRO et al., 2009). Uma abordagem muitas vezes recomendado para diminuir a decomposição COS é reduzir as formas de preparo para manter a agregação natural e proteger o C do consumo microbiano (POEPLAU e DON, 2015).

Embora existam varias alternativas tecnicamente viáveis para reduzir as emissões agrícolas, não são obvias quais práticas poderão permitir reduções eficientes dos gases do efeito estufa (GEE) (MAcLEOD et al., 2010). Dessa forma medidas dos fluxos de gases do solo induzidas por diferentes praticas de manejo ou preparo são importantes para identificar quais são os mais impactantes no balanço de C do solo (POST et al., 1990; REICOSKY, 1997).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o impacto dos sistemas de preparo e das principais plantas de cobertura utilizadas no sul do Brasil, sobre o sequestro de C, durante as operações de preparo e manejo do solo para a instalação das culturas de verão.

5.3 Material e Métodos

5.3.1 Caracterização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em parcelas que constituem o experimento "Influência do preparo do solo e da rotação de culturas sobre o rendimento e a rentabilidade das culturas", instalado em 1985 (Ruedell, 1995). Para este trabalho foram escolhidos os sistemas de rotação R2 (Aveia/soja/trigo/soja) e R1 (Trigo/soja/aveia/soja/aveia+ervilhaca/milho/nabo). O experimento está situado na atual Cooperativa Central Gaucha LTDA, Tecnologia (CCGL-tec), antiga Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa Fecotrig (FUNDACEP), no município de Cruz Alta – RS (Rio Grande do Sul), na região do Planalto Médio, nas coordenadas geográficas 28°36' Sul e 53°40' Oeste com altitude de 409 m. O clima da região segundo classificação climática de Koppen (1948) é subtropical úmido, Cfa 2a, com precipitação média anual de 1774 mm. A temperatura média anual é de 18,7°C (média do período de 1998 a 2006 - Estação Meteorológica da CCGL-tec). O solo da

área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 2005), com predomínio de caulinita e óxidos de ferro ($63,5 \text{ g kg}^{-1}$, extraído por DCB) com teor de argila de 570 g kg^{-1} . Entre os óxidos de ferro, a hematita está presente em maior proporção do que a goethita, conferindo cor avermelhada ao solo (CAMPOS, 2006).

5.3.2 Condições experimentais

Este estudo ocorreu no período de 22/11/2013 a 24/03/2014, no qual foi realizado o manejo das culturas de cobertura, preparo do solo e implantação da cultura de verão (soja) nas parcelas estudadas.

A pesquisa foi desenvolvida em parcelas subdivididas, com 4 repetições. O tratamento principal foi constituído por dois sistemas de cultivo: Plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). A subparcela constituiu-se por quatro tipos de cobertura e/ou resíduos vegetais: Sem cobertura (SC), Aveia (AV) (Alta C/N), avia + ervilhaca (AV+ER) (média C/N) e ervilhaca (ER) (Baixa C/N).

O tratamento para os três sistemas de preparo com cobertura de AV foi instalado no sistema de rotação R1 e com cobertura de AV+ER no sistema de rotação R2. Para a cobertura ER foi realizada uma adaptação no sistema R2, sendo instalada no lugar de aveia+ervilhaca apenas a cultura da ervilhaca.

O PC constituiu-se de uma lavração, com arado de quatro discos (profundidade de trabalho de 0,20 m), seguido de duas gradagens com grade de 36 discos (profundidade de 0,15 m) (dia 23/11/2013). Já o PD constituiu-se de dessecação (15/11/2013) e na mobilização do solo apenas na linha durante a operação de semeadura, permanecendo as entrelinhas cobertas pelos resíduos da cultura anterior. A semeadura em ambos os sistemas de preparo foi realizada com semeadora equipada com duplo disco (Semeato SHM mid land 15/17) no dia 25/11/2013.

5.3.3 Coleta dos dados das emissões de C-CO₂

O registro das emissões de C-CO₂ foi realizado com auxílio de um sistema portátil LI-COR (LI-8100, Lincoln, NE, USA), o qual monitora a mudança na concentração de CO₂ no interior da câmara utilizando um analisador de gás na faixa do infravermelho (IRGA). A câmara consiste de um sistema colocado sobre anéis de PVC de 0,20 m de diâmetro, inseridos a 0,10 m no solo. Esta câmara possui um volume interno de 4823,9 cm³, com uma área exposta para o solo de 317,8 cm². Após a câmara estar fechada, a concentração de CO₂ foi registrada a cada 2,5 s durante 1,5 min em cada anel de PVC. A taxa de emissão de CO₂ para cada ponto de amostragem (anel de PVC) foi estimada através de interpolação. Posteriormente, os valores obtidos em CO₂ foram transformados para kg de C-CO₂ ha⁻¹.

Em cada tipo de cobertura do solo foram instalados 4 anéis de PVC, ou seja, 16 em cada sistema de preparo, totalizando 48 pontos amostrais.

As avaliações iniciaram um dia antes preparo do solo (22/11/2013), sendo realizado um total de 28 dias de avaliações (dias 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 de novembro de 2013; 1, 2, 4, 6, 9, 11, 13, 16, 18, 20, 23 e 30 de dezembro de 2013; 7, 15, 23 de janeiro de 2014; 5 e 17 de fevereiro de 2014; 5 e 25 de março de 2014) em um período de 120 dias. Nesses dias de avaliação, as emissões de CO₂ foram registradas às 8, 13 e 17 horas no PC, e às 9, 14 e 18 horas em PD, tendo sido calculada a emissão média diária.

5.3.4 Dados meteorológicos

Os dados climatológicos de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica durante o período de avaliação, descritos na tabela 1, foram obtidos de registros da estação meteorológica da CCGL - tec., distante aproximadamente 150 m do experimento.

Tabela 1 – Descrição dos dados meteorológicos no período de avaliação.

Mês/ano	Temperatura (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)
Novembro/13	23,21	64,1	23,6*
Dezembro/13	24,87	67,9	144,2
Janeiro/14	24,46	72,0	195,4
Fevereiro/14	24,35	69,0	157,6
Março/14	21,33	71,9	130,0
Média	23,69	69,7	Total = 650,8

* Precipitação acumulada a partir da instalação do experimento.

5.3.5 Determinação da taxa de decomposição

A quantidade de massa seca (MS) existente na área para ambos os sistemas de cultivos e tipos de resíduos culturais da parte aérea apresentados na tabela 2, foram calculadas coletando-se, aleatoriamente, quatro subamostras de 0,5 m² em cada parcela. No momento da avaliação, a aveia encontrava-se no estágio final de florescimento e a ervilhaca no início do florescimento. O material coletado foi levado à estufa a 65 °C até peso constante. A relação C/N dos resíduos apresentou valor máximo de 34:1 na cultura da Aveia, mínimo de 13,5:1 para a cultura da ervilhaca e em consorcio valor intermediário de 23,5:1

Tabela 2 – Aporte de carbono via massa seca em cada sistema de preparo do solo pelos diferentes tipos de resíduos culturais.

Sistema de cultivo	Resíduo cultural	Massa seca (kg ha ⁻¹)	Carbono (kg ha ⁻¹)	Nitrogênio (kg ha ⁻¹)
PC	AV	6598,8	2651,9	78
	AV + ER	6780,7	2735,2	116
	ER	6401,8	2569,7	190
PD	AV	6442,5	2589,1	76
	AV + ER	6858,3	2766,5	117
	ER	6498,1	2608,34	193

* Quantidade de carbono na massa seca obtida em análise química laboratorial; AV: 40,18 %; AV+ER: 40,33 %; ER: 40,14 %.

A decomposição foi avaliada em sacos de poliéster “mesh-bags” com dimensões de 0,20 x 0,20 m e malha de 0,5 mm. Em PD os mesh-bags foram

distribuídos na superfície do solo, já em PC os mesmos foram enterrados a uma profundidade de 0,1 m, ambos próximos aos anéis de coleta dos efluxos de C-CO₂.

Os constituintes das plantas foram cortados manualmente em pedaços de aproximadamente 0,19 m antes de serem acondicionados nos mesh-bags. A quantidade de MS de cada espécie, a ser colocada no interior dos mesh-bags, foi estimada a partir da MS de cada tratamento.

Foram utilizados 40 mesh-bags para cada tratamento, sendo coletados, em cada data de avaliação quatro repetições. As coletas foram realizadas aos 7, 14, 21, 28, 43, 60, 73, 85, 101 e 120 dias após a instalação dos mesmos no campo. Após cada coleta, os resíduos culturais eram retirados do interior dos mesh-bags e submetidos à secagem em estufa a 65 °C até massa constante, com posterior pesagem e moagem para determinação da MS e do C remanescente.

A partir das equações ajustadas da cinética de decomposição para cada tipo de cobertura, foram calculados os valores de decomposição diária dos resíduos, em seguida subtraiu-se os efluxos diários de C-CO₂, resultando no balanço aparente de carbono no solo.

5.3.6 Análise matemática e estatística

Os dados de efluxo de C-CO₂, do solo foram submetidos a uma análise através de gráficos Box-Plot com auxílio do software Excel 2007, com exclusão dos pontos identificados como atípicos e extremos.

Os efeitos dos tratamentos sobre o aporte de C pelos resíduos ao solo, efluxos de C-CO₂, carbono remanescente no tempo e balanço final de C foram submetidos a análise de variância (anova) seguido de análise descritiva dos dados, fazendo uso da média e do erro padrão. Quando houve interação significativa, os dados foram analisados, através do teste de Tukey a 5% de significância, com auxílio do software Sisvar (versão 5.3).

Os dados referentes ao C dos resíduos vegetais remanescentes nos sacos de decomposição foram submetidos à análise de regressão, com auxílio do programa computacional Sigma Plot (Versão 12.1).

5.4 Resultados e discussão.

5.4.1 Decomposição dos resíduos culturais em plantio direto e plantio convencional.

A cinética de decomposição dos resíduos culturais das plantas de cobertura, avaliada por meio das quantidades remanescentes de MS ao longo do tempo, em PC e PD encontram-se descrito na figura 1.

A velocidade de decomposição dos resíduos foi influenciada pela sua posição na superfície do solo (PD) ou incorporada (PC). Considerando os primeiros 30 dias de avaliação em PC, período de maior decomposição, observa-se que a quantidade remanescente de MS no interior dos sacos de decomposição era de aproximadamente 53% na AV, 55% no consorcio AV+ER e 45% na ER (figura 1a). Esses resultados coincidem com os obtidos por outros trabalhos, onde se observa uma fase inicial com rápida redução nas quantidades remanescentes de matéria seca, seguida de outra mais lenta (GIACOMINI et al., 2003; CRUSCIOL et al., 2005; MARCOLINI, 2009; DONEDA, 2012).

Já em PD os valores de matéria seca aos 30 dias de avaliação sobem para 79% na AV, 75% para AV+ER e 66% para a ER (figura 1b). Esses resultados se assemelham aos encontrados por Aita e Giacomini (2003), que observaram ao final do primeiro mês após manejo das coberturas de AV e ER, valores de 81 e 57% de MS remanescente respectivamente. Em contrapartida, Bortolini et al. (2000) verificaram, 30 dias após a deposição da MS sobre o solo, valor de 52,5% de resíduo remanescente de aveia preta. Em estudos realizados por Da Ros e Aita (1996) o decréscimo na quantidade de resíduos culturais da ervilhaca ocorreu de forma exponencial, sendo mais rápido nos primeiros 30 dias, confirmando a baixa persistência dos resíduos culturais e a pouca eficiência da espécie na proteção do solo após o seu manejo.

Após 125 dias de condução do experimento a MS remanescente em PC foi de 30,9%, 35,2% e 23,9%, em PD os valores foram de 40,9%, 35,4% e 28,3% do total adicionado para os resíduos de AV, AV+ER e ER respectivamente. Esses valores diferem dos observados por Heinrichs et al. (2001), onde a aveia como cultura solteira (C/N = 33,9), a quantidade de resíduos remanescentes na superfície do solo

após 180 dias foi de $2,63 \text{ t ha}^{-1}$, equivalendo a 53,6% da produção de fitomassa da espécie no momento do manejo, na ervilhaca ($C/N = 13,5$), esses valores diminuíram para, $0,53 \text{ t ha}^{-1}$ e 19,5% no mesmo período, respectivamente.

A taxa média diária de decomposição no PC foi de 0,55, 0,52 e 0,61%, em PD de 0,47, 0,52 e 0,57%, para os resíduos da AV, AV+ER e ER, respectivamente. O resultado de decomposição da AV, em PC difere dos observados por Campos (2006), que encontrou taxa de 1,26%, e semelhante em PD com valor de 0,48%.

De acordo com Heinrichs et al. (2001), o principal fator inerente às culturas de cobertura de solo que condiciona a velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes dos seus resíduos culturais é a relação C/N, que é menor na ervilhaca do que na aveia. Dessa forma, admite-se que o cultivo consorciado de aveia e ervilhaca proporcione uma fitomassa que se decomponha mais lentamente no solo do que a ervilhaca solteira, protegendo-o dos agentes erosivos e, ao mesmo tempo, forneça mais N as culturas em sucessão do que a aveia solteira.

A relação C/N das plantas de cobertura no presente estudo atingiu valor máximo de 34:1 na cultura da Aveia, mínimo de 13,5:1 para a cultura da ervilhaca e em consorcio valor intermediário de 23,5:1, corroborando com dados encontrados por Giacomini et al. (2003). Os autores afirmam que o consórcio entre diferentes espécies proporciona a produção de uma fitomassa cuja relação C/N é intermediária àquela das espécies em cultura pura. Por meio dessa estratégia de cultivo das plantas de cobertura pelos consórcios de aveia com ervilha alterou-se a taxa de decomposição dos resíduos culturais de modo a proporcionar, cobertura mais eficiente e duradoura do solo.

No conjunto o ambiente formado no PD, não foi suficiente para apresentar maior atividade dos microrganismos na decomposição dos resíduos, avaliada pela taxa de decomposição do C dos resíduos, em relação ao PC. Supõe-se que o menor contato dos microrganismos do solo com os resíduos vegetais não foi compensado pela maior umidade do solo sob PD.

Os processos microbianos de imobilização e mineralização de N dependem, em grande parte, da relação C/N dos resíduos culturais. Partindo desse pressuposto, Allison (1966) e Doneda et al. (2012), afirmaram que materiais com valores de C/N entre 25 e 30 apresentam equilíbrio entre mineralização e imobilização. Assim, pode-se inferir que nos tratamentos AV+ER e ER haja predominância da mineralização, resultando em aumento na quantidade de N

mineral do solo durante a decomposição dos resíduos culturais. Por outro lado, a relação C/N da aveia sugere ocorrência de imobilização líquida de N durante a sua decomposição no solo.

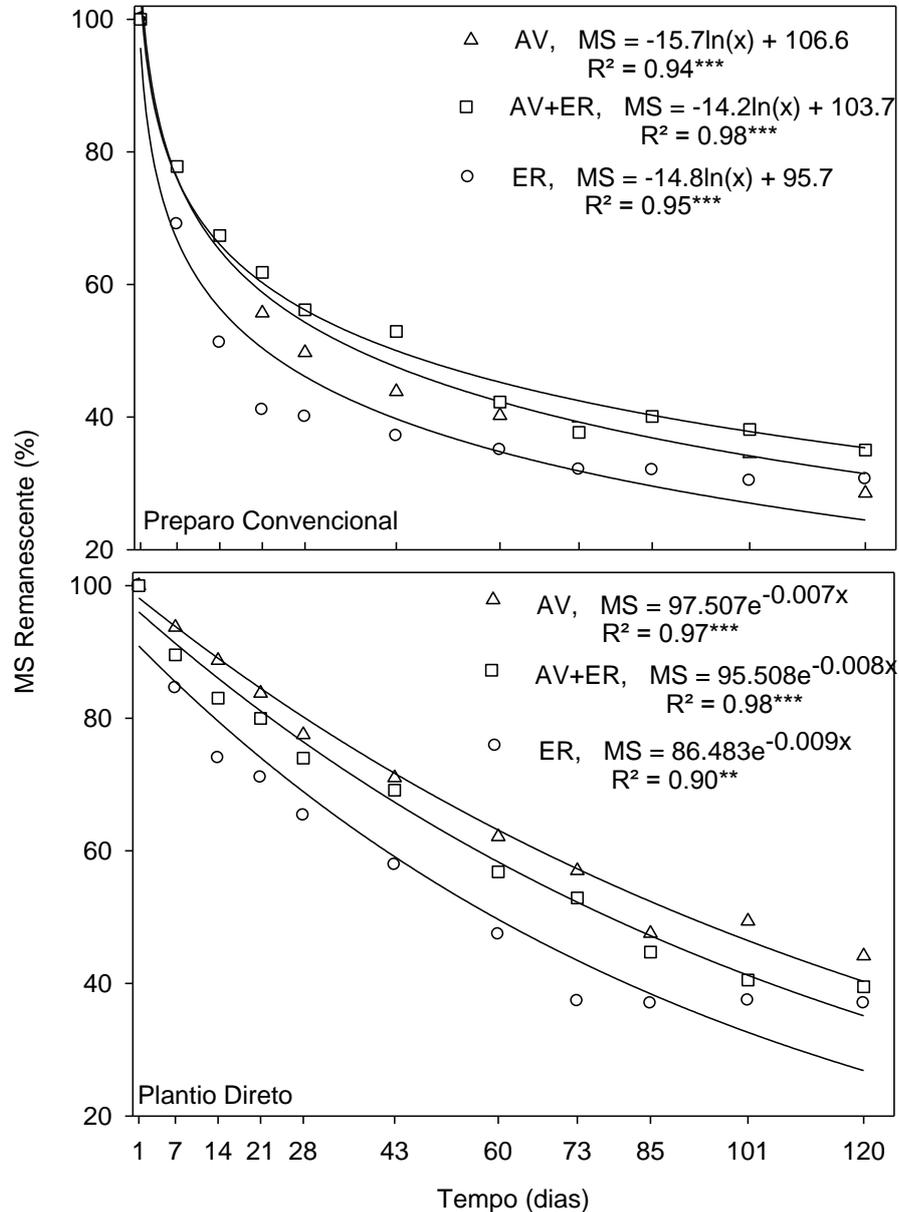


Figura 1: Matéria seca remanescente dos resíduos culturais das plantas de cobertura em plantio convencional (a) e plantio direto (b), até os 120 dias após instalação do experimento; AV: aveia; AV+ER: aveia + ervilhaca; ER: ervilhaca. ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

5.4.2 Evolução temporal do balanço aparente de carbono no solo.

Nas figuras 2 e 3 está representado a evolução temporal no período de 125 dias do sequestro de carbono no solo nos sistemas de preparo PC e PD, para os

resíduos de AV, AV+ER e ER. Em PC para todos os tipos de cobertura, nos primeiros 10 dias constatou-se as maiores taxas de sequestro de C, atingindo valores de 692,5, 430,8 e 594,0 kg ha⁻¹ para os resíduos de AV, AV+ER e respectivamente, e em PD manejado com ER de 408,0 kg ha⁻¹. Isso indica que tanto a incorporação dos resíduos pelo preparo do solo como os resíduos de baixa relação C/N mesmo depositados em superfície impulsionam o desenvolvimento microbiano o que pode explicar os elevados valores de sequestro de C nos primeiros dias após o preparo do solo em PC e semeadura em PD. Pes (2011), relacionou a ocorrência dos picos de emissão de C-CO₂ com a disponibilidade de resíduos para a decomposição pelos microrganismos do solo devido ao atraso da ocorrência do pico de emissão em relação ao momento de realização do preparo. O autor correlacionou as emissões de C-CO₂ com a curva típica de crescimento de microrganismos, cujas fases são: lag, log, estacionária e de morte celular ou declínio. Em um primeiro momento (fase lag) o número de microrganismos sofre pequenas variações, devido ao fato de estarem se adaptando à condição de maior disponibilidade de resíduos. Na sequência ocorre um crescimento exponencial que corresponde a fase log em que os microrganismos iniciam seu processo de divisão e de maior atividade metabólica da célula onde grandes quantidades de C são incorporados na biomassa microbiana. Na fase estacionária, o número de microrganismos que morrem é equivalente ao número de microrganismos novos e a população se torna estável. Finalmente, a fase de morte celular ou fase de declínio corresponde ao período em que o número de mortes excede o número de indivíduos novos.

Além disso, os primeiros 10 dias correspondem ao período de maior incremento nos efluxos de C-CO₂ o qual é um indicador sensível das alterações na biomassa microbiana em decorrência de diferentes manejos de solos (FRANZLUEBBERS et al., 1999).

O elevado sequestro de C no solo nos primeiros dias não foi observado para os resíduos de média e alta relação C/N em PD. Segundo Da Ros, (2004) esse fato pode ser explicado provavelmente pelo menor contato solo resíduo, mas principalmente porque os microrganismos decompositores possuem menor relação C/N do que os resíduos culturais. Dessa forma, o N é reconhecido como um fator limitante para o crescimento e para a atividade microbiana durante o processo de decomposição.

Em ambos os sistemas de preparo é possível observar o tempo em que o solo atuou como dreno de C-CO₂. Em PC manejado com AV o saldo positivo é verificado até os 43 dias após a realização do preparo, decaindo para 40 dias nos resíduos do consórcio AV+ER, e reduzindo drasticamente para os resíduos de ER, onde a partir do 10º dia ocorre maior saída do que entrada de C ao solo. Esse resultado para os resíduos de ER pode ser explicado pelo grande aporte de N ao solo, o qual além de facilitar a decomposição da mesma, fornece substrato necessário para que os microorganismos possam atacar e decompor outras formas de C no solo.

A taxa de evolução do CO₂ pelo solo é determinada principalmente pela temperatura ambiente, umidade, C disponível para atividade dos microorganismos e relação C/N da matéria orgânica e dos resíduos incorporados (BUYANOVSKY et al., 1986).

Em PD é possível observar o caráter mais conservacionista em relação a taxa de decomposição e efluxo de C-CO₂, resultando em um sequestro de maior equilíbrio ao longo do tempo em comparação ao PC. No caso dos resíduos da AV em PD, é possível verificar que o solo atuou como dreno de C-CO₂ até o final do experimento, com uma melhor distribuição das quantidades de C sequestrado pelo solo ao longo do tempo. Para o consorcio AV+ER o solo se manteve acumulando carbono até os primeiros 86 dias, e a partir daí passa a ser fonte de C-CO₂ para a atmosfera, indicando que o fato de não revolver o solo em PD não é suficiente para compensar as perdas de C pela decomposição, sendo necessário um elevado aporte de C via resíduos vegetais. Para os resíduos da ER em PD, o solo se manteve acumulando C apenas nos 54 dias iniciais, e a partir passa a ser fonte de C-CO₂.

Estes resultados colaboram na constatação da importância da rotação de culturas, com espécies de alto aporte de resíduos vegetais, principalmente, quando associados a sistemas conservacionistas como o PD, na recuperação da matéria orgânica do solo (BAYER et al., 2000).

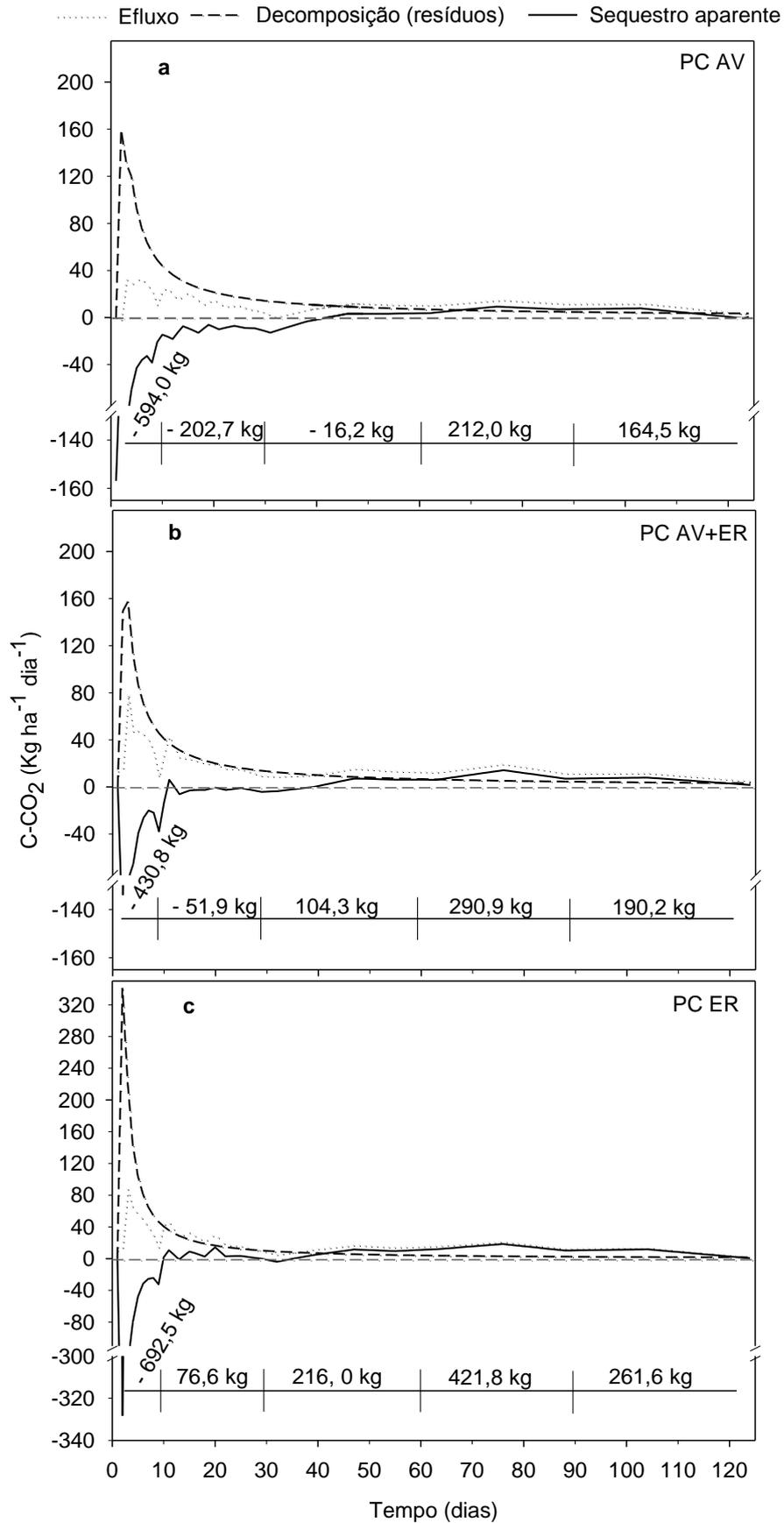


Figura 2: Evolução temporal do sequestro aparente de carbono no solo em sistema plantio convencional (PC) no período de 125 dias, para os resíduos de; a) Aveia; b) Aveia mais Ervilhaca e c) Ervilhaca.

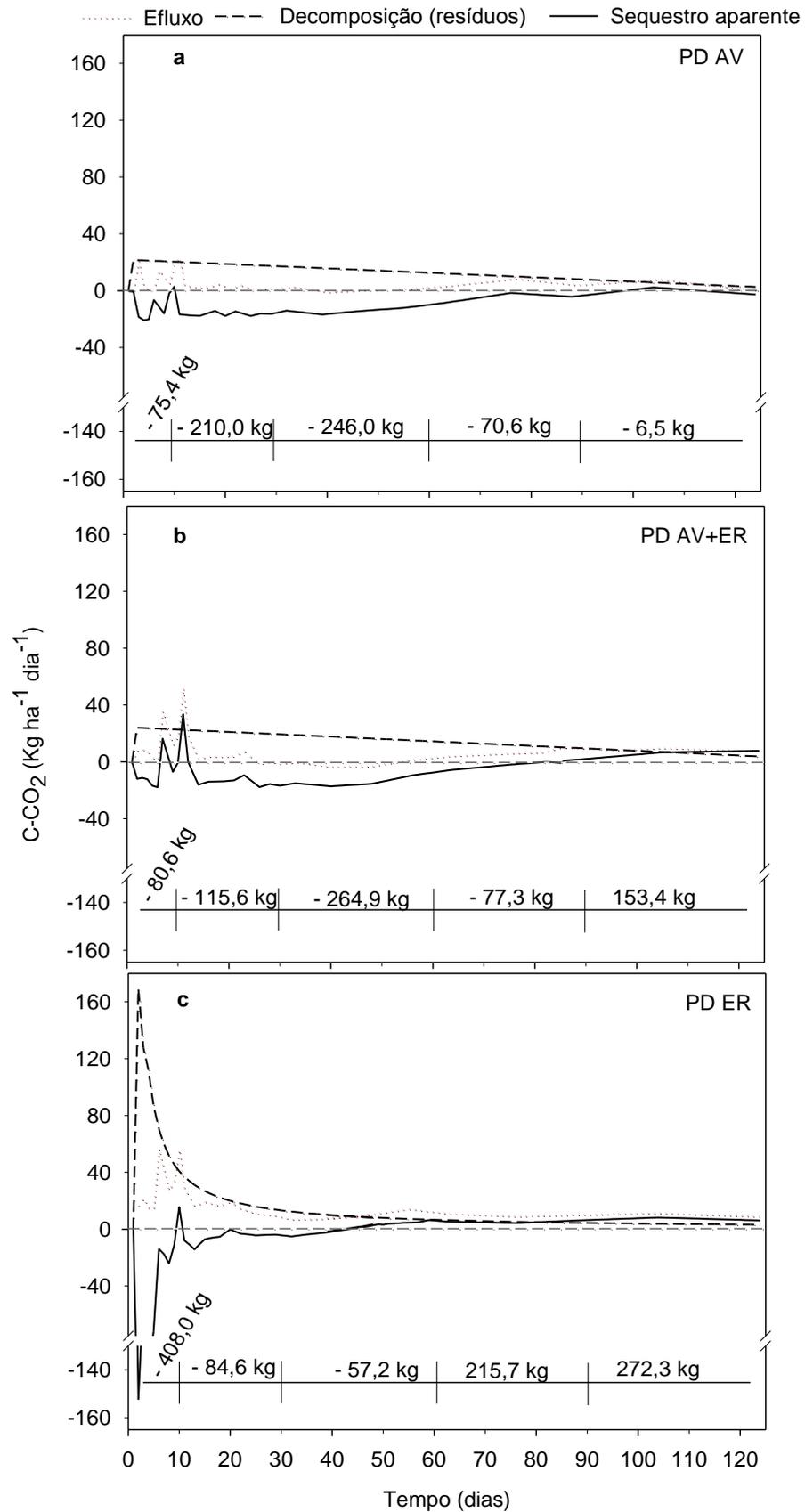


Figura 3: Evolução temporal do sequestro aparente de carbono no solo em sistema plantio direto (PD) no período de 125 dias, para os resíduos de; a) Aveia; b) Aveia mais Ervilhaca e c) Ervilhaca.

5.4.3 Efeito da relação C/N dos tipos de resíduos culturais e do sistema de preparo sobre o sequestro de carbono do solo.

Na figura 4 é apresentado o balanço de carbono após 125 dias de avaliação dos resíduos culturais de AV, AV+ER e ER manejados em PC e PD.

A quantidade de C adicionado ao solo via resíduos culturais foram semelhantes em todos os tipos de cobertura, não diferindo estaticamente, alcançando valor máximo de 2,76 Mg ha⁻¹ no consorcio AV+ER em PD e mínimo de 2,56 Mg ha⁻¹. Nicoloso (2009) determinou nesse mesmo experimento, valor semelhante para o consorcio AV+ER (2,33 Mg ha⁻¹) e inferior para a AV (1,92 Mg ha⁻¹).

As emissões acumuladas de C-CO₂ provenientes da decomposição dos resíduos culturais diferiram estatisticamente pelo teste de tukey a 5% de significância com interação entre os sistemas de preparo, sendo maiores em PC do que em PD para ambos os tipos de resíduos vegetais, o que era esperado devido o maior contato do solo com os resíduos pelo preparo do mesmo.

Em PD o efluxo do consórcio AV+ER, não diferiu estatisticamente do PC manejado com AV, sendo inferior aos demais. Já o efluxo de ER em PD se mostrou superior em relação ao PC apenas para os resíduos da AV e inferior aos demais.

Analisando separadamente cada sistema de cultivo, ouve um incremento nas emissões à medida que decresceu a relação C/N dos resíduos. Maiores emissões de resíduos com relação C/N baixa são explicados pela maior facilidade que os microorganismos do solo encontram para decompor, comparado com os de relação C/N alta (AULAKH et al., 1991; QUEMADA e CABRERA, 1995; TIAN et al., 1997).

A quantidade de carbono remanescente diferiu estatisticamente ($p < 0,001$) entre os sistemas de preparo nos resíduos culturais da AV e ER, no entanto no consorcio AV+ER não ouve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%. Analisando separadamente cada sistema de preparo encontramos que em PD a quantidade de carbono remanescente foi maior para os resíduos da AV (1059,7 kg de C ha⁻¹), e menor para os resíduos de AV+ER e ER não havendo diferença estatística significativa entre as mesmas. Em PC a quantidade de carbono

remanescente para os resíduos da AV foi de 820 kg de C ha⁻¹, sem diferença estatística para AV+ER, e superior a ER.

Em PD independente do resíduo cultural o solo atuou como dreno de C-CO₂, com maior influxo (642,4 kg ha⁻¹) para os resíduos da AV, intermediário para o consorcio AV+ER (384,3 kg ha⁻¹) e menor para a ER (298,1 kg ha⁻¹), com taxas de conversão do C em torno de 24,8, 13,9 e 11,4%. Gale e Cambardella (2000) encontraram valores inferiores, indicando que para a cultura da aveia somente 16% do C derivado dos resíduos da parte aérea foram incorporados a MOS. Em contrapartida, Kong et al. (2005) relataram que em diferentes sistemas de culturas, a conversão de C do resíduo para COT do solo teve uma taxa de 7,6%.

Os valores encontrados nesse estudo são superiores aos reportados por outros autores, considerando o tempo de condução desse experimento (125 dias), onde em clima temperado, a mudança do PC para o PD apresentou uma taxa média de sequestro de C de 0,34 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (WEST e MARLAND, 2002), enquanto que em clima subtropical, especialmente no sul do Brasil, esta taxa é estimada em 0,48 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (BAYER et al., 2006).

Campos (2006), avaliando as taxas de recuperação no estoque de carbono nesse experimento no 19º ano de condução, reportou valores inferiores aos encontrados nesse estudo, indicando sequestro de 0,20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema de monocultura trigo/soja a 0,31 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no sistema aveia/soja/trigo/soja para o PC e 0,15 a 0,46 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em PD para os mesmos sistemas respectivamente, na camada de 0-20 cm.

Segundo Bayer et al. (2000), experimentos de longa duração têm demonstrado que o plantio direto e sistemas de culturas com alto aporte de resíduos resultam num aumento dos estoques de COS.

Em PC o solo atuou como dreno de C somente quando submetido ao manejo com AV com influxo de 435 kg ha⁻¹ (16,4% do total adicionado), nos demais manejos o solo atuou como fonte de C-CO₂ para a atmosfera com efluxo de 102,1 kg ha⁻¹ para o consorcio AV+ER, e efluxo de 140,5 kg ha⁻¹ para a ER, representando 103,7 e 105,5% do C total adicionado, respectivamente.

O carbono orgânico é um dos principais componentes da matéria orgânica do solo e o seu estoque é influenciado pelo sistema de manejo adotado (STEINER et al., 2012). Dessa forma, sistemas de plantio em que os resíduos culturais são retidos sobre o solo, ocorrem aumentos significativos nos teores de carbono nas camadas

mais superficiais destes, quando comparados aos sistemas como o preparo convencional (CANELLAS et al., 2010). Em média 5 vezes mais carbono é acumulado no solo, devido à adoção do sistema de plantio em que os resíduos são mantidos sobre o solo (DENDOOVEN et al., 2012).

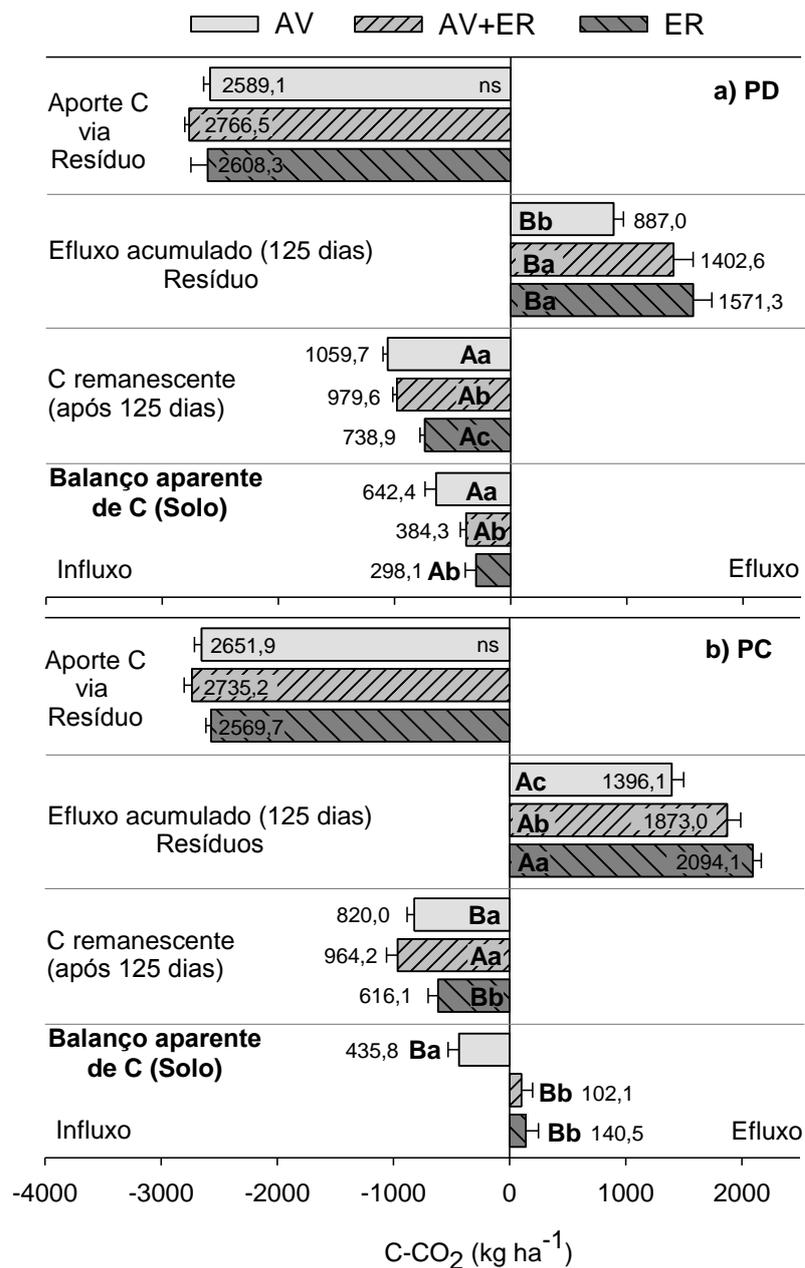


Figura 4: Balanço aparente de C no solo dos sistemas de Preparo; a: Plantio direto; b: Plantio convencional. Manejados com; AV: Aveia; AV+ER: Aveia+Ervilhaca; ER: Ervilhaca; no período de 125 dias de avaliação. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os sistemas de preparo e médias seguidas por letras minúsculas comparam os tipos de cobertura, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Sistemas de manejo de culturas agrícolas que realizam o mínimo revolvimento do solo juntamente com a adoção de técnicas de rotação de culturas, que forneçam um aporte de resíduos com alta relação C/N, aumentam o estoque e a conservação do carbono no solo (SIX et al., 2000).

Estes resultados demonstram que o manejo adotado, bem como a quantidade e a composição química dos resíduos que retornam ao solo, principalmente C e N, é determinante para o aumento ou diminuição dos estoques de COT no solo.

5.5 Conclusão

O tempo em que o solo atuou como dreno de C-CO₂ em PC foi de 43, 40 e 10 dias, para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente, a partir desses períodos o solo passou a atuar como fonte de C-CO₂, para a atmosfera. Em PD o influxo de C-CO₂ para a AV persistiu até o final do experimento, para AV+ER e ER até os primeiros 86 e 54 dias, respectivamente.

Em PD o efluxo do consórcio AV+ER (média C/N), não diferiu do PC manejado com AV (alta C/N), sendo inferior aos demais. Já o efluxo de ER (baixa C/N) em PD se mostrou superior em relação ao PC apenas para os resíduos da AV e inferior aos demais.

Em PD independente do resíduo cultural o solo atuou como dreno de C-CO₂, com maior influxo para os resíduos da AV, intermediário para o consórcio AV+ER e menor para a ER, com taxas de conversão do C de 24,8, 13,9 e 11,4% para os resíduos de AV, AV+ER e ER, respectivamente.

Em PC o solo atuou como dreno de C somente quando submetido ao manejo com AV com taxa de conversão do C de 16,4%, nos demais manejos o solo atuou como fonte de C-CO₂ para a atmosfera com efluxo de 103,7 e 105,5% em relação ao C total adicionado pelos resíduos para o consórcio AV+ER e ER, respectivamente.

5.6 Referências Bibliográficas

ACOSTA, J. A. et al. Effect of ¹⁵N-labeled hairy vetch and nitrogen fertilization on maize nutrition and yield under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1337-1345, 2011.

AITA, C. et al. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 101-108, 1994.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

ALLISON, F. E. The fate of nitrogen applied to soils. **Advances in Agronomy**, v. 18, p. 219-258, 1966.

AMADO, T. J. C. et al. 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**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 189-197, 2001.

AMADO, T. J. C.; SANTI, A.; ACOSTA, J. A. A. Adubação nitrogenada na aveia preta. II – Influência na decomposição de resíduos, liberação de nitrogênio e rendimento de milho sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1085-1096, 2003.

AULAKH, M. S. et al. Crop residue type and placement effects on denitrification and mineralization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, n. 4, p. 1020-1025, 1991.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 237-245, 2006.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.

BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Efeito de resíduos de plantas jovens de aveia preta em cobertura de solo no crescimento inicial do milho. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 6, p. 83-88, 2000.

BUYANOVSKY, G. A.; WAGNER, G. H.; GANTZER, C. J. Soil respiration in a winter wheat ecosystem. **Soil Science Society of American Journal**, v. 50, p. 338-344, 1986.

CAMPOS, B. C. **Dinâmica do carbono em latossolo vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas.** 2006, 190f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CANELLAS, L. P. et al. Soil organic matter and nutrient pools under long-term nonburning management of sugar cane. **European Journal of Soil Science**, v. 61, p. 375-383, 2010.

CARNEIRO, C. E. A. et al. Efeitos dos sistemas de manejo sobre o carbono orgânico total e carbono residual de um Latossolo vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 5-10, 2009.

CERETTA, C. A. et al. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 49-54, 2002.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. **Bragantia** (São Paulo, SP. Impresso), v. 67, p. 261-266, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 161-168, 2005.

DA ROS, C. O. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio com o uso de uréia, na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto.** 2004, 129f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DA ROS, C. O.; AITA, C. Efeito de espécies de inverno na cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 135-140, 1996.

DE RESENDE, A. S. et al. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugarcane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 281, n. 1-2, p. 339-351, 2006.

DENDOOVEN, L. et al. Greenhouse gas emissions under conservation agriculture compared to traditional cultivation of maize in the central highlands of Mexico. **Science of the Total Environment**, v. 431, p. 237-244, 2012.

DONEDA, A. et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), v. 36, p. 1714-1723, 2012.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2005. 374 p.

FERNANDES, S. A. P. et al. Seasonal variation of chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in ultisol of the Brazilian Amazon. **Geoderma**, Amsterdam, v. 107, n. 3-4, p. 227-241, 2002.

FRANZLUEBBERS, A. J. Microbial activity in response to water-filled pore space of variably eroded southern Piedmont soils. *Applied Soil Ecology*, v. 11, p. 91-101, 1999.

FREIXO, A. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 2, p. 425-434, 2002.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C. A. Carbon dynamics of surface residue- and root-derived organic matter under simulated no-till. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v. 64, p. 190-195, 2000.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 325-334, 2003.

HEINRICHS, R. et al. Cultivo consorciado de aveia e ervilhaca: relação C/N da fitomassa e produtividade do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** (Impresso), Viçosa-MG, v. 25, n. 2, p. 331-340, 2001.

KONG, A. Y. Y. et al. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, n. 4, p. 1078-1085, 2005.

LA SCALA JUNIOR, N. et al. 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.

Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, v. 123, p. 1-22, 2004.

LUO, Z. K.; WANG, E. L.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, n. 3/4, p. 211-223, 2010.

MAcLEOD, M. et al. Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 103, p. 198-209, 2010.

MARCOLINI, L. W. **Produção e decomposição de coberturas vegetais de inverno e sua influência na infestação e fitossociologia de plantas daninhas.** (Tese de Mestrado), Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2009. 77p

MARY, B. et al. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v. 181, p. 71-82, 1996.

MOITINHO, M. R. et al. Variações diurnas da emissão de CO₂, temperatura e umidade do solo sobre diferentes manejos pós-colheita da cana-de-açúcar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 7, n. 2, 2012.

NICOLOSO, R. S. **Soil organic carbon stabilization mechanisms on temperate and sub-tropical climate agroecosystems.** 2009. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

PANOSSO, A. R. et al. Spatial and temporal variability of soil CO₂ emission in a sugarcane area under green and slash-and-burn managements. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 105, n. 2, p. 275-282, 2009.

PES, L. Z. **Emissões de dióxido de carbono durante a implantação de culturas em dois sistemas de preparo em latossolo vermelho do rio grande do sul.** (Tese de Doutorado) Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 134p.

PES, L. Z. et al. E. The primary sources of carbon loss during the crop-establishment period in a subtropical Oxisol under contrasting tillage systems. **Soil & Tillage Research**, v. 117, p. 163-171, 2011.

- POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops, A meta analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 33-41, 2015.
- POST, W. M. et al. The Global Carbon Cycle. *American Scientist*, v. 78, p. 310-326, 1990.
- QUEMADA, M.; CABRERA, M. L. Carbon and nitrogen mineralized from leaves and stems of four cover crops. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 59, n. 2, p. 471-477, 1995.
- REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v. 41, p. 105-118, 1997.
- RUEDELL, J. **Plantio direto na região de Cruz Alta**. Cruz Alta, FUNDACEP, p. 134, 1995.
- SILVA, W. M. et al. Atividade microbiana e decomposição de diferentes resíduos orgânicos em um solo sob condições de campo e estresse hídrico simulado. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 33-46, 2010.
- SIX, J. et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 70, n. 2, p. 555-569, 2006.
- SIX, J. et al. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for Csequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 2099-2103, 2000.
- STEINER, F. et al. Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Semina. Ciências Agrárias** (Impresso), v. 36, p. 2775-2788, 2012.
- TIAN, G. et al. Soil fauna-mediated decomposition of plants residues under constrained environmental and residue quality conditions. In: CADISCH, G.; GILLER, K. E. (Eds.). *Driven by nature: plant and litter quality and decomposition*. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, p. 125-34, 1997.

WEST, T. O.; MARLAND, G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: Methodology for full carbon cycle analyses. **Environmental Pollution**, v. 116, p. 439-444, 2002.

WIEDER, R. K. & LANG, G. E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v. 63, p. 1636- 1642, 1982.