

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CAMPUS DE CURITIBANOS

CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS

Jorge Luiz Locatelli

**PLANTAS DE COBERTURA EM SUCESSÃO AO MILHO E SUA
CONTRIBUIÇÃO NO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO**

Curitibanos

2018

Jorge Luiz Locatelli

**PLANTAS DE COBERTURA EM SUCESSÃO AO MILHO E SUA
CONTRIBUIÇÃO NO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em
Agronomia do Centro de Ciências Rurais da
Universidade Federal de Santa Catarina como
requisito para a obtenção do Título de Bacharel em
Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva

Curitibanos

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Locatelli, Jorge Luiz

Plantas de cobertura em sucessão ao milho e sua
contribuição no carbono orgânico do solo / Jorge Luiz
Locatelli; orientador, Jonatas Thiago Piva, 2018.
45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Agronomia, Curitibanos, 2018.

Inclui referências.

Agronomia. 2. Carbono Orgânico do Solo. 3. Plantas de
Cobertura. 4. Plantio Direto. I. Piva, Jonatas Thiago.
II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Agronomia. III. Título.

Plantas de Cobertura em Sucessão ao Milho e sua Contribuição no Carbono Orgânico do Solo.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Colegiado do Curso de Agronomia, do Campus Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador(a): Jonatas Thiago Piva

Data da defesa: 05/11/2018

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:



Presidente e Orientador: Jonatas Thiago Piva

Titulação: Doutor

Área de concentração: Agronomia

Instituição: UFSC



Membro Titular: Marcos Renan Besen

Titulação: Doutorando

Área de concentração: Agronomia

Instituição: UEM



Membro Titular: Ricardo Henrique Ribeiro

Titulação: Mestrando

Área de concentração: Ciência do Solo

Instituição: UFPR

Local: Universidade Federal de Santa Catarina

Campus de Curitibanos

Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia

DEDICO ESTE TRABALHO:

Aos meus pais, Valtemir e Maritânia, pelo exemplo de caráter, determinação, e por me incentivarem durante toda a minha caminhada, sempre acreditando em mim.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me conceder a vida e todas as possibilidades as quais vivenciei.

Aos meus familiares, em especial meus pais, Valtemir e Maritânia, e ao meu irmão Flávio pelo apoio, confiança, e exemplo de dedicação, caráter, honestidade e determinação, que possibilitaram que eu traçasse este caminho.

Aos meus tios, João e Ivone, que também contribuíram para que eu alcançasse os meus objetivos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jonatas Thiago Piva, por possibilitar que eu ingressasse no grupo de pesquisa, pelo auxílio e orientação na realização deste trabalho, por todos os ensinamentos e contribuições, agradeço imensamente.

Aos meus amigos, Eduardo Brancaloni, Felipe Bratti, Luis Gustavo do Prado, Ricardo Henrique Ribeiro, João Vítor Berner Pereira, João Pedro de Almeida Benevides, Anderson Carlos Finger e Liandra Harine Kulika pela amizade, companheirismo e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

À universidade em geral, e a todos os docentes que contribuíram para minha formação acadêmica.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder entusiasmo”

Winston Churchill

“A dificuldade é um severo instrutor”

Edmund Burke

RESUMO

O carbono orgânico é um indicativo da qualidade do manejo que é empregado no sistema. Embora seja uma variável fortemente influenciada por fatores ambientais, as práticas agrícolas são determinantes para o estabelecimento de um sistema conservacionista. O objetivo foi avaliar o estoque de carbono na camada de 0-0,60 m em curto prazo (4 anos), na sucessão de milho (*Zea mays*) e plantas de cobertura sob sistema de plantio direto em um clima temperado. O experimento foi implantado no ano de 2013, na fazenda experimental agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina, localizada na cidade de Curitiba-SC, em um clima Cfb-temperado, com precipitação média de 1500 mm anuais, e temperatura média de 15 °C. O solo, é classificado como um Cambissolo Háplico típico de textura argilosa (550 g kg⁻¹ de argila). No verão foi cultivado a cultura do milho (*Zea mays*), e no inverno plantas de cobertura, sendo a aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), canola (*Brassica napus*), ervilhaca (*Vicia craca*), nabo (*Raphanus sativus*), trevo vermelho (*Trifolium pratense*), o consórcio entre aveia preta e ervilhaca, e um pousio, em parcelas 4 x 4 m. Durante as safras de verão, não foi utilizado nenhum tipo de adubação nitrogenada, sendo aplicado apenas a adubação potássica e fosfatada. No inverno, além da adubação potássica e fosfatada, as plantas de cobertura receberam 30 kg ha⁻¹ de N em cobertura. As amostras de solo foram coletadas 4 anos após a implantação do experimento, nas profundidades de 0 – 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30, 0,30 - 0,45 e 0,45 - 0,60 m. A determinação do carbono orgânico foi realizada através da combustão úmida. Os dados foram submetidos à análise de variância e foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5 %. O estoque de carbono para a camada de 0 - 0,60 m apresentou variação sob os diferentes sistemas de culturas, onde ervilhaca e a aveia preta foram superiores aos demais tratamentos avaliados. Tal resposta também foi observada para a camada 0,45 - 0,6 m. Dessa forma, o sequestro de carbono para a camada de 0 - 0,60 m na ervilhaca e a aveia preta foi significativamente superior aos demais tratamentos, com taxas de sequestro positivas, 1,68 e 0,93 Mg ha⁻¹ a⁻¹, respectivamente. As plantas de cobertura de inverno ervilhaca e aveia preta, em sucessão ao milho no verão, promoveram um incremento respectivo de 5,78 % e 3,10 % no estoque de carbono orgânico para a camada de 0 - 0,60 m, e de 22,8 % e 19,7 % para a camada de 0,45 - 0,60 m, em relação ao pousio, demonstrando que o estabelecimento de um sistema de culturas de alta qualidade melhora os teores de C no solo e atenua os efeitos ambientais.

Palavras-chave: Estoque de carbono, mineralização, leguminosas, plantio direto.

ABSTRACT

Soil organic carbon is an indicative of the quality of management that is used in the system. Although it is a variable strongly influenced by environmental factors, agricultural practices are determinant for the establishment of a conservationist system. The objective was to evaluate the carbon stock in the 0-0.6 m layer, in the succession of maize (*Zea mays*) in the summer, with seven winter cover crops, a mix and fallow, under no-tillage in a temperate climate. The experiment was implanted in 2013 at the experimental farm of the Universidade Federal de Santa Catarina, located at the city of Curitiba-SC, in a Cfb-temperate climate, with an annual mean rainfall of 1500 mm, and mean temperature of 15 °C. The soil is classified as an Inceptsoil with clayey texture, 550 g kg⁻¹ of clay. In the summer the maize (*Zea mays*) was cultivated, and in winter the different cover crops, white oat (*Avena sativa*), black oat (*Avena strigose*), ryegrass (*Lolium multiflorum*), canola (*Brassica napus*), vetch (*Vicia craca*), radish (*Raphanus sativus*), red clover (*Trifolium pretense*), the mix between black oat and vetch and a fallow, in plots 4 x 4 m. During the summer crops, no nitrogen (N) fertilization was used, only potassium and phosphate fertilization was applied. In winter, in addition to potassic and phosphate fertilization, the cover plants received 30 kg ha⁻¹ of N in topdress. The soil samples were collected by the excavation method, 4 years after the implantation of the experiment, in the depths of 0 - 0.05, 0.05 - 0.10, 0.10 - 0.20, 0.20 - 0.30, 0.30 - 0.45 and 0.45 - 0.60 meters. The determination of the soil organic carbon content was carried out by the wet combustion method. Data were submitted to analysis of variance and the Scott-Knott test was applied to 5 %. The carbon stock for the 0.0 - 0.60 m layer presented variation under the different crop systems, where the vetch, and the black oat in succession to maize in summer were superior to the other evaluated treatments. Such response was also observed for the 0.45 - 0.60 m layer. Evaluating the carbon sequestration for the 0.0 - 0.60 m layer, as well as for the accumulated total organic carbon, the vetch and black oats in succession to maize were significantly superior to the other treatments tested, and the only ones that presented positive sequestration rates, 1.68 and 0.93 Mg ha⁻¹ year⁻¹, respectively. Winter cover crops of vetch and black oats plus corn in the summer promoted a respective increment of 5.78 % and 3.10 % in the organic carbon stock for the 0.0 - 0.60 m layer and 22.8 % and 19.7 % for the 0.45 - 0.60 m layer in relation to the fallow, demonstrating that the establishment of a high-quality cropping system, increase soil quality and mitigat environmental effects.

Keywords: Carbon stock, mineralization, legumes, no-till.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Taxa de sequestro de carbono para a camada de 0 - 0,2 e 0 - 0,6 m, em um Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. ns: não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1 % de probabilidade. Curitiba, SC35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização química do solo na camada de 0 - 0,20 m, antes da implantação do experimento.	25
Tabela 2. Concentração de carbono orgânico (g kg^{-1}) até 0,6 m de profundidade, em Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. Curitiba, SC.	30
Tabela 3. Estoque de carbono orgânico (Mg ha^{-1}) até 0,6 m de profundidade, em um Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. Curitiba, SC.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE - Gases do efeito estufa

MO - Matéria orgânica

MOS - Matéria orgânica do solo

COT - Carbono orgânico total

COS - Carbono orgânico do solo

CTC - Capacidade de troca de cátions

MS - Matéria seca

C:N - Relação carbono nitrogênio

UFMS - Universidade Federal de Santa Maria

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

pH - Potencial hidrogeniônico

V % - Saturação de bases

m % - Saturação por alumínio

CO₂ - Dióxido de Carbono

Ca⁺² - Cálcio

Mg⁺² - Magnésio

Al⁺³ - Alumínio

N - Nitrogênio

K⁺ - Potássio

P - Fósforo

LISTA DE SÍMBOLOS

g - Grama

cm - Centímetro

m - Metro

cmol_c dm⁻³ - Centimol de carga por decímetro cúbico

g kg⁻¹ - Grama por kilograma

kg ha⁻¹ - Quilogramas por hectare

Mg ha⁻¹ - Megagrama por hectare

Mg ha⁻¹ a⁻¹ - Megagrama por hectare por año

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	18
2.2 PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO	19
2.3 DINÂMICA DO CARBONO NO ECOSISTEMA	21
2.3.1 Solo	21
2.3.2 Resíduos vegetais.....	22
2.3.3 Clima	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Os solos desempenham um papel fundamental para a manutenção da vida, pois possibilitam o cultivo e a produção de alimentos, fibras e energia, regulam o ciclo hidrológico, e são a peça chave para a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas (STOCKMANN et al., 2015; HUANG et al., 2018). Ainda, podem determinar a efetividade do sistema para a redução dos impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas, já que os solos possuem um grande potencial para o acúmulo de dióxido de carbono (CO₂) atmosférico (DAVIDSON; JANSSENS, 2006). Em um contexto geral, o solo pode atuar como um dreno, ou uma fonte emissora de gases causadores do efeito estufa (GEE), já que este contém três vezes mais carbono que a vegetação terrestre, e duas vezes mais do que todo o carbono atmosférico (FAO, 2017).

A matéria orgânica do solo (MOS), que é responsável por garantir o acúmulo de carbono orgânico no solo (COS), desempenha um papel essencial, apresentando reflexos quanto às características físicas, químicas e biológicas do solo, além de ser um contribuinte para a mitigação da emissão dos GEE. O COS é utilizado como um indicador de qualidade e da fertilidade, onde a sua concentração ou estoque, podem trazer informações relacionadas a qualidade do manejo que está sendo empregado ao sistema. Ainda, o aumento o estoque do COS passa a ser uma resposta direta ao manejo, e às características do modelo produtivo adotado (RIBEIRO, 2012).

Ainda no âmbito ambiental, um estudo recente coordenado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), revelou que cerca de 30 % dos solos do mundo encontram-se em algum estágio de degradação (FAO, 2015). Tal situação pode ser explicada em grande parte pela má condução do conjunto solo-planta em sistemas de manejo do solo que desfavorecem a conservação, causando perdas significativas do solo em si, nutrientes e matéria orgânica (MO), além do aumento da emissão de GEE (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999).

O sistema de plantio direto, implantado no Brasil por volta da década de 70, surge como uma estratégia alternativa para o cultivo agrícola, e impacta positivamente em uma série de elementos presentes no solo, que são de extrema importância para o manejo e o cultivo de espécies. O emprego do sistema de plantio direto garante um aumento significativo no sequestro de CO₂ pelo solo, e possibilita uma maior entrada de nitrogênio (N) ao meio, seja

este proveniente da fixação biológica ou via resíduos orgânicos, principalmente com o cultivo de espécies leguminosas, por exemplo (LOVATO, 2001).

Além disso, em solos cultivados a adição e o manejo de resíduos orgânicos, tanto de origem vegetal como animal, é um dos principais fatores que determinam a dinâmica do carbono no solo. A contínua adição de resíduos de qualidade atrelada às técnicas de manejo ideais tende a promover o aumento ou a manutenção do teor de carbono, variando em função das características do solo e do clima (COSTA, 2005).

Neste aspecto, a escolha das culturas utilizadas no sistema também é um fator de destaque. Trabalhos conduzidos por Jantalia et al. (2003) em um Latossolo Vermelho na cidade de Passo Fundo - RS demonstram que quanto maior a diversidade de culturas utilizadas no sistema de rotação, maior tende a ser o incremento de resíduo de qualidade, o que garante a elevação dos teores de matéria orgânica e carbono no solo. Em resumo, o sistema de rotação envolvendo a presença da cultura do trigo + soja + aveia branca + ervilhaca + milho após 14 anos de condução garantiu a manutenção de teores de carbono orgânico iguais ao da floresta, enquanto que a sucessão trigo + soja apresentou valores inferiores, embora tenha garantindo a manutenção dos teores de C.

Além da composição química do resíduo vegetal, que envolve as características morfofisiológicas como o teor de lignificação, teor de nitrogênio e a relação carbono nitrogênio (C:N), por exemplo, o manejo aplicado sobre os resíduos (aração e gradagem) acaba por impactar nas interações do mesmo com a microbiota do solo, potencializando ou não os processos de decomposição e a liberação dos nutrientes (CARVALHO et al., 2008).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o estoque e a taxa de sequestro de carbono no solo na camada de 0 - 0,60 m em curto prazo (4 anos), na sucessão de milho no verão e plantas de cobertura de inverno, em sistema de plantio direto.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a concentração e o estoque de carbono dentro das camadas específicas amostradas.

- Avaliar a concentração de carbono e a densidade do solo nas camadas amostradas.

- Determinar o sequestro e o estoque de carbono nas camadas de 0 – 0,20 e 0 – 0,60 m.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

Uma série de trabalhos já foi e vem sendo desenvolvidos comparando diferentes sistemas de manejo, principalmente o preparo convencional e o plantio direto, e as consequências nas diversas características do solo. Segundo Hernani, Kurihara e Silva (1999), o preparo convencional com gradagem e intenso revolvimento do solo pode gerar perdas de até 6,5 vezes mais de potássio (K^+), e 6 vezes mais fósforo (P) e MO, quando comparado com o plantio direto. Além de elevar a perda da MO e nutrientes, que são essenciais para o desenvolvimento da grande maioria das espécies cultivadas, e possuem um elevado valor econômico agregado, a adoção de práticas de preparo e sucessão de culturas contribui para a poluição de mananciais hídricos. A eutrofização de rios e lagos é um problema recorrente que além de comprometer a biodiversidade, pode ser extremamente prejudicial à saúde humana (HERNANI; KURIHARA; SILVA, 1999; OMS, 2012; KLEIN; AGNE, 2012).

O plantio direto se baseia no princípio do não revolvimento do solo, e tendo em vista o conjunto de práticas e a forma de execução que são adotadas neste modelo de cultivo, parte-se do pressuposto de que neste sistema há uma maior compactação ao longo do perfil do solo. De fato, quando o modelo é executado inadequadamente, sem a rotação de culturas com as espécies adequadas, e com tráfego excessivo de máquinas ou animais, nota-se uma redução da porosidade total nas camadas superficiais e um aumento na resistência à penetração (CARVALHO JUNIOR; FONTES; COSTA, 1998; STONE; SILVEIRA, 1999). Todavia, estudos conduzidos a longo prazo por Costa et al. (2003) na cidade de Guarapuava – PR em um Latossolo Bruno, indicam que em tais condições, quando o sistema é manejado corretamente, não manifestam diferenças significativas entre o manejo convencional e plantio direto, quanto à densidade do solo, macro e micro porosidade e porosidade total nas camadas superficiais e subsuperficiais.

Ainda, observa-se um aumento na estabilidade dos agregados e na capacidade de retenção de água, fatores que são favorecidos pela condução do sistema, bem como pelo aumento do teor de COS. Além disso, ambas as culturas (milho e soja) empregadas aos diferentes sistemas de manejo apresentaram um maior rendimento no plantio direto (COSTA et al., 2003).

Jantalia et al. (2003) descrevem que a prática do plantio direto garante a adição de maiores quantidades de CO ao solo, principalmente nas camadas superficiais (até 10 cm), sendo que estes incrementos permanecem restritos a estas camadas mesmo após vários anos de implantação do plantio direto. O mesmo é observado por Bayer et al. (2000), que mostra que em um sistema de plantio direto com rotação de culturas adequado os teores de C nas camadas superficiais são cerca de 18,5 kg m⁻³ superiores à um sistema convencional, com o mesmo sistema de culturas.

Sales et al. (2016) constataram o aumento da qualidade dos atributos físicos do solo ao manejar o sistema sob plantio direto, comparativamente ao preparo convencional no semiárido brasileiro. Neste caso, os valores encontrados referentes a agregação do solo foram equivalentes às condições observadas na mata nativa, e superiores ao preparo convencional, comprovando a efetividade e as vantagens do sistema de plantio. Novamente, observou-se um aumento considerável no teor de COS, o que contribuí para a otimização de outros atributos, como a capacidade de retenção de água no solo e a disponibilização de nutrientes para as culturas.

2.2 PLANTAS DE COBERTURA DE INVERNO

No Sul do Brasil, apenas uma pequena porção das áreas cultivadas com culturas de verão são manejadas durante o inverno (ANTUNES, 2015). Desse modo, há a manutenção de um sistema que contribui para a intensificação dos processos de degradação do solo, uma vez que o pousio não garante o aporte necessário de matéria seca (MS) com qualidade, prejudicando as interações que ocorrem no conjunto solo-ambiente, e reduzindo drasticamente a concentração de elementos que são cruciais para o cultivo agrícola, como por exemplo, o carbono (AITA et al., 2001).

Entre as áreas que são manejadas durante o inverno no sul do Brasil, destaca-se o uso de gramíneas como a aveia branca, aveia preta (*Avena sativa* e *Avena strigosa*) e o azevém (*Lolium multiflorum*), pois tais espécies se destacam pela alta adaptabilidade ao clima da região, rusticidade, facilidade de manejo e baixa exigência nutricional. Além disso, são as forrageiras anuais mais utilizadas para o pastejo de animais em sistemas de integração lavoura-pecuária (PAZINATO et al., 2012).

A taxa de decomposição e disponibilização de nutrientes das culturas de cobertura de solo está diretamente relacionada com a relação C:N destas espécies, bem como a composição

de outros elementos estruturais como, por exemplo, a lignina, celulose e hemicelulose. No caso das gramíneas, que são espécies que possuem uma elevada relação C:N, a disponibilização dos nutrientes armazenados na fitomassa ocorre de forma lenta e gradual. Dessa forma, oferecendo uma excelente proteção física ao solo, mas uma lenta ciclagem de nutrientes, que pode não ser interessante do ponto de vista de fertilidade do solo e economia de insumos agrícolas (GIACOMINI et al., 2003).

Aita et al. (2001) destacam que o emprego de culturas de inverno de alta qualidade pode apresentar uma série de benefícios ao solo e à cultura subsequente. Em um trabalho desenvolvido pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde testou-se diferentes plantas de cobertura de inverno, com o respectivo aporte de nitrogênio promovido pelas mesmas, obteve-se destaque às culturas da família das leguminosas, principalmente ao tremoço azul (*Lupinus angustifolius*), que além de acumular os maiores teores de nitrogênio na parte aérea, em aproximadamente 30 dias após o fim do seu ciclo, 60 % deste elemento já havia sido mineralizado e disponibilizado ao solo.

Giacomini et al. (2003) concluíram através de trabalhos desenvolvidos em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, que uma alternativa viável que pode garantir o aporte físico de MS em cobertura ao solo, e uma ciclagem de nutrientes com um maior incremento de nitrogênio ao meio é o consórcio entre espécies gramíneas e leguminosas, sendo neste caso a aveia preta e a ervilhaca comum (*Vicia craca*).

O uso da ervilhaca ou do trevo vermelho (*Trifolium pratense*), que são espécies leguminosas com baixa relação C:N com a aveia pode ser uma junção, que nas proporções ideais, promova a manutenção das condições nutricionais do solo, uma vez que são as condições necessárias para a consolidação de um sistema de rotação de culturas que favoreça o incremento de carbono e contribua tanto para o aumento da qualidade química – biológica do solo, quanto para a redução de emissão de GEE para a atmosfera (GIACOMINI et al., 2003).

Na família das brassicas têm-se o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) como principal representante, uma espécie que também é vista como uma alternativa de sucesso quando objetiva-se promover a ciclagem de nutrientes, uma vez que a baixa relação C:N e a elevada capacidade de desenvolvimento do sistema radicular são características de interesse que podem beneficiar o sistema quanto ao incremento de carbono. Quando usada como cobertura de solo, a velocidade de decomposição da palhada pode ser comparada à ervilhaca (CRUSCIOL et al., 2005).

Outra opção de cultivo que em muitos casos é empregada como cultura de rotação com o trigo no sul do Brasil é a canola (*Brassica napus*). Esta espécie caracteriza-se por ser uma oleaginosa com elevados teores de proteína bruta, que também é uma alternativa potencial para o uso como adubação verde, a fim de promover o incremento de nutrientes ao sistema, gerando maior acúmulo de MS e conseqüentemente incremento de carbono pela cultura subseqüente (SANTOS; TOMM; BAIER, 2001).

Todavia, deve-se estar atento à possibilidade de ocorrência de danos ao desenvolvimento da cultura subseqüente em função do efeito alelopático causado pela decomposição dos restos vegetais da canola. Tal situação foi observada por Silva et al. (2011) em um trabalho desenvolvido no estado do Rio Grande do Sul, onde testou-se diferentes intervalos entre o fim do ciclo da canola e a semeadura da soja. Neste caso, estabeleceu-se um intervalo mínimo de 20 dias para que os compostos liberados pelo resíduo da canola não causassem efeito à soja.

2.3 DINÂMICA DO CARBONO NO ECOSISTEMA

2.3.1 Solo

Segundo Costa (2005), a dinâmica do carbono no solo é tratada como um aspecto que está diretamente relacionado a fatores bióticos e abióticos, partindo desde o sistema de manejo do solo, plantio direto ou preparo convencional, até características físico-químicas do mesmo, como a mineralogia, textura, porosidade, densidade, capacidade de retenção de água, predominância da fração mineral, capacidade de troca de cátions (CTC) e estrutura dos agregados.

Os fatores abióticos são os condicionantes que determinam e garantem as condições necessárias para a ação dos microrganismos sobre a MOS. Neste sentido, as características do solo atuam concomitantemente aos demais fatores ambientais, favorecendo ou não as condições ideais para o acúmulo de carbono (REINERT; REICHERT, 2006).

A textura e a mineralogia do solo se sobressaem entre os demais atributos como elementos de maior interferência sobre a dinâmica do carbono no solo. Naturalmente, solos que possuem um maior teor de argila possuem maior capacidade de promover a estabilização do carbono, e conseqüentemente garantir o aumento do seu estoque. Tal condição foi observada por Bayer et al. (2006) em estudos conduzidos no cerrado brasileiro, onde solos

que continham um teor de argila superior apresentaram um maior estoque de carbono, informação similar ao descrito por Lal (2006), onde afirma a relação entre o estoque de carbono e a textura do solo, onde afirma que solos arenosos tendem a apresentar maiores taxas de perda de carbono, fato que se dá pela menor agregação das partículas e a menor atividade dessa fração.

Além das condições físicas já citadas, outros elementos da paisagem também interferem, como a própria disposição do terreno no qual o solo em questão se encontra. Uma vez que a declividade é um fator chave que impacta na perda física do solo através dos processos erosivos, que indiretamente promovem a perda de carbono das camadas superficiais e subsuperficiais quando se encontram em um estágio avançado (ROMERO, 2009).

2.3.2 Resíduos vegetais

Em solos cultivados, a adição e o manejo de resíduos orgânicos, tanto de origem vegetal como animal, é vista como um dos principais fatores que determinam a dinâmica do carbono no solo. A contínua adição de resíduos vegetais de qualidade atrelada às técnicas de manejo ideais tende a promover o aumento ou a manutenção do teor de carbono, variando em função das características do solo e do clima (COSTA, 2005).

A composição química do resíduo, sendo esta representada principalmente pela relação C:N, é um dos aspectos que interferem diretamente na velocidade de decomposição, mineralização ou imobilização do N presente no solo. Trabalhos conduzidos por Maluf et al. (2015) mostram que a velocidade de decomposição é regulada pelo teor de N presente nos tecidos e, além disso, a mineralização dos nutrientes é inversamente proporcional à sua relação com o elemento C. Desse modo, resíduos que possuem uma maior relação C:N, por exemplo, tendem a persistir por um maior período sobre a superfície do solo, o que pode promover a imobilização do N.

Além da composição do resíduo vegetal, que envolve as características morfofisiológicas como o teor de lignificação, teor de nitrogênio e a relação C:N, por exemplo, o manejo aplicado sobre os resíduos (aração e gradagem) acaba por impactar nas interações do mesmo com a microbiota do solo, potencializando ou não os processos de decomposição, e a liberação dos nutrientes (CARVALHO et al., 2008).

De modo geral, a adição de um resíduo com características superiores nas condições ótimas de desenvolvimento tende a gerar ganhos no sistema. Pois ao aumentar a qualidade

nutricional do solo, naturalmente têm-se uma maior produtividade de MS pela cultura subsequente e, desse modo, há o maior aporte de MO, o que coopera para o aumento do estoque de carbono (MALUF et al., 2015).

Carvalho et al. (2008) destacam que a quantidade e a qualidade do resíduo adicionados ao sistema proporcionam consequências evidentes, que além de promover a melhoria da qualidade do sistema podem trazer redução de custos ao produtor rural. A quantidade mínima de resíduos que deve ser adicionada anualmente ao solo para a manutenção do teor de C é variável de acordo com os atributos físicos do solo, e as condições ambientais (temperatura e pluviosidade). Em um trabalho conduzido por Ferreira et al. (2012) na cidade de Ponta Grossa – PR (clima subtropical), em um Latossolo Vermelho de textura franco-argilosa, estabeleceu-se que é necessária a adição de ao menos 7,13 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS, apenas para garantir a manutenção dos teores iniciais de C. Observa-se que a medida que se avança para regiões tropicais, este valor tende a aumentar expressivamente.

2.3.3 Clima

A forma mais expressiva de perda do carbono de solos cultivados se dá através da mineralização deste elemento, um processo aeróbico fomentado por microrganismos, que utilizam o carbono como fonte de energia e liberam na forma de CO₂. Por sua vez, a intensidade da atividade microbiana está diretamente relacionada com as condições ambientais do local, onde as variações estacionais de temperatura, a umidade do solo, sendo esta alterada em função da precipitação pluviométrica, interferem no fluxo de CO₂ para a atmosfera (COSTA, 2005; IPCC, 2001).

Em condições climáticas predominantemente tropicais, as elevadas temperaturas e a alta umidade são elementos que favorecem o aumento na taxa de decomposição da MO no solo, o que reduz consideravelmente o estoque de carbono, em relação às regiões de clima temperado. Já em condições temperadas, a atividade microbiológica tende a ser menor, e consequentemente a taxa de decomposição da MO é reduzida, o que possibilita o maior incremento nos teores de COS. Bayer et al. (2006) reportaram uma taxa de sequestro anual de carbono de 0,30 a 0,60 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ em solos do cerrado brasileiro com textura média e argilosa, respectivamente, ambos sob a sucessão de soja/milho. Franzluebbbers et al. (2001) ao avaliar a taxa de sequestro de carbono sobre condições climáticas temperadas nos EUA,

encontrou proporções de até $1,42 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, evidenciando o efeito do elemento ambiental sobre o comportamento do carbono no solo.

Tendo em vista a ação ambiental exercida sobre a atividade microbiana e conseqüentemente sobre o COS, uma vez que estas condições de temperatura, umidade e fonte de nutrientes para os microrganismos sejam específicas de cada região e solo, torna-se difícil estabelecer um sistema de manejo padrão com a sucessão/rotação de culturas ideais. Neste sentido, destaca-se a relevância das práticas de manejo adequadas e do estudo de caso dentro de cada região em específico (COSTA, 2005).

Neste contexto, adotar um sistema conservacionista sem abrir mão da produtividade é de fundamental importância para garantir o sequestro de carbono e o aumento da qualidade do solo. Desse modo, o entendimento das interações que ocorrem em decorrência do manejo agrícola adotado sobre os fatores químicos, físicos e biológicos do solo são os pré-requisitos básicos para a determinação de práticas que priorizem o aumento do estoque de carbono no solo (COSTA, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado no ano de 2013, na fazenda experimental Agropecuária da Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos - SC, situada a uma latitude 27°16'24.12" S e a uma longitude de 50°30'11.80" W, com uma altitude média de 990 metros. O solo na fazenda experimental é classificado, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos, como Cambissolo Háplico típico (SANTOS et al., 2013), de textura argilosa (550 g kg⁻¹ de argila). O clima, de acordo com Köppen-Geiger, é classificado como Cfb temperado, tendo a temperatura média de 15°C, e uma precipitação média anual de 1500 mm.

No período antecessor a instalação do experimento, a área em questão era utilizada em um sistema de manejo convencional, sendo que entre 2009 e 2011 era cultivada com culturas anuais no inverno, o qual era efetuado o pastejo por animais, e pousio durante o verão. A partir de 2012, a área passou a ser utilizada com o cultivo de aveia no inverno e milho no verão, através do sistema de manejo de plantio direto. Antes da implantação do experimento, foi efetuada uma amostragem com posterior análise de solo na camada de 0-0,20 m, para a caracterização das características químicas, descritas na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo na camada de 0 - 0,20 m, antes da implantação do experimento.

Profundidade	MO ⁽¹⁾	pH	P ⁽²⁾	K ⁺⁽²⁾	Ca ⁺²⁽³⁾	Mg ⁺²⁽³⁾	Al ⁺³⁽³⁾	V	m
m	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----			-----%-----		
0 - 20	44,23	6,3	10,7	0,10	8,35	4,11	00	79,8	00

MO = Matéria orgânica; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio. ⁽¹⁾ Combustão úmida; ⁽²⁾ Mehlich-1. ⁽³⁾ KCl 1 mol L⁻¹; pH medido em solução de CaCl₂.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com 9 tratamentos e 4 repetições. O experimento foi constituído por 36 parcelas experimentais, cada uma com as dimensões de 4x4 m (16 m²), abrangendo uma área total de 576 m². Os tratamentos avaliados foram 7 plantas de cobertura: aveia branca (*Avena sativa*), aveia preta (*Avena strigosa*), azevém (*Lolium multiflorum*), canola (*Brassica napus*), ervilhaca (*Vicia craca*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e trevo vermelho (*Trifolium pratense*), o consórcio entre aveia preta e ervilhaca, e o tratamento em pousio.

Na safra de verão a cultura implantada em todos os anos foi o milho, sobre as parcelas com os resíduos das diferentes plantas de cobertura. Em ambos os cultivos, inverno e verão, foi mantido o sistema de plantio direto.

Na semeadura das culturas de inverno, que ocorreu na primeira quinzena do mês de maio de cada ano, foi realizada a adubação de P e K com 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado 00-18-18, e após a germinação de 50 % da parcela, foi efetuada a aplicação de 30 kg ha⁻¹ de nitrogênio, utilizando como fonte a ureia (45 % N). A densidade de semeadura de cada tratamento compreendeu os seguintes valores: 80 kg ha⁻¹ de aveia branca, 7 kg ha⁻¹ de canola, 50 kg ha⁻¹ de azevém, 12 kg ha⁻¹ de trevo vermelho, 80 kg ha⁻¹ de aveia preta, 12 kg ha⁻¹ de nabo forrageiro, 30 kg ha⁻¹ ervilhaca e consórcio, com 60 kg ha⁻¹ de aveia preta e 20 kg ha⁻¹ de ervilhaca.

A semeadura do milho foi realizada utilizando um híbrido recomendado para a região com elevada tecnologia e alta capacidade produtiva. A adubação de P e K foi realizada com 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado 00-18-18, segundo as exigências para a cultura definidas após a realização da análise do solo. Vale ressaltar que não foi aplicado nitrogênio, uma vez que buscou-se avaliar a disponibilidade desse nutriente pelas plantas de cobertura através do desenvolvimento da cultura do milho no verão. A densidade de semeadura foi de 3 sementes por metro linear, num espaçamento entrelinhas de 45 cm. Os tratos culturais para as culturas foram efetuados conforme as recomendações técnicas para a região.

A amostragem do solo para a determinação do estoque de carbono foi realizada 4 anos após a implantação do experimento, em março de 2017, sendo uma amostra por parcela, durante a entressafra do milho e as plantas de cobertura de inverno. As coletas compreenderam as profundidades de 0 – 0,05, 0,05 - 0,10, 0,10 - 0,20, 0,20 - 0,30, 0,30 - 0,45 e 0,45 - 0,60 m.

Até a profundidade de 0,30 m, as coletas foram realizadas com o auxílio de chapas metálicas e espátulas, em uma trincheira delimitada por um gabarito de metal, com as dimensões de 0,25 x 0,50 m. As demais profundidades, 0,30 a 0,60 m, foram amostradas com o auxílio de um trado de rosca, onde foram realizadas duas perfurações delimitadas por tubos cilíndricos de metal que possuem um diâmetro de 21 cm, conforme a metodologia descrita por Blake e Hartge (1986).

Todas as camadas amostradas foram pesadas para que a densidade pudesse ser determinada, e uma subamostra de aproximadamente 800 g foi identificada e separada para a determinação do carbono em laboratório. Em cada camada, foi realizada a correção da

umidade, sendo que esta foi determinada através da secagem de uma alíquota com aproximadamente 80 g, que foi separada da subamostra, e mantida na estufa durante 48 horas a 105°C. As subamostras coletadas foram secas ao ar, e então passadas em peneira de 2 mm. A amostra foi moída em gral de porcelana, até passar em peneira de 250 µm, e então armazenada em sacos plásticos com aba adesiva, para posterior análise em laboratório. Para a determinação da concentração de carbono orgânico foi utilizado o método da combustão úmida descrito por Walkley e Black (1934), adaptado por Tedesco et al. (1995).

Para quantificar o estoque de COS, utilizou-se a equação descrita abaixo (1), adaptada por Sisti et al. (2004), em que o procedimento se baseia na massa equivalente do solo, corrigindo o efeito diferenciado que os tratamentos podem ter em relação ao tratamento controle (pousio), sobre a densidade do solo em cada camada amostrada.

$$C = \sum_{i=1}^{n-1} C_i + \left[M_n - \left(\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n M_{Ri} \right) \right] \cdot \left[\frac{C_n}{M_n} \right] \quad (1)$$

Na Equação 1, onde todas as variáveis são expressas em Mg ha⁻¹,

$\sum_{i=1}^{n-1} C_i$ é a soma do estoque de C da primeira até a penúltima camada;

M_n é a massa de solo na camada mais profunda;

$\sum_{i=1}^n M_i$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda;

$\sum_{i=1}^n M_{Ri}$ é a soma da massa de solo da primeira até a camada mais profunda, no tratamento referência;

C_n é o estoque de C na camada mais profunda.

Para determinação da taxa de sequestro de carbono utilizou-se o pousio como tratamento referência e base para cálculo, conforme a equação (2).

$$\text{Taxa de sequestro} = \frac{(\text{COS}_{\text{tratamento x}}) - (\text{COS}_{\text{pousio}})}{\text{Tempo}_{\text{anos}}} \quad (2)$$

Taxa de sequestro é expressa em Mg ha⁻¹ ano⁻¹;

COS_{pousio} é o estoque de carbono orgânico total (COT) do tratamento pousio expresso em Mg ha⁻¹;

$COS_{\text{tratamento } x}$ é o estoque de COT dos demais tratamentos expresso em $Mg\ ha^{-1}$ e;

$Tempo_{\text{anos}}$ é o período de experimentação considerado para efeito de cálculo, sendo 4 anos.

Os resultados obtidos a partir das avaliações foram submetidos à análise da variância, a fim de verificar diferenças significativas entre os tratamentos. Para a comparação entre as médias dos tratamentos foi realizado o teste de Scott-Knott a 5 % de significância, através do programa estatístico Rstudio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração média de carbono variou de 13,59 a 17,29 g kg⁻¹ para as camadas superficiais (0 - 0,10 m) e de 8,53 a 11,59 g kg⁻¹ para as camadas subsuperficiais (0,3 - 0,6 m) (Tabela 2). Ao longo do perfil do solo, observou-se a formação de um gradiente decrescente quanto a concentração de carbono orgânico para as camadas amostradas. Foram encontradas variações significativas (*p*-valor < 05) para a concentração de carbono somente nas camadas 0,30 - 0,45 m e 0,45 - 0,60 m, onde o trevo apresentou concentrações inferiores aos demais tratamentos avaliados para a camada de 0,3 – 0,45 m, e para a camada de 0,45 – 0,60 m a ervilhaca e a aveia preta foram superiores aos demais tratamentos (Tabela 2).

Santos et al. (2011) ao avaliar a concentração de carbono em um experimento de longa duração (17 anos) no estado do Paraná, encontraram valores bem superiores aos obtidos no presente trabalho. Nas camadas superficiais (0 – 0,05 m), a menor concentração encontrada foi para a sucessão entre trigo + soja, de 24 g kg⁻¹. Já a rotação bianual entre as culturas azevém + milho e azevém + soja foi a que promoveu os maiores incrementos, apresentando uma concentração de aproximadamente 30 g kg⁻¹ para esta mesma camada. O longo período de experimentação é uma das variáveis que justificam a discrepância entre os dados obtidos, já que por tratar-se de carbono, a dinâmica deste elemento no solo é extremamente lenta e fortemente influenciada pelas variáveis ambientais. Outro fator de influência, é o próprio contexto climático no qual o experimento está inserido, bem como os tratamentos e as condições de cultivo, como o tipo de solo em questão.

Os teores de MO encontrados inicialmente no solo, bem como a proporção de argila, também são elementos que estão diretamente relacionados com a capacidade de promover o incremento estoque de carbono. Solos que naturalmente possuem um teor elevado de MO e argila, geralmente demandam um maior período para que alterações significativas possam ser observadas, sendo as condições encontradas no presente trabalho, o que pode limitar a constatação de resultados em curto prazo. Em situações onde o solo apresenta capacidade de suporte (argiloso), e os teores iniciais de MO são baixos, normalmente há uma maior responsividade do sistema frente ao manejo aplicado, podendo apresentar resultados significativos em um menor período de tempo.

Tabela 2. Concentração de carbono orgânico (g kg^{-1}) até 0,6 m de profundidade, em Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. Curitiba, SC.

Camada (m)	Pousio	Nabo	Ervilhaca	Aveia preta	Canola	Consórcio	Aveia branca	Azevém	Trevo vermelho	Densidade média g cm^{-3}	CV %
0 – 0,05 ^{ns}	16,88	17,04	17,29	15,55	16,56	16,93	15,73	16,29	15,75	1,08	7,33
0,05 - 0,10 ^{ns}	15,38	13,59	15,07	13,86	13,82	14,78	14,71	14,29	14,05	1,4	7,98
0,10 - 0,20 ^{ns}	14,63	12,75	13,93	12,95	13,85	13,89	12,7	13,81	13,84	1,47	6,25
0,20 - 0,30 ^{ns}	12,9	11,92	11,57	12,76	12,15	12,78	12,33	12,27	13,4	1,46	8,63
0,30 - 0,45*	11,18 a	10,91 a	11,29 a	11,28 a	11,68 a	10,66 a	11,73 a	11,15 a	103 b	1,34	5,41
0,45 - 0,60**	10,22 b	109 b	11,59 a	10,94 a	10,19 b	9,02 b	9,91 b	10,10 b	8,53 b	1,38	8,86

Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de significância. ns: não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1 % de probabilidade.

Em estudos conduzidos por Assmann et al. (2014) sob sistema de integração lavoura-pecuária no estado do Rio Grande do Sul, os valores máximos para a concentração de carbono encontrados nas camadas superficiais foram de até 39 g kg^{-1} , sendo obtidos nas condições de altura residual de pastejo de 0,3 m, e após 9 anos de experimentação em um solo de textura argilosa. Assim como, Santos et al. (2011) citam a influência das condições ambientais e de manejo das culturas, bem como o tempo de experimentação, fatores que são decisivos e exercem grande influência sobre as variáveis analisadas.

A observação de menores concentrações de C para a camada de 0,3 – 0,45 m com a cultura do trevo, por ser justificada pela menor adição de resíduo promovida pela cultura ao longo da condução do experimento (dados não apresentados). Somado a isso, cita-se também a menor agressividade do sistema radicular da cultura, que não apresenta um expressivo desenvolvimento em maiores profundidades. Para a camada de 0,45 – 0,60 m, a maior concentração de C observada para a cultura da aveia preta e a ervilhaca neste caso pode estar relacionada a maior capacidade de desenvolvimento do sistema radicular, mas também à maior quantidade de resíduo adicionada, além da maior qualidade no caso da ervilhaca.

O estoque de carbono na camada de 0 – 0,6 m foi significativo entre os tratamentos testados, apresentando valores que ficaram entre 96,17 a 107,80 Mg ha^{-1} (Tabela 3). Os tratamentos que envolveram o uso da ervilhaca e aveia preta no sistema tiveram destaque sobre as demais plantas avaliadas, apresentando-se como as melhores opções de cultivo para a condição de desenvolvimento do projeto, já que foram significativamente superiores para as camadas de 0,45 - 0,6 m, e para o estoque em 0 - 0,60 m. Para as demais camadas avaliadas, o estoque de carbono não foi significativo (Tabela 2).

Tabela 3. Estoque de carbono orgânico (Mg ha⁻¹) até 0,6 m de profundidade, em um Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. Curitiba, SC.

Camada (m)	Pousio	Nabo	Ervilhaca	Aveia preta	Canola	Consórcio	Aveia branca	Azevém	Trevo vermelho	CV %
0 – 0,05 ^{ns}	8,5	8,86	9,5	8,1	8,63	8,82	8,19	8,48	8,21	7,04
0,05 - 0,10 ^{ns}	10,71	9,88	11,36	9,98	9,87	10,61	10,56	10,17	10,5	7,81
0,10 - 0,20 ^{ns}	21,22	20,8	21,15	19,12	19,52	20,4	19,24	21,06	20,35	5,48
0,20 - 0,30 ^{ns}	18,03	17,45	17,93	18,83	18,73	19,19	18,08	18,3	19,68	6,6
0,30 - 0,45 ^{ns}	21,13	22,06	23,76	22,74	23,47	22,91	23,79	22,34	19,79	7,7
0,45 - 0,60 ^{**}	205 b	21,14 b	24,63 a	24,00 a	20,74 b	19,57 b	20,67 b	20,78 b	19,15 b	9,45
0 - 0,20 ^{ns}	41,36	37,68	41,48	37,21	38,92	39,83	37,4	39,1	38,62	5,41
0 - 0,60 [*]	101,90 b	101,79 b	107,80 a	105,16 a	97,33 b	101,5 b	99,94 b	100,14 b	96,17 b	4,25

Letras iguais na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de significância. ns: não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1 % de probabilidade.

O cultivo da ervilhaca em sucessão a cultura do milho possibilitou um incremento de 5,78 % no estoque de carbono acumulado (0 - 0,6 m), e cerca de 22,8 % para a camada de 0,45 - 0,6 m, quando comparado ao pousio. Tais resultados são inferiores aos observados por Calegari et al. (2008), onde em um trabalho conduzido durante 19 anos no estado do Paraná, a rotação estabelecida com a cultura da ervilhaca possibilitou um incremento de aproximadamente 10,49% no estoque de carbono orgânico em relação ao pousio, para a camada de 0 - 0,4 m. Além disso, o uso da ervilhaca no sistema promoveu um acúmulo de 109,11 Mg ha⁻¹ de carbono até 0,4 m. Neste caso, o fator tempo pode ser atribuído como responsável por tais diferenças, já que o trabalho citado apresenta cerca de 15 anos a mais de condução que o presente estudo, além de o solo no referido trabalho apresentar uma textura muito argilosa.

Gonçalves e Ceretta (1999) encontraram respostas semelhantes aos observados no presente estudo, onde ao avaliar o estoque de carbono sob a sucessão de diferentes plantas de cobertura no inverno e milho no verão no estado do Rio Grande do Sul, constataram que a presença de leguminosas no sistema como o tremoço azul e a ervilhaca, foram as culturas que propiciaram o maior estoque de carbono após um período de experimentação de 6 anos, corroborando com os dados apresentados. Tal condição pode ser explicada em parte pela baixa relação C:N destas culturas, segundo Moreira e Siqueira (2002), entre os diferentes elementos que determinam a taxa de decomposição dos resíduos vegetais bem como a capacidade de ciclagem dos nutrientes, o teor de nitrogênio presente nos tecidos exerce grande influência, sendo um fator de extrema relevância.

O cultivo da aveia preta no sistema também apresentou resultados positivos, igualando-se a ervilhaca e sendo significativamente superior para a camada de 0,45 - 0,60 m e para o estoque acumulado de 0 - 0,60 m. A aveia preta possibilitou um incremento no estoque de carbono orgânico de 3,10 % para a camada de 0 - 0,6 m e cerca de 19,7 % para a camada 0,45 - 0,60 m, em relação ao pousio. Calegari et al. (2008) reportaram um estoque de 113,02 Mg ha⁻¹ (0 - 0,40 m) ao utilizar a cultura da aveia preta no sistema. Já Albuquerque et al. (2015) relataram um estoque de 128,3 Mg ha⁻¹ (0 - 0,60 m) após 21 anos de condução de um trabalho, sobre um sistema de rotação de culturas envolvendo a aveia preta, milho, trigo e soja.

O elevado estoque de carbono propiciado pela aveia preta pode ser atribuído à alta produtividade de MS gerada pela cultura em comparação aos demais tratamentos, que na média dos anos agrícolas foi de 3,12 Mg ha⁻¹, enquanto que o trevo, por exemplo, produziu

em média 1,69 Mg ha⁻¹. Naturalmente, tal condição garantiu o aporte de maior quantidade de MO ao solo, promovendo assim o aumento do estoque de carbono orgânico ao longo do perfil. Ceretta et al. (2002) ao avaliar a resposta da cultura da aveia preta em função da adubação nitrogenada, constatou uma produtividade de aproximadamente 3 Mg ha⁻¹ de MS, mesmo sem o uso do fertilizante. Embora a cultura seja altamente responsiva à adubação nitrogenada, observa-se uma certa rusticidade e adaptação da cultura frente às condições de manejo onde não há recursos tecnológicos e o uso de fertilizantes não é uma prática comum.

Entre as camadas superficiais, não foi observado diferença significativa para os tratamentos avaliados. Tal fato pode ser atribuído parcialmente à elevada fertilidade natural do solo em questão, bem como o alto teor de MO (Tabela 1). Naturalmente, quando um solo encontrado em condições de degradação avançada é submetido à um processo de recuperação, as alterações iniciais são notáveis e podem ser detectadas com maior rapidez. Todavia, tal condição não é observada em sistemas onde o solo já se encontra em uma situação com altos níveis de fertilidade e MO, como no presente estudo. Schimel et al. (1994) citam que o tempo médio de residência para a MOS nas camadas superficiais de uma região tropical pode variar de 14 anos a décadas, tal condição pode ser estendida mais em regiões subtropicais e perdurarem ainda mais em condições de clima temperado, como o local de desenvolvimento do presente trabalho, o que justifica a não observação de variações consideráveis nas camadas superficiais.

Partindo deste pressuposto, o elemento tempo passa a ser decisivo e um dos principais agentes impactantes sobre a dinâmica do carbono no solo. Trabalhos conduzidos por Salton et al. (2011), Steiner et al. (2012) e Albuquerque et al. (2015) caracterizam-se por serem trabalhos de longo tempo de experimentação, com 11, 18 e 21 anos, respectivamente. Mesmo nestas condições, muitas vezes não são observadas diferenças significativas frente algumas abordagens avaliadas.

Para o nabo, a canola e o trevo, observou-se certa dificuldade no estabelecimento e desenvolvimento das culturas de inverno testadas no local, fato que refletiu em menores produtividades de massa seca para algumas safras (dados não apresentados), limitando assim a expressividade do máximo potencial destas culturas, que morfológicamente possuem características de interesse, como a elevada qualidade de MS e alta capacidade de ciclagem de nutrientes. Calegari et al. (2008) ao utilizar a cultura do nabo como planta de cobertura em um sistema de rotação com soja e milho, encontraram um estoque de 112,75 Mg ha⁻¹ para a

camada de 0 - 0,40 m, fato que comprova a efetividade desta cultura como potencial contribuinte para a conservação do solo e para o aumento do estoque de carbono.

Avaliando a taxa de sequestro de carbono, não houve diferença significativa entre os tratamentos para a camada de 0 - 0,20 m, e somente a ervilhaca promoveu o sequestro de carbono, à uma proporção de 03 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Figura 1). Os demais tratamentos não se mostraram eficientes, apresentando uma taxa de perda de até -1,19 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo este referente à aveia preta. Para a camada 0 - 0,6 m, assim como para o estoque acumulado de COT a ervilhaca e a aveia preta foram significativamente superiores aos demais tratamentos testados, sendo as únicas que apresentaram taxas de sequestro positivas de 1,68 e 0,93 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Os demais tratamentos apresentaram taxas de sequestro negativas (perda) que variaram de -0,3 à -1,64 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, referindo-se ao nabo e ao trevo, respectivamente.

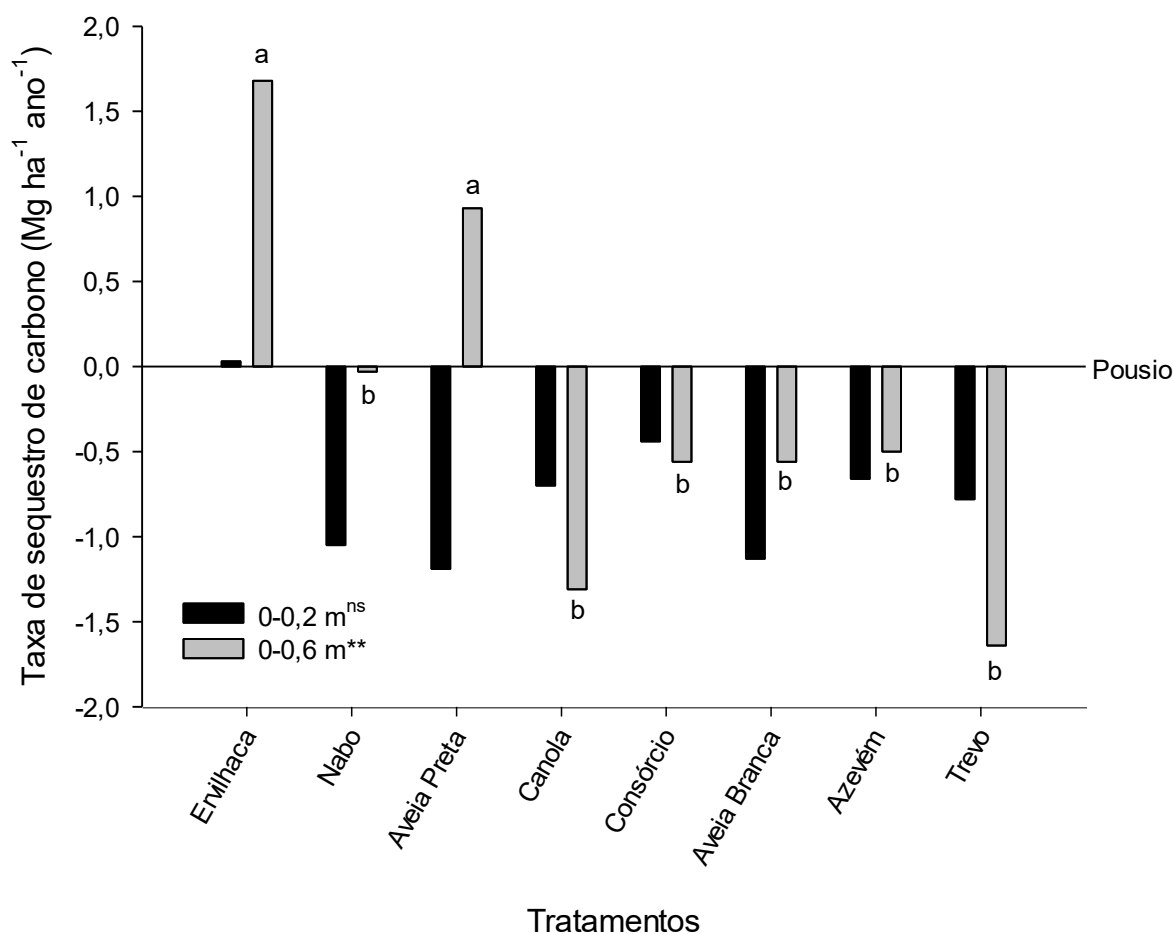


Figura 1. Taxa de sequestro de carbono para a camada de 0 - 0,2 e 0 - 0,6 m, em um Cambissolo Háplico cultivado por 4 anos com plantas de cobertura de inverno, pousio e

consórcio em sucessão ao milho em sistema de plantio direto. ns: não significativo. *Significativo a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1 % de probabilidade. Curitiba, SC

Corazza et al. (1999) encontraram uma taxa de sequestro de $1,43 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ em um estudo conduzido sob sistema de plantio direto durante 15 anos no cerrado brasileiro, valores relativamente próximos aos encontrados no presente trabalho. Tal condição foi observada na profundidade de 0 - 1,0 m, e destaca-se como um dado de relevância, principalmente pelo fato do trabalho ter sido desenvolvido em um local onde as características ambientais tropicais predominam, condições estas que geralmente tendem a limitar a taxa de sequestro de carbono à números inferiores. Santos et al. (2011) ao avaliar diferentes sistemas de manejo e rotação de culturas sob um clima subtropical, encontraram uma taxa de sequestro de aproximadamente $0,45 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ para a sucessão entre alfafa e milho na camada de 0 - 0,2 m. Franzluebbbers et al. (2001) ao avaliar a taxa de sequestro de carbono sobre diferentes intensidades de pastejo na Georgia – EUA, local de clima temperado, encontraram valores de até $1,2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

O comportamento observado para as culturas da aveia preta e a ervilhaca ao longo do perfil são expressados de forma clara ao avaliar a taxa de sequestro, que contrasta a taxa observada para o estoque de 0 – 0,2 e 0 – 0,6 m. Como já apresentado anteriormente, supõe-se que estas culturas garantiram uma participação expressiva no incremento de carbono via sistema radicular, ao passo que a cultura do trevo, por exemplo, teve efeito oposto, apresentando a maior taxa de perdas para a camada de 0 – 0,6 m.

Huang et al. (2018) destacam em seus estudos que o estabelecimento de um sistema de manejo que possibilite o sequestro de carbono no solo é extremamente importante, mas deve ser avaliado de forma específica em cada porção do globo terrestre, já que existe uma forte influência de uma série de elementos ambientais que interferem e determinam o processo, além do elemento social que deve ser observado em cada situação específica, a fim de almejar o manejo que seja adequado para cada situação.

Promover a recuperação e a conservação de solos que se encontram em algum estágio de degradação é um dos grandes desafios que são encontrados rotineiramente no campo de trabalho e, muito além de apenas promover a recuperação de solos e áreas degradadas, há a demanda por produzir alimentos. Estabelecer um plano de manejo que seja capaz de promover o sequestro de carbono no solo é uma alternativa, já que a presença do carbono é uma forma de estimar a qualidade de manejo o qual está sendo aplicado à

determinado sistema, além dos efeitos benéficos que são obtidos indiretamente através do aumento da qualidade do solo, redução do risco de erosão, diminuição da contaminação de corpos d'água, e principalmente através da mitigação da emissão dos GEE.

5 CONCLUSÃO

O uso da área em pousio, trevo, azevém, canola, nabo e consórcio durante a fase de inverno não se mostrou como uma opção interessante, pois não promoveu incremento de carbono orgânico no solo.

O uso do solo no período de inverno com o cultivo de aveia preta ou ervilhaca como plantas de cobertura foi mais efetivo no sequestro de C, com taxas de acúmulo de 3,10 % e 5,78 %, respectivamente, em relação ao pousio para a camada de 0 a 0,60 m.

Devido a baixa produção de MS, as demais plantas de cobertura foram ineficientes no sequestro de C, resultando em perdas de até 10,78 % no COS.

REFERÊNCIAS

AITA, C. et al. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L] v. 25, n. 1, p. 157 – 165, 2001. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/1802/180218347018/>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

ALBUQUERQUE, M. A. **Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases de efeito estufa em Latossolo vermelho sob sistemas de culturas em plantio direto**. 2012, 106 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ALBUQUERQUE, M. A. et al. Carbon and nitrogen in a Ferralsol under zero-tillage rotations based on cover, cash or hay crops. **Soil Use and Management**, [S.L], v. 31, p. 1-9, 2015.

ANTUNES, J. Motivos para cultivar trigo na Região Sul do Brasil. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2691683/motivos-para-cultivar-trigo-na-regiao-sul-do-brasil>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

ASSMANN, J. M. et al. Soil carbon and nitrogen stocks and fractions in a long-term integrated crop–livestock system under no-tillage in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S.L], v. 190, p. 52 – 59, 2014.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, [S.L], 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 and Tillage Research**, [S.L], v. 54, p. 101 - 109, 2000.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density in: **Methods of Soil Analysis. Physical and Mineralogical Methods**. Ed. Madison. 2 ed. Madison, p. 363- 382, 1986. Disponível em: <http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003891_I.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

BORTOLINI, C. G. et al. Sistemas de aplicação de nitrogênio e seus efeitos sobre o acúmulo de N na planta de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 361-366, 2002.

CALEGARI, A. et al. Impact of Long-Term No-Tillage and Cropping System Management on Soil Organic Carbon in an Oxisol: A Model for Sustainability. **Agronomy Journal**, [S.L], v. 100, n. 4, p. 1013- 1019, 2008. Disponível em: <

http://my2.ewb.ca/site_media/static/attachments/group_topics_group/topic/45610/Agronomy%20-%20No-Tillage%20farming.pdf>. Acesso em: 31 ago 2018.

CARVALHO JUNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v. 22, n. 3, p. 505-514, 1998. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/html/1802/180218325010/>>. Acesso em: 5 set. 2017.

CARVALHO, A. M. et al. Decomposição de resíduos vegetais em Latossolo sob cultivo de milho e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L], v. 32, p. 2831 – 2838, 2008. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32nspe/29.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

CERETTA, C. A. et al. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L], v. 26, p. 163 – 171, 2002. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n1/17.pdf>>. Acesso em 28 ago 2018.

CORAZZA, E. J. et al. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação a vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L], v. 23, p. 425 – 432, 1999.

COSTA, F. S. et al. Propriedade físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 527 – 535, 2003. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000300014>. Acesso em: 03 set. 2017.

COSTA, S. F. **Estoques de Carbono Orgânico e Efluxos de Dióxido de Carbono e Metano de Solos em Preparo Convencional e Plantio Direto no Subtrópico Brasileiro**. 2005, 145 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 161 – 168, 2005. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/10190/S0100-204X2005000200009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 set. 2017.

DAVIDSON, E. A.; JANSSENS, I. A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, [S.L], v. 440, p. 165-173, 2006. Disponível em: <<https://sci-hub.tw/10.1038/nature04514>>. Acesso em: 31 ago 2018.

FAO. **Soil Organic Carbon the Hidden Potential**. Rome, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6937e.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2018.

FAO. **Status of the world's soil resources: main report**. 1 ed. Rome, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

FERREIRA, A. O. et al. Carbon balance and crop residue management in dynamic equilibrium under a no-till system in Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, [S. L], v. 36, p. 1583 – 1590, 2012.

FRANZLUEBBERS, A. J.; STUEDEMANN, J. A.; WILKINSON, S. R. Bermudagrass Management in the Southern Piedmont USA: I. Soil and Surface Residue Carbon and Sulfur. **Soil Science Society of America Journal**, [S. L], v. 65, p. 834 – 841, 2001. Disponível em: <<https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=25988&content=PDF>>. Acesso em: 31 ago 2018.

GIACOMINI, S. J. et al. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de planta de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 325 – 334, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200012>. Acesso em: 25 ago. 2017.

GONÇALVES, C. N.; CERETTA, C. A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. L.], v. 23, p. 307 – 313, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/15.pdf>>. Acesso em: 31 ago 2018.

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**, [S.L], v. 25, n. 2, p. 331 – 340, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n2/10.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2017.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L], v. 23, n. 1, p. 145 – 154, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n1/18.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

HUANG, J et al. The location- and scale- specific correlation between temperature and soil carbon sequestration across the globe. **Science of the Total Environment**, [S.L], v. 615, p. 540-548, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717324853>>. Acesso em: 31 ago 2018.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2001: the scientific basis. United Kingdom: Cambridge University Press. p. 881, 2001. Disponível em: <<http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/IPPC,%202001.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

JANTALIA, C. P. et al. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. **Agronomia**, v. 37, n. 2, p. 91 – 97, 2003. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237805362_INFLUENCIA_DE_ROTACOES_DE_CULTURAS_NO_ESTOQUE_DE_CARBONO_E_NITROGENIO_DO_SOLO_SOB_PLANTIO_DIRETO_E_PREPARO_CONVENCIONAL>. Acesso em: 24 nov. 2018.

KLEIN, C.; AGNE, S. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S.L], v. 8, n. 8, p. 1713 – 1721, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/viewFile/6430/pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Implantação e Manejo do Sistema Plantio Direto. Passo Fundo, p. 36, 2000. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/84084/1/CNPT-DOCUMENTOS-20-IMPLANTACAO-E-MANEJO-DO-SISTEMA-PLANTIO-DIRETO-FL-13398.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, [S.L], v. 12, p. 303 – 322, 2006. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/227593261/download>>. Acesso em: 14 set 2018.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e do nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001, 232 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MALUF, H, J. G. M. et al. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solos com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L], v. 39, n. 6, p. 1681 – 1689, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n6/0100-0683-rbcs-39-6-1681.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. Ed. Lavras: Editora UFLA, 2002. Disponível em: http://prpg.ufla.br/_ppg/solos/wp-content/uploads/2012/09/MoreiraSiqueira2006.pdf. Acesso em: 29 ago 2018.

OMS, Organização Mundial da Saúde. Substâncias químicas perigosas à saúde e ao meio ambiente, p. 119, 2012. Disponível em: www.unesp.br/pgr/manuais/subs_quimicas.pdf. Acesso em: 12 ago 2017.

PAZINATO, A. C. et al. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa. p. 274, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119972/1/LV2012forrageirasparaintegracaoFontaneli.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; Propriedades físicas do solo. UFSM, 2006. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo_texto.pdf. Acesso em: 26 ago. 2017.

RIBEIRO, O. D. **Impacto da agricultura nos estoques e na labilidade da matéria orgânica em solos sob coval no Cerrado**. 2012, 56 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia), Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2012).

ROMERO, N. C. S. **Perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão em entressulcos em Argissolo com resíduos de cana-de-açúcar**. 2009, 41 f. Dissertação (Mestre em Ciência do Solo), UNESP, Jaboticabal – SP, 2009. Disponível em: <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/cs/m/3826.pdf>. Acesso em: 02 set. 2017.

SALES, R. P. et al. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 429 – 438, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rca/v47n3/1806-6690-rca-47-03-0429.pdf>. Acesso em: 14 set 2018.

SALTON, J. C. et al. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1349 – 1356, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a30.pdf>. Acesso em: 31 ago 2018.

SANTOS, H. G. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 353 p. 2013.

SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; BAIER, A, C. Avaliação de germoplasmas de colza (*Brassica napus* l. Var. Oleifera) padrão canola introduzidos no sul do Brasil, de 1993 a 1996, na Embrapa trigo. Embrapa Trigo. [S.L], n. 6, 2001. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bo06.htm>. Acesso em: 26 ago. 2017.

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

SCHIMEL, D. S. et al. Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. **Global Biogeochemical Cycles**, [S. L], v. 8, n. 3, p. 279 – 293, 1994. Disponível em: <https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1606&context=earthsci_facpub>. Acesso em: 31 ago 2018.

SILVA, J. A. G. et al. Alelopatia da canola sobre o desenvolvimento e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 4, p. 428 – 437, 2011. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/download/2078/1916>>. Acesso em: 03 set. 2017.

SISTI, C.P.J. et al. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, [S.L], p. 39–58, 2004. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/sci-hub.cc/science/article/pii/S016719870300196X>>. Acesso em: 05 set. 2017.

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**, Londrina, v. 33, p. 2775-2788, 2012. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/pdf/4457/445744117026.pdf>>. Acesso em: 31 ago 2018.

STOCKMANN, U. et al. Global soil organic carbon assessment. **Global Food Security**, [S.L], v. 6, p. 9-16, 2015. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211912415000231>>. Acesso em: 31 ago 2018.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília - DF, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v34n1/8713.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

TEDESCO, M. J. et al. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto alegre: Departamento de solos da UFRGS, p. 174, 1995.

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**, v. 37, p. 29-38, 1934.