WAGNER SACOMORI

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NAS FRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÃO COM DEJETO SUÍNO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, no Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Paulo Cezar Cassol

LAGES, SC
2019

Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Sacomori, Wagner
Alterações nos atributos químicos e nas frações de substâncias húmicas do solo após 15 anos sob adubação com dejeto suíno / Wagner Sacomori. -- 2019.
104 p.

Orientador: Paulo Cezar Cassol
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2019.

1. Plantio direto. 2. Esterco. 3. Matéria orgânica. 4. Zea mays. I. Cassol, Paulo Cezar . II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. III. Título.

WAGNER SACOMORI

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS E NAS FRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÃO COM DEJETO SUÍNO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência do Solo.

Banca examinadora:

Orientador: _____

Prof. Dr. Paulo Cezar Cassol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro externo: _____

Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Universidade Federal do Paraná

Membro externo: _____

Prof.ª Dra. Analú Mantovani
Universidade do Oeste de Santa Catarina

Membro externo: _____

Prof.ª Dra. Maria Sueli Heberle Mafra
CEDUP Caetano Costa

Membro: _____

Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida
Universidade do Estado de Santa Catarina

Lages, 22 de Fevereiro de 2019

Aos meus pais, Valdir e Salete e minha irmã Cinara, os quais fazem parte da minha vida intensamente, e que me ensinaram a ter respeito, honestidade, simplicidade e principalmente, humildade. Aqui vos dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me dar saúde, determinação, me abençoar e colocar em minha jornada, pessoas que vieram a acrescentar na minha formação.

Agradeço aos meus pais, Valdir e Salete, e minha irmã, que me ajudaram nessas horas difíceis, e me apoiaram de alguma forma para a conclusão do curso. A toda a minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que chegasse até esta etapa da minha formação.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo e em especial ao meu orientador professor Paulo Cezar Cassol pela paciência e dedicação na correção dos trabalhos e pela compreensão das dificuldades existentes.

A Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias nas figuras dos professores, mestres e doutores, pela preocupação e esmero com a qualidade de ensino para nossa formação, em especial ao professor Davi pelo auxilio nas análises estatísticas, e demais funcionários.

Aos amigos e colegas, pelo incentivo e apoio constantes durante minha vida acadêmica, em especial aos amigos(as) de laboratório Camila, Carine, Cleiton, Daniel, Diogo, Diou, Djalma, Douglas, Flávia, Genicelli, Germano, Gilmar, Jaqueline, Jéssica, Luiza, Marizane, Milton, Patrícia, Sulian, Walquíria e a bolsista Natália.

Agradeço também ao produtor Celso Retore por conceder a área experimental durante os quinze anos, apoiando na condução do experimento e prestigiando o crescimento da pesquisa em nosso país.

Aos funcionários e técnicos do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. A CAPES pela concessão da bolsa e auxílio financeiro para condução do experimento.

E a todas as demais pessoas que contribuíram de alguma maneira para a minha formação.

Muito Obrigado!

"Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz."

Steve Jobs

RESUMO

SACOMORI, Wagner. **Alterações nos atributos químicos e nas frações de substâncias húmicas do solo após 15 anos sob adubação com dejeto suíno**. 2019. 104 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

O aumento na produção de suínos e exportações de carne suína pelo Brasil tem se refletido também em crescente geração de dejeto líquido de suínos (DLS). Aplicações desse resíduo no solo são utilizados como uma importante fonte de nutrientes para a cultura do milho cultivado no sistema de plantio direto, ocasionando acúmulo de nutrientes no solo, mas também, melhorando a qualidade deste. Entretanto, pouco tem se evidenciado sobre os efeitos dessa prática nas características de qualidade do solo como as substâncias húmicas e seu impacto no balanço de carbono. Assim, o presente trabalho foi escrito em dois capítulos com o objetivo de avaliar o incremento de nutrientes nos atributos químicos do solo, bem como, nas frações das substâncias húmicas e nos estoques de C em um Latossolo Vermelho após 15 adubações anuais com DLS, adubo mineral (AM) e uma combinação de DLS e AM e cultivo da sucessão de milho e aveia sob plantio direto. Foram determinados os teores de P e K extraível por Mehlich 1 e Ca e Mg extraível por KCl 1M, pH $CaCl_2$ e carbono orgânico total (COT) nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20, 20-40 e 40-60 cm a partir da superfície do solo. Também foram avaliados os rendimentos de grãos e fitomassa da cultura do milho e o rendimento de fitomassa de aveia. O pH do solo foi pouco influenciado pelos tratamentos com DLS, embora tenha diferido da AM, a qual teve os menores valores nas camadas superficiais. Os teores de P extraível foram expressivamente maiores no tratamento DLS200 em relação a Testemunha nas camadas superficiais até 20 cm de profundidade do solo. O teor de K extraível no solo aumentou consideravelmente nas camadas até 60 cm nos tratamentos com a adubação em relação ao tratamento Testemunha. Os teores de Ca e Mg também aumentaram com a adição de altas doses de DLS, bem como, a produtividade de grãos e fitomassa de milho em relação aos tratamentos Testemunha e DLS25. Houve leve diminuição no pH na superfície do solo e a lixiviação de cátions básicos (K^+, Ca^{+2} e Mg^{+2}), quando aplicadas altas doses de DLS, ocorrendo a mobilidade destes em profundidade no perfil do solo. O aumento nas doses de DLS diminuíram as frações de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos no solo, favorecendo a acumulação de C na fração humina, essa com maior recalcitrância. Os coeficientes K_1 e K_2, referentes às taxas de conversão de fitomassa em CO do solo e de degradação anual desse componente foram estimados em 0,104 e 0,001, respectivamente, e o aporte de C necessário para manter os estoques de CO do solo foi estimado em 3,62 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

Palavras-chave: Plantio direto. Esterco. Matéria Orgânica. *Zea mays*.

ABSTRACT

SACOMORI, Wagner. **Change in chemical attributes and fractions of soil humic substances after 15 years under fertilizing with pig slurry**. 2019. 104 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

The increase in swine production and pork meat exports by Brazil has also been reflected in greather generation of pig slurry (DLS). Applications of this residue in the soil are used as an important nutrients source for the corn crop, grown in the no-tillage system, causing nutrient accumulation in the soil, but also improving the quality of the soil. However, few have been shown about the effects of this practice on soil quality characteristics, such as humic substances and their impact on carbon recovery. Thus, the present work was written in two chapters with the objective of evaluating the nutrient increment in the chemical attributes of the soil, as well as in humic substances fractions and C stocks of an Oxisol after 15 annual applications of DLS, mineral fertilizer (AM) and a combination of DLS and AM and cultivation of the succession of maize and oats under no-tillage. The contents of extractable P and K by Mehlich 1 and Ca and Mg extractable by 1M KCl, pH $CaCl_2$ and total organic carbon (COT) were measures in 0-2.5; 2.5-5; 5-10; 10-20, 20-40 and 40-60 cm layers from the soil surface. The grain and phytomass yields of corn and oat phytomass yield were also evaluated. The pH of the soil was weakly influenced by the PS treatments, although it differed from the AM, which had the lower values in the superficial layers. The extractable P contents were expressively higher in the superficial layers to 20 cm depth. The extractable K content in the soil increased considerably in treatment DLS200 with respect to the control in the 60 cm layer in the treatments with the fertilization, comparatively to the Control treatment. The Ca and Mg contents also increased with the addition of high doses of DLS, as well as grain yield and corn phytomass compared to Control and PS25 treatments. There was a slight decrease in pH at the soil surface and leaching of basic cations (K^+, Ca^{+2}, and Mg^{+2}) when high doses of DLS were used, resulting in mobility of these at the soil profile. The increase in the PS doses decreased the fractions of fulvic acids and humic acids in the soil, favoring the permanence in the humin fraction, the one with greater recalcitrance. The coefficients K_1 and K_2, referring to the phytomass conversion rates in CO of the soil and the annual degradation of this component were estimated at 0.104 and 0.001, respectively, and the C contribution required to maintain soil CO stocks was 3.62 Mg ha^{-1} $year^{-1}$.

Keywords: No-tillage. Manure. Organic Matter. *Zea mays.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Valores de pH do solo em CaCl2 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto e adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 47

Figura 2- Valores de pH do solo em $CaCl_2$ nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}. 49

Figura 3- Teor de P extraível (Mehlich) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 50

Figura 4- Teor de P extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}..... 52

Figura 5- Teor de K extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 53

Figura 6- Teor de K extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}. 54

Figura 7- Teores de Ca trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 55

Figura 8- Teor de Ca extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto

adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}..... 56

Figura 9- Teores de Mg^{+2} trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 57

Figura 10- Teor de Mg extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}. 58

Figura 11- Rendimento médio de grãos de milho das safras 2013-14, 2014-15 e 2015-16 sob um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto após adubações durante 15 anos com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 60

Figura 12- Rendimento médio de fitomassa da parte aérea de milho das safras 2013-14, 2014-15 e 2015-16 sob um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto após adubações durante 15 anos com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS)..... 62

Figura 13- Regressão do rendimento de grãos e fitomassa do milho com relação ao equivalente de nutriente aplicado nos últimos três anos em experimento conduzido por 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100), 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS)..... 63

Figura 14- Teor de COT no solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}..... 76

Figura 15- Relação entre a quantidade de C adicionado por ano e o estoque de C no solo na profundidade de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno. AC_0= adição anual de C para manter os estoques iniciais estáveis. 79

Figura 16- Regressão da relação dos estoques de C e das doses de DLS nas camadas de 0 a 20 cm após 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0

(Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}..... 80

Figura 17- Teor de C orgânico (a) e participação das frações (b) nas substâncias húmicas do solo (Ácidos fúlvicos – AF; Ácidos húmicos – AH; Humina – Hum e Substâncias não húmicas – SNH) de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001. 41

Tabela 2- Teores de massa seca (MS), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fósforo (P), potássio (K) do dejeto líquido de suíno gerado por animais em fase de terminação empregado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2015 num Latossolo Vermelho Distroférrico..... 43

Tabela 3- Somatório de matéria seca (MS), carbono orgânico total (COT) e macronutrientes aplicados com as adubações durante os 15 anos de condução do experimento em Latossolo Vermelho Distroférrico no município de Campos Novos/SC. 44

Tabela 4- Índice de eficiência agronômica (IEA) de grãos e fitomassa de milho e eficiência de recuperação (ER) dos nutrientes N, P e K aplicados em experimento conduzido por 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100), 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 63

Tabela 5- Adição anual de C pela fitomassa da parte aérea (FPA) de milho e aveia e C adicionado pelo DLS durante 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 73

Tabela 6- Teor de Carbono Orgânico Total (COT) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS). 75

Tabela 7- Estoques de COT nas camadas de 0 a 20 cm após 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS)..... 77

Tabela 8- Teores de carbono orgânico na fração Ácidos Fúlvicos das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS. 82

Tabela 9- Teores de carbono orgânico na fração Ácidos Húmicos das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS. 83

Tabela 10- Teores de carbono orgânico na fração Humina das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS. 83

Tabela 11- Relação E4/E6 das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS..... 85

Tabela 12- Relação das substancias húmicas do solo (AH+AF/Hum) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS)..... 86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 25
2.1 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO 25
2.2 EFEITO DO USO DE DLS SOBRE OS NUTRIENTES NO SOLO 26
2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO 29
2.4 FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA 32
3 HIPÓTESES 35
4 OBJETIVOS 37
4.1 OBJETIVO GERAL 37
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 37
5 CAPÍTULO I - ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÃO COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO 39
RESUMO 39
5.1 INTRODUÇÃO 40
5.2 MATERIAL E MÉTODOS 41
5.2.1 Localização e caracterização da área experimental 41
5.2.2 Cultivos 42
5.2.3 Tratamentos e delineamento experimental 42
5.2.4 Características do dejeto líquido de suíno 43
5.2.5 Forma de aplicação dos tratamentos 45
5.2.6 Avaliações e análises químicas do solo 45
5.2.7 Análise estatística 46
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 47
5.4 CONCLUSÕES 66
6 CAPÍTULO II – ESTOQUES DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÕES COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO 67
RESUMO 67
6.1 INTRODUÇÃO 68
6.2 MATERIAL E MÉTODOS 69
6.2.1 Tratamentos e amostragens 70
6.2.2 Análise estatística 73

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 73
6.4 CONCLUSÕES 87
7. CONCLUSÕES GERAIS 89
REFERÊNCIAS 91
APÊNDICE A 99
APÊNDICE B 100
APÊNDICE C 101
APÊNDICE D 102
APÊNDICE E 103
APÊNDICE F 104

1 INTRODUÇÃO GERAL

A suinocultura é uma das atividades pecuárias mais desenvolvidas no Brasil, principalmente no estado de Santa Catarina, onde possui grande importância socioeconômica. Devido à crescente expansão dessa atividade nesse estado, há a necessidade de se desenvolver novas tecnologias relacionadas ao aproveitamento dos dejetos de suínos, visando seu uso eficiente como fertilizante orgânico, e mantendo sob controle o seu poder contaminante do meio ambiente.

As tecnologias adequadas de manejo dos fertilizantes devem contemplar o conhecimento e controle de todos os seus efeitos, especialmente, na capacidade do solo de retenção de nutrientes, no grau de enriquecimento de nutrientes e possíveis poluentes na água de percolação através do perfil do solo. Pouca ênfase tem sido dada sobre a dinâmica dos elementos provenientes desta forma de adubação orgânica, aspecto que tem recebido uma maior ênfase nos estudos com adubos solúveis.

Adubações sucessivas de dejeto líquido de suíno (DLS) no solo promoveram incrementos no rendimento da cultura do milho em solos de Cerrado (MENEZES et al., 2017), bem como, em Latossolo Vermelho (CASSOL et al., 2012; MORAES et al., 2014) e Argissolos cultivados na região sul do Brasil (SCHIRMANN et al., 2013) sobre sistema de plantio direto. Apesar das melhorias no rendimento do milho, o DLS pode causar acidificação do solo (LOURENZI et al., 2016), perdas de N na forma de nitrato (ASSMANN et al., 2018) e acúmulo de nutrientes como o P (GUARDINI et al., 2012; BOITT et al., 2018), K^{+} (PENHA et al., 2015) e Ca^{+2} e Mg^{+2} (CASSOL et al., 2012) ao longo dos anos.

A matéria orgânica do solo (MOS) atua como um importante indicador da qualidade do solo. Está relacionada com o aporte de biomassa adicionado ao solo e relacionada aos sistemas de uso e manejo adotados (ROSA et al., 2017). Nesse contexto, aumentos na MOS com a adoção de sistemas de manejo eficientes, melhoram a qualidade do solo.

O estoque de carbono orgânico (CO) do solo é pouco influenciado pelas práticas de adubação e manejo do solo quando se considera curto período de tempo. Entretanto, o uso de dejeto líquido de suíno (DLS) na adubação de culturas mostrou potencial para promover o acúmulo de CO nos solos ao longo do tempo (MAFRA et al. 2014).

As alterações nas formas de carbono acumulado no solo podem influenciar o balanço geral desse elemento na natureza, afetando o ciclo do carbono a nível global. Informações adicionais sobre o acréscimo e as formas de acumulação de carbono no solo, possibilitam maior entendimento sobre o sequestro de carbono da atmosfera e sobre as alternativas para seu incremento. Assim, estudos para quantificar e identificar as formas do carbono acumuladas durante aplicações a longo prazo de dejeto líquido de suínos em lavouras sob plantio direto são válidos e necessários.

Assim, este trabalho foi dividido em dois capítulos que compreenderam como objetivo do primeiro: avaliar o acúmulo de nutrientes no solo, o índice de eficiência agronômica e a eficiência de recuperação dos nutrientes pela cultura do milho, e segundo: avaliar a qualidade do solo determinando o aumento nos estoques de C, os efeitos nas substâncias húmicas, os coeficientes de humificação e mineralização da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Distroférrico após 15 anos sob aplicações de dejeto líquido de suíno (DLS), adubo mineral solúvel (AM) e DLS combinado com AM.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A atividade suinícola desempenha grande importância econômica no Brasil, chegando a um rebanho de 38,9 milhões de cabeças em 2011, sendo abatidas aproximadamente 40,33 milhões de cabeças no ano de 2015 (IBGE, 2016). O sul do Brasil contribui com mais de 50% de toda a produção nacional, onde o estado de Santa Catarina se destaca, possuindo grande importância socioeconômica nessa atividade, responsável pela metade da exportação de carne suína, correspondendo a 3.000 toneladas por mês, que equivale a uma média de 50 milhões de dólares (EPAGRI/CEPA, 2019).

O Brasil ocupa a quarta posição no ranking como produtor e exportador de carne suína (MAPA, 2014), demonstrando assim a importância da atividade, mas também, seu potencial poluente nas regiões de alta intensidade de criação de suínos.

2.1 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO

O dejeto líquido de suíno (DLS) é constituído por fezes, urina, água desperdiçada pelos bebedouros e de higienização, resíduos de ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório (KONZEN,1983). O esterco, por sua vez, é constituído pelas fezes dos animais que, normalmente, se apresentam na forma pastosa ou sólida. Os dejetos podem apresentar grandes variações em seus componentes, dependendo do sistema de manejo adotado e, principalmente, da quantidade de água e de nutrientes em sua composição (DIESEL; MIRANDA & PERDOMO, 2002).

A composição dos dejetos de suínos pode ser variável de acordo com o sistema de manejo adotado, dependendo da diluição e da modalidade e maneira como são armazenados. De acordo com o manual de calagem e adubação dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CQFS-RS/SC, 2016), os estercos líquidos de suínos possuem em média 9; 2,8; 2,4; 1,5; 2,0 e 0,8 kg m^{-3} de C Org. Total, N, P_2O_5, K_2O, Ca e Mg, respectivamente.

A Instrução Normativa nº 11 da FATMA (IN nº 11-FATMA, de 13/12/2004) que regulamentava a aplicação de dejetos líquidos de suínos limitada a dose de 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1} foi reformulada, incluindo propostas publicadas no Boletim Técnico elaborado por Gatiboni et al. (2014) e em artigo científico (GATIBONI et al., 2015). Essa nova legislação prevê que as adubações orgânicas sejam baseadas na carga máxima de DLS

que determinado solo pode comportar com controle dos riscos de poluição ambiental. Para ter maior segurança, estipula que a aplicação seja restringida quando o limite crítico ambiental de P (LCA-P) do solo for atingido, sendo este estabelecido em 80% do teor limite de P no solo para aumento da liberação de P na água. Esse teor limite de P (P_{Lim}) indica quando os teores de P no solo atingem níveis muito elevados e o solo perde a capacidade de reter mais P. A partir deste ponto, maiores quantidades de P são liberadas do solo para a água. Esse ponto pode ser chamado teor limite de P no solo (GATIBONI et al., 2014). A fórmula estabelecida para o LCA de P foi estabelecida como LCA-P= 40 + Argila (GATIBONI et al., 2015).

Portanto, essa nova proposta para limitar a quantidade de dejeto de origem orgânica tanto de suínos, aves, bovinos ou outros resíduos orgânicos, permitirá a aplicação de doses superiores a 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, dependendo do nível de P já existente no respectivo solo, pois levará em consideração o teor de P no dejeto, a taxa de absorção e exportação pela cultura e a capacidade de retenção de P no solo.

A análise do solo deverá ser levada em consideração e coletada na camada de 0-10 cm, onde se concentram as maiores concentrações de P. Se o teor de P ficar abaixo do LCA-P, as adubações poderão ser calculadas em função do suprimento de N para as culturas, e caso o teor de P ficar até 20% acima do LCA-P, o agricultor deverá suspender as adubações com P. E por último, se estiver acima do P_{Lim} no solo, além de suspender as adubações com P, deverá utilizar culturas que extraiam maior quantidade desse nutriente, como exemplo das pastagens, milho para silagem, fenação entre outras atividades de extração de biomassa vegetal.

Até a década de 80, a principal causa de poluição dos mananciais hídricos era do lançamento direto dos DLS em córregos, rios ou lagos, algo comum com os produtores de suínos, mas que passou a ser considerado um crime ambiental, o qual foi diminuindo com o passar dos anos (ZENI et al., 2012). Hoje um dos problemas que ainda persiste, é a má distribuição dos dejetos, que são aplicados nas áreas próximas as pocilgas, o que facilita o transporte para o produtor (NICOLOSO, dados não publicados). Para minimizar essas perdas de nutrientes e diminuir os problemas ambientais desse resíduo, diversas técnicas e pesquisas vem sendo executadas.

2.2 EFEITO DO USO DE DLS SOBRE OS NUTRIENTES NO SOLO

O estudo da dinâmica dos íons no perfil do solo tem como finalidade o monitoramento dos atributos químicos do solo para aperfeiçoar a eficiência da adubação. Contudo, são ainda necessários estudos, especialmente nas condições brasileiras, sobre a eficiência e consequências da aplicação de fertilizantes orgânicos fluidos como o dejeto líquido de suíno.

Existem diversos resultados de pesquisas indicando que o esterco suíno representa uma ótima fonte de nutrientes para as culturas agrícolas (SEIDEL et al., 2010; LÉIS et al. 2009; MORAES et al., 2014), entretanto, resta ainda avaliar os efeitos de longo prazo deste resíduo, especialmente nas aplicações de doses altas e repetidas anualmente. Tal avaliação deve também contemplar os efeitos na capacidade do solo de retenção de nutrientes, especialmente o fósforo, bem como o grau de enriquecimento de nutrientes e possíveis poluentes na água de percolação através do perfil do solo.

Ao contrário dos fertilizantes químicos, o dejeto líquido de suíno apresenta proporção muito variável de nutrientes, sendo considerado um fertilizante não balanceado. Quando lançados ao solo em grandes quantidades, sem o manejo correto, causam desequilíbrio quantitativo na oferta de nutrientes às plantas (HOUNTIN, 2000; CERETTA, 2003; SILVA et al. 2015). Com isso, a utilização de adubos orgânicos associados com fertilizantes minerais são importantes para suprir a necessidade das culturas (KUMARAGAMAGE et al., 2016). Se as quantidades adicionadas forem maiores que aquelas absorvidas pelas culturas, haverá acúmulo de nutrientes no solo, podendo resultar, em médio e longo prazo, numa série de inconvenientes de expressão econômica (BURTON, 1996), tais como a dificuldade de absorção de alguns nutrientes a exemplo do excesso de K^{+} e Ca^{+2} podem causar deficiência de Mg^{+2}. Assim, seu uso deve ser criterioso, evitando altas doses de DLS, pois o esterco representa potencial poluente para o ambiente quando se considera a possibilidade de excessiva lixiviação de N na forma de nitrato em camadas profundas (SACOMORI et al., 2016; ASSMANN et al., 2018), que pode comprometer a qualidade do solo e da água.

Alterações no pH do solo também foram observadas com a adição de DLS o que pode constituir um fator positivo. Lourenzi et al. (2016) aplicaram o composto orgânico junto com maravalha observando elevação do pH e redução na acidez potencial. Esses dados corroboram com Brunetto et al. (2012) em que a aplicação de DLS também melhorou os atributos químicos relacionados a acidez do solo.

Os nutrientes presentes em pequenas quantidades na solução do solo, como o P, não são lixiviados significativamente (GUARDINI et al., 2012). Porém, isso acontece

com nutrientes mais móveis que se encontram em média ou alta concentração na solução do solo, como no caso do N e do K. Isso foi verificado por WERLE et al. (2008) em relato sobre a elevação dos teores de K, que resultam em lixiviação, mesmo em solos mais argilosos e com alta CTC, ocasionando perdas significativas do nutriente. Sucessivas aplicações de DLS podem ocasionar um aumento do P nas camadas do perfil do solo como verificado por Guardini et al. (2012) em que foram encontrados incremento nos teores de P até 30 cm de profundidade, e especialmente de formas lábeis inorgânicas extraídas por resina trocadora de ânions.

Entre os problemas decorrentes do dejeto suíno aplicado em lavouras sob plantio direto, onde não ocorre a incorporação, destaca-se o excessivo enriquecimento de nutrientes no solo, sobretudo na camada até 5 cm de profundidade. Isto ocorre de forma mais acentuada com o Ca^{+2}, P e K do solo, na camada de 0-5 cm (CASSOL et al. 2012), que se acumulam principalmente em formas inorgânicas e com intensidade proporcional à dose de aplicação, o que favorece seu transporte por enxurradas para os mananciais de águas, onde pode causar eutrofização.

Vários autores verificaram efeitos benéficos do dejeto suíno na produtividade do milho em se tratando de fornecimento de nutrientes para a cultura (GIACOMINI & AITA, 2008; LÉIS et al., 2009; CASSOL et al., 2012; MORAES et al. 2014). Pesquisas realizadas com dejeto líquido de suíno comparadas com adubação mineral, não diferiram entre si num curto período de tempo na produtividade de milho com doses até 50 m^3 ha^{-1} e adubações combinadas de cobertura com dejeto líquido de suíno e adubo mineral (DAUDÉN; QUÍLEZ, 2004; SEIDEL et al., 2010), relatando a eficiência no fornecimento de nutrientes para as culturas.

Segundo Cassol et al. (2012) o DLS aumentou o teor de Ca^{+2} e Mg^{+2} nas camadas superficiais do solo de 0-5 cm quando aplicado em dose maior ou igual a 100 m^3 ha^{-1}. Os autores observaram também que a maior parte do Mg adicionado migrou para camadas inferiores do perfil, ou mesmo para o lençol freático, por meio do processo de lixiviação; já que o solo é bem drenado e anualmente ocorrem na região períodos de chuvas em quantidade suficiente para provocar a percolação de água no solo. De outro lado, o incremento tanto de Mg como de Ca adicionados com o DLS certamente não foi acompanhado de aumento equivalente nas cargas negativas do solo, mas da CTC até a profundidade de 30 cm já que não houve aumento no pH, que teria esse efeito (BRUNETTO et al., 2012). Assim, a insuficiência de cargas para reter o incremento dos dois cátions significou que em sua maior parte restassem dissolvidos na solução do solo,

ficando assim altamente suscetíveis à lixiviação. Resultados semelhantes foram encontrados por Sacomori et al. (2016) na solução do solo extraída por lisímetros de sucção com capsula porosa, em que houve aumento nos teores de cátions básicos (Ca, Mg e K) em profundidade (0,8 m).

No DLS o N encontra-se diluído, sendo que cerca de 60 % do N está na forma de NH_4^+, que é uma forma prontamente disponível para as plantas e é rapidamente transformada para NO_3^- pelo processo de nitrificação quando aplicado no solo (PAYET et al., 2009). Quando o nitrato não for absorvido rapidamente pelas plantas, fica propenso à lixiviação em função da falta de adsorção aos colóides do solo (JADOSKI et al., 2010).

De acordo com dados obtidos por Ceretta et al. (2003), o uso sistemático de esterco líquido de suínos representa a adição de grande quantidade de nutrientes ao solo, e eleva principalmente os teores de P, Ca e Mg em áreas sob pastagem nativa, mas proporciona diminuição na saturação por alumínio, melhorando o ambiente para o crescimento das plantas.

A lixiviação de N e a elevada concentração de P na camada mais superficial do solo adubado com DLS mostram que estes elementos podem comprometer a qualidade do ambiente, especialmente como contaminantes da água, como observado em pastagem natural com doses até 40 m^3 ha^{-1} de DLS e reaplicados em intervalos de 45 a 60 dias (CERETTA et al., 2003).

O P teve baixa mobilidade no solo, independentemente do tipo de adubo utilizado, seja DLS ou adubo mineral, concentrando-se na camada de 0 a 2,5 cm, sendo esse comportamento mais acentuado com a aplicação de dejeto líquido de suíno, situação essa, quando verificada em Latossolo Vermelho Eutroférrico típico em colunas de solo indeformadas (BERTOL et al., 2010). Os autores observaram que a aplicação de P via adubo mineral ocasionou maior e mais rápida lixiviação de P do que via dejeto líquido de suíno nas doses de até 80 m^3 ha^{-1}, indicando que o adubo mineral tem maior potencial poluidor das águas subterrâneas.

2.3 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O solo é constituído por uma fase sólida de natureza mineral e orgânica. A fração orgânica corresponde a matéria orgânica do solo (MOS) basicamente constituída por C, H, O, além de outros elementos em menor proporção, principalmente N, P e S. A entrada

de C no solo está relacionada com o aporte de resíduos da biomassa aérea e radicular das plantas, liberação de exsudados radiculares, lavagem de constituintes solúveis da planta pela água da chuva e transformação desses materiais carbonados pelos macro e microrganismos do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007).

A matéria orgânica do solo corresponde aos componentes vivos e não-vivos. Os vivos são as raízes de plantas e os organismos do solo, constituindo aproximadamente 4% do total. Os componentes não-vivos representam à matéria macrorgânica, constituída de resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas (STEVENSON, 1994).

A matéria orgânica não viva contribui, em média, com 98% do C em formas orgânicas (C orgânico total = COT) do solo, podendo ser dividida em matéria macrorgânica, que seria composta principalmente por restos vegetais em vários estádios de alteração e contribui com cerca de 3-20% de COT (STEVENSON, 1994) . E o húmus, compartimento que consiste de substâncias húmicas (70%) e não-húmicas (30%). Desta forma, as substâncias não-húmicas contribuem com 10 a 15% do COT dos solos minerais, e as substâncias húmicas, contribuem com cerca de 85 a 90% do COT dos solos minerais (SILVA & MENDONÇA, 2007).

Três mecanismos de estabilização da MOS foram propostos por Six et al. (2002): a estabilização química, a proteção física e a estabilização bioquímica. A estabilização química está relacionada com a ligação dos compostos orgânicos com as frações minerais do solo, que formam uma proteção coloidal. A estabilização física da MOS depende da estrutura do solo, onde ocorre especialmente no interior dos agregados que limita a difusão de oxigênio, e dificulta o acesso dos microrganismos e enzimas dos microrganismos, diminuindo sua mineralização. A estabilização bioquímica está relacionada com a composição da matéria orgânica com compostos de alta recalcitrância como lignina e polifenóis, as quais são mais estáveis (SIX et al., 2002).

A incorporação de dejetos de animais ou compostos orgânicos, influencia as propriedades químicas e físicas, especialmente a melhoria na estrutura, caracterizada pela diminuição da densidade do solo, aumento na porosidade e taxa de infiltração de água, além de aumentar a capacidade do solo de armazenar água, constituindo-se um componente fundamental para a capacidade produtiva dos solos tropicais e subtropicais (KIEHL, 1985).

A adição de dejeto suíno geralmente não promove incremento de C orgânico no solo em períodos de estudos de curto prazo (AGNE & KLEIN 2014), mas a longo prazo

pode incrementar o teor de C orgânico pela maior produção de matéria seca das culturas depositado na superfície do solo e pelas raízes, aumentando assim o aporte de C ao solo (MAFRA et al., 2014). Entretanto, outros autores não encontraram incremento de C com a aplicação de DLS a longo prazo no solo não ocorrendo a alteração no teor de C orgânico total (BROETTO et al., 2014).

Um modelo unicompartimental foi proposto por HÉNEN & DUPUIS (1945) para estimar as variações nos estoques de carbono orgânico nos solos ao longo do tempo pela equação:

$$\mathbf{Ct = C_0\, e^{-k2t} + A\, k_1 / k_2\, (1 - e^{-k2t})}$$

Onde: Ct é a quantidade de carbono no solo num tempo "t"; C_0 é o estoque original de carbono; "A" é a adição anual de resíduos; k_1 = coeficiente de conversão dos resíduos em MOS (coeficiente isohúmico); k_2 = coeficiente de mineralização da MOS; e "e" é logaritmo natural neperiano.

Entretanto, a equação pode ser resumida quando derivamos a função anterior:

$$\mathbf{dC/dt = Ak_1 - k_2C}$$

Assim temos que, a quantidade de carbono orgânico adicionado ao solo (Ak_1) menos a quantidade de carbono orgânico perdido (k_2C) retrata a variação do estoque de matéria orgânica no solo (dC/dt) num determiado tempo, geralmente um ano. Contudo, se a entrada de C for igual a saída, então o sistema se manterá em equilíbrio sem a alteração nos estoques de COS ao longo do tempo.

As estimativas atuais do potencial de armazenamento do C no solo são baseadas em modelos ou fatores que assumem linearidade entre os níveis de entrada de C e os estoques de C no estado estacionário, assim, os estoques de COS poderiam aumentar sem limite à medida que os níveis de entrada de C aumentam. Mas, alguns solos mostram pouco ou nenhum aumento nos estoques de COS estacionário com níveis crescentes de entrada de C sugerindo que o COS pode se tornar saturado com relação à entrada de C. Portanto, a maior eficiência no sequestro do C no solo será em solos que se encontram mais distantes da saturação por C (STEWART et al., 2007).

A utilização de sistemas de cultivo como o sistema de plantio direto proporciona maior acúmulo de C no solo, comparado com o sistema de preparo convencional

observado na camada de 0 – 20 cm (CONCEICÃO et al., 2013). O uso de adubos orgânicos mais especificamente os estercos de animais, quando usados em doses elevadas, proporcionam um impacto positivo na manutenção da MOS (WEYERS et al., 2018).

2.4 FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA

A análise elementar das substâncias húmicas resulta na ordem de grandeza C>O>H>N>S>P e é rápida e facilmente determinada através de analisadores elementares disponíveis comercialmente, os quais mostram que os principais elementos presentes nas substâncias húmicas são o carbono e o oxigênio. O conteúdo médio de C nos ácidos húmicos é de 55,1%, o de O é de 35,6%, o de H é de 5,0% e o de N de 3,5% (CANELLAS, 2005).

A forma de manejo e o tipo de adubação podem afetar a qualidade da matéria orgânica do solo (COELHO et al., 2013). No fracionamento químico da matéria orgânica são determinadas as quantidades das diferentes frações que compõe a MOS: Huminas, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. Estas frações da MOS podem ser utilizadas como indicadoras da qualidade do solo, complexando metais pesados, aumento na estabilidade e na resistência a biodegradação da MOS (GOMES et al., 1998; BORGES et al., 2015; WEYERS et al., 2018) e também, atuando na complexação de moléculas de inseticidas (MURANO et al., 2018).

No fracionamento químico da MO, ao tratar a amostra com extrator alcalino (NaOH) resulta em um extrato alcalino, este quando acidificado com HCl concentrado até pH ~ 1, força a precipitação da fração de massa molecular relativa e aparentemente mais elevada, os ácidos húmicos. A fração das substâncias húmicas que permanece solúvel representa os ácidos fúlvicos que são compostos por moléculas de massa molecular aparente mais baixa que os ácidos húmicos e com maior conteúdo de grupos funcionais ácidos. Por fim, as substâncias que não são extraídas do solo representam a fração humificada fortemente ligada à fração mineral do solo, denominada humina. Os ácidos húmicos, fúlvicos e as huminas podem, então, ser classificados com base na solubilidade em meio ácido ou alcalino (CANELLAS et al., 2005).

Apesar das substâncias húmicas apresentarem baixa reatividade, são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas e na maioria dos solos tropicais representa a

maior parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003). Ácidos húmicos e fúlvicos representam a porção solúvel em meio alcalino, de maior reatividade e consequentemente de maior polaridade. Os ácidos fúlvicos são os compostos húmicos de maior solubilidade por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular. Estes compostos são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo, na forma de complexos organo-metálicos, o que caracteriza o processo de queluviação (GOMES et al., 1998).

A determinação da relação E4/E6 das substâncias húmicas consiste na avaliação espectral e massa molar das substâncias húmicas utilizando os comprimentos de onda de 465 nm (E4) e 665 nm (E6) (CANELLAS, 2005). É utilizada como indicador da estabilidade e da maturidade das substâncias húmicas ou do composto orgânico analisado (HE et al., 2016). Entretanto, pouco se sabe sobre as relações das substâncias húmicas na melhoria da qualidade do solo e também, na retenção dos nutrientes para as plantas, através do aumento da CTC do solo.

A relação E4/E6 das substâncias húmicas está associada ao seu grau de humificação. Quanto menor for esse valor, significa que os constituintes aromáticos estão mais humificados, e quanto maior a relação, estruturas alifáticas menos humificadas (CANELLAS, 2005). Um maior grau de humificação foi observado com o uso de fertilizações com NPK em experimento conduzido por 64 anos na República Tcheca, e menor grau de humificação quando utilizado resíduos orgânicos (MENSIK et al., 2018).

Alguns trabalhos mostram que a aplicação de DLS interfere nas frações químicas da matéria orgânica, nos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e na humina (LÜDTKE et al., 2016; VENTURA et al., 2018). A aplicação do dejeto líquido de suíno ao longo de 26 anos, na cultura do café, promoveu aumento na matéria orgânica do solo, pequena redução dos ácidos fúlvicos e aumentos consideráveis nas frações de ácido húmico e humina, em relação as médias dessas substâncias ao longo do perfil do solo (BARILLI, 2005). A humina presente em maiores quantidades em relação aos ácidos fúlvicos e húmicos permite inferir que a matéria orgânica se encontra no seu estado mais avançado de humificação. Barilli (2005) também relata que a matéria orgânica na fração humificada, além de fazer parte da matriz do solo na forma de colóides orgânicos, exerce efeitos nas suas propriedades e também direta ou indiretamente sobre as plantas e organismos.

A capacidade de fixar carbono no solo ou o potencial de sequestro de C no solo, depende do tipo de solo e das características químicas do material orgânico adicionado,

especialmente da resistência do material orgânico à decomposição microbiana. A maior parte dos estudos com relação a estabilidade da matéria orgânica, estão associados aos estudos realizados em climas temperados (SIX et al., 2002b).

Dias et al. (2007) estudando o lodo de esgoto, afirmam que este é constituído por diferentes grupos orgânicos, entre eles as substâncias húmicas, que são consideradas o estádio final da evolução dos compostos de C no solo, sendo portanto, um grupo de substâncias mais estáveis e de difícil degradação do ponto de vista químico, o que pode representar uma reserva de C no solo (SANTOS et al. 2009). Por conter essencialmente material humificado, o lodo de esgoto pode contribuir para o aumento dos teores e proporções de substâncias húmicas presentes no solo.

Os teores de C da fração ácido húmico (FAH), fração ácido fúlvico (FAF) e fração humina (FHum) apresentaram crescimento linear com o aumento das doses dos compostos sendo a FHum a que apresentou teores mais elevado (LIMA, 2011). Isso realça a importância das substâncias húmicas no aporte de carbono do solo.

Áreas que receberam dejeto de suínos e cama de aves tiveram maiores teores da fração humina, a qual é mais estável e possui maior resistência a biodegradação (BORGES et al. 2015). Leal et al. (2015) estudando alternativas para a reconstrução e revegetação de solos em áreas de mineração de carvão, detectaram que os tratamentos com as espécies de plantas *Hemarthria altíssima* e *Urochloa brizantha* evidenciaram maior potencial para recuperação da qualidade da MO do solo construído.

Os ácidos húmicos são os compostos húmicos mais estudados e apresentam pouca solubilidade nas condições de acidez normalmente encontradas em solos. Estes compostos são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos (BENITES et al., 2003).

3 HIPÓTESES

O dejeto líquido de suíno em aplicações contínuas com doses maiores que 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1} em Latossolo Vermelho Distroférrico aumenta os teores de P disponível nas camadas superficiais e os teores de K, Ca e Mg disponíveis até 60 cm de profundidade do solo.

O efeito fertilizante do DLS em doses de 50 a 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} aumenta expressivamente o rendimento de grãos e fitomassa de milho.

Aplicações anuais de DLS em lavoura de milho no verão sob sistema de plantio direto e com adubação verde de inverno, aumentam os estoques de C orgânico no solo em magnitude diretamente proporcional à dose e afetam a distribuição das frações das substâncias húmicas, aumentando principalmente as frações ácidos húmicos e ácidos fúlvicos que representam formas menos estáveis de CO ao longo dos anos.

A fertilização continuada do solo com DLS em doses acima de 100 m^3 ha^{-1} $anos^{-1}$ em Latossolo sob cultivo anual de milho e aveia no sistema de plantio direto pode atingir o nível de saturação do acúmulo de CO no solo.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito do dejeto líquido de suíno nos rendimentos de grãos e fitomassa de milho, na acumulação de carbono orgânico e nutrientes no solo, e nas frações químicas da matéria orgânica após 15 aplicações anuais do DLS superficialmente ao solo em doses de até 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, comparativamente à adubação mineral e DLS combinado com adubo mineral.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar os teores de nutrientes nas diferentes camadas do solo (até 60 cm) de um Latossolo Vermelho Distroférrico adubado durante 15 anos com dejeto líquido de suíno em doses até 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

Determinar o rendimento de grãos e fitomassa da cultura de milho e a eficiência agronômica como fonte de nutrientes e de recuperação desses em diferentes doses de DLS, relativamente à adubação com mineral solúvel e DLS combinado com adubo mineral.

Determinar os estoques de CO no solo, sua variação e possível saturação da capacidade de seu acúmulo no solo, bem como, as mudanças nas frações das substâncias húmicas da matéria orgânica em Latossolo submetido à aplicação superficial e repetida anualmente de doses até 200 m^3 ha^{-1} de dejeto líquido de suíno.

5 CAPÍTULO I - ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÃO COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO

RESUMO

SACOMORI, Wagner. **Alterações nos atributos químicos do solo após 15 anos sob adubação com dejeto líquido de suíno**. 2019. 104 p. Tese de Doutorado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

O crescimento da suinocultura no Brasil tem aumentado a produção e consequente aplicação de dejetos suínos nos solos, elevando os teores de nutrientes e de carbono orgânico, devido à aplicação continuada desse resíduo. O aumento nos teores de nutrientes nas camadas do solo foram avaliados na safra de 2015/16, após 15 anos de aplicações de dejeto líquido de suíno (DLS). O experimento foi implantado em 2001 em Latossolo Vermelho Distroférrico cultivado com a sucessão milho e aveia sob plantio direto no município de Campos Novos/SC. Os tratamentos foram o dejeto líquido de suíno (DLS) nas doses 0, 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}; adubo mineral (AM); e DLS complementado com adubo mineral (AM+DLS) aplicados uma vez ao ano. Foram determinados os teores de P e K extraível (Mehlich 1) e Ca e Mg trocáveis (KCl 1 mol L^{-1}) e pH $CaCl_2$ nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20, 20-40 e 40-60 cm a partir da superfície do solo. O pH do solo foi pouco influenciado pelos tratamentos com DLS, embora tenha diferido da AM, o qual teve seus menores valores nas camadas superficiais. Houve acúmulo de P extraível nas camadas em até 20 cm de profundidade do solo e o teor de K extraível no solo aumentou nas camadas até 60 cm nos tratamentos com a adubação em relação ao tratamento Testemunha. O tratamento AM, de modo geral, presentou menores teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} quando comparado aos tratamentos adubados com DLS. Aumento no rendimento de grãos e fitomassa de milho com as adubações de DLS e AM foram verificadas. Aplicações continuadas de altas doses de DLS na superfície do solo promovem a diminuição do pH na camada superficial e a lixiviação de cátions básicos (K^+, Ca^{+2} e Mg^{+2}) do solo, demonstrando a sua mobilidade em profundidade no solo.

Palavras-chaves: Adubo Orgânico. Matéria Orgânica. *Zea mays.* Plantio Direto.

5.1 INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina possui expressiva produção de suínos para exportação, chegando a um rebanho de 38,9 milhões de cabeças de suínos existentes no Brasil, sendo que mais de 50% se encontra neste estado (IBGE, 2016). Essa produção tem seus pontos positivos que geram riqueza na economia do estado, mas também, possui o inconveniente de que produzem grande quantidade de resíduos, que podem ser uma forma de poluição nessa região, chamado de dejeto líquido de suíno (DLS).

A utilização de DLS na adubação das culturas agrícolas é uma prática comum e uma forma de descarte desse resíduo. Adubações frequentes com DLS são eficientes para nutrir a cultura do milho, gerando aumentos consideráveis na produtividade da cultura (SCHERER et al., 2010; CASSOL et al., 2012; PANDOLFO & VEIGA, 2016). Aumentos na produtividade de pastagens também são observados, porém, em altas doses promovem a perda de nitratos por lixiviação (GROHSKOPF et al., 2016; ASSMANN et al., 2018). Isso é possível porque o DLS possui níveis de disponibilidade de nutrientes satisfatórios, dentre os principais são o N, P_2O_5 e K_2O (CQFS-RS/SC, 2016).

A aplicação de DLS superficialmente no solo pode ocasionar perdas por transporte de nutrientes pela água de escoamento superficial, ocorrendo perdas significativas de NO_3^-, K, NH_4^+ e P principalmente quando há ocorrência de chuvas logo após a aplicação de DLS (KAUFMANN et al., 2019). Mas também, gera um enriquecimento de nutrientes no solo após sucessivas aplicações de DLS, promovendo melhoria nos atributos químicos desses solos (SCHERER et al., 2010; LOURENZI et al., 2016; ASSMANN et al., 2018).

Contudo, a adição de grandes quantidades de nutrientes aos solos, nem sempre são acompanhas de respostas na produtividade pelas culturas. Pavinato et al., (2017) encontraram melhor eficiência de recuperação de P com o uso de fertilizantes fosfatados minerais após três anos de cultivo devido a um déficit hídrico. Já Restelatto et al., (2017) observaram diminuição na eficiência de recuperação de P quando aumentaram as doses desse nutriente nas culturas de sorgo e aveia preta.

O objetivo desse presente trabalho foi avaliar a melhor dose de dejeto líquido de suíno a ser aplicada para a obtenção de altos rendimentos da cultura do milho, o acúmulo de nutrientes no solo, o índice de eficiência agronômica e a eficiência de recuperação dos

nutrientes pela cultura do milho após 15 anos com adubações anuais de DLS, adubo mineral solúvel (AM) e DLS combinado com AM.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado a campo no município de Campos Novos/SC durante o período de outubro de 2001 a junho de 2016. O local do experimento se situa em altitude de aproximadamente 862 m acima do nível do mar nas coordenadas 27°23'33" de latitude sul e 51°21'48" longitude oeste. Apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen. As chuvas são bem distribuídas durante o ano e as médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.480 mm e 16°C, respectivamente (EPAGRI/CIRAM, 2013) e a declividade do local do experimento foi de 3%.

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013). Os principais atributos químicos do solo na implantação do experimento em 2001 estão descritos na Tabela 1, sabendo-se que anteriormente a área vinha sendo utilizada com cultivos de plantas de lavoura como milho, soja, trigo, feijão e aveia num sistema de plantio direto. Na safra anterior a implantação do experimento 2000/2001, o produtor aplicou em área total, uma dose de 25 m^3 ha^{-1} de dejeto líquido de suíno.

Tabela 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.

pH	SMP	V	Al[3]	Ca[3]	Mg[3]	P[2]	K[2]	Argila	COT
		%	-------cmolc kg^{-1}-----			--mg kg^{-1}--		------g kg^{-1}------	
6,1	6,0	87	<0,01	8,2	4,6	6,4	97	680	25

Fonte: Moreira, 2004.
Legenda – pH: pH em água; SMP – pH pelo índice SMP; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K potássio trocável; COT carbono orgânico total. (1) determinado segundo Tedesco et al. (1995). (2) extrator Mehlich 1. (3) extrator KCl 1 M.

O experimento foi implantado em novembro de 2001 com objetivo de avaliar os efeitos da adição continuada de dejeto líquido de suíno em diversas doses, no rendimento da cultura, nas características químicas, físicas e biológicas.

5.2.2 Cultivos

A área foi cultivada com a sucessão de milho no verão e aveia no inverno no sistema de plantio direto, sendo que a cada quatro anos era realizada uma rotação com nabo forrageiro (*Raphanus sativus*.L) para quebrar a sucessão anual de milho-aveia. No cultivo do milho, utilizou-se cultivares de híbrido simples de ciclo precoce e com alto potencial de resposta ao manejo adotado e a adubação. O espaçamento utilizado foi de 0,60 m entre fileiras, com 4,2 plantas m^{-1} linear, totalizando um estande final de 70.000 plantas ha^{-1}. As cultivares de aveia branca (*Avena sativa* L.) e nabo forrageiro foram a aveia comum e IPR-116, semeados a lanço numa densidade de 120 e 10 kg ha^{-1}, respectivamente.

A aplicação do dejeto líquido de suíno foi realizada geralmente na primeira ou segunda quinzena de outubro, e a semeadura do milho após sete a dez dias da aplicação do dejeto. A semeadura de milho foi realizada com semeadora de plantio direto constituída por disco de corte frontal com sulcador, seguida de disco duplo desencontrado. Para o cultivo de aveia branca, utilizou-se semeadura a lanço com incorporação por grade leve para não revolver o solo, e para a cultura do nabo, semeou-se a lanço antes de chuvas de alta intensidade.

5.2.3 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos compreenderam a aplicação anual em superfície de dejeto líquido de suíno (DLS) nas doses 0 (Testemunha) 50 (DLS 50), 100 (DLS 100) e 200 (DLS 200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS) na dose de 25 m^3 ha^{-1} de dejeto líquido de suíno mais adubação mineral solúvel para complementação das exigências da cultura, conforme recomendação da CQFS-RS/SC, (2004).

O AM foi aplicado em doses equivalentes a 130, 100 e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente para os anos de 2001 a 2007 (expectativa de rendimento de 8 Mg ha^{-1}), e 170, 130 e 80 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente para os anos de 2008 a 2015 (expectativa de rendimento de 11 Mg ha^{-1}). O AM+DLS em doses conjuntas de 25 m^3 ha^{-1} de DLS, mais aproximadamente 75, 16 e 15 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, aonde foi determinado a quantidade de nutriente adicionada pelo DLS e diminuído da recomendação para a cultura. Os dois últimos tratamentos foram definidos

com base em recomendações da CQFS-RS/SC (2004). No tratamento AM, o N foi aplicado em parcelas de 20% na base e o restante, divididos em duas coberturas realizadas no estádio V5 e V9 da cultura do milho descrita por RITCHIE et al (1993). No tratamento AM+DLS, o N da fonte mineral solúvel foi totalmente aplicado em uma cobertura na primeira época comentada acima.

Os fertilizantes solúveis empregados como fontes de N, P e K foram ureia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente. As adubações de cobertura com a fonte ureia foram aplicadas antes das chuvas para minimizar as perdas por volatilização de amônia.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com 75,6 m^2 de área total e 58,3 m^2 de área útil.

5.2.4 Características do dejeto líquido de suíno

O DLS utilizado nas diversas aplicações (Tabela 2) foi gerado por animais em fases de terminação e recria, sendo recolhido e armazenado em esterqueira descoberta por cerca de 120 dias antes das aplicações no solo. O DLS aplicado teve uma concentração de 1807 e 1186 mg L^{-1} de $N\text{-}NH_4^+$ e, 39,1 e 4,2 mg L^{-1} de $N\text{-}NO_3^-$, durante os anos de 2013 e 2015 respectivamente.

Tabela 2- Teores de massa seca (MS), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), fósforo (P), potássio (K) do dejeto líquido de suíno gerado por animais em fase de terminação empregado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2015 num Latossolo Vermelho Distroférrico.

Aplicação ano	**MS**	**COT**	**NT**	**P**	**K**	**Ca**	**Mg**
	---------- kg m^{-3} ----------						
10/2001	66	19,2	3,4	1,4	1,2	3,3	1,1
11/2002	26	11,2	2,6	1,0	1,2	1,8	0,7
10/2003	32	12,8	2,6	1,1	1,3	2,1	0,9
10/2004	43	16,6	3,7	1,4	1,5	2,8	1,2
10/2005	56	17,4	3,2	1,5	1,1	1,8	0,9
10/2006	46	35,6	4,6	2,8	1,7	1,7	0,9
10/2007	55	19,7	2,7	1,8	1,1	1,49	0,76
10/2008	68	23,9	2,4	0,4	1,3	0,58	0,24
10/2009	69	25,6	6,6	1,1	3,5	1,6	0,51
10/2010	57	23,2	4,1	2,1	2,2	1,4	0,6
10/2011	61	27,5	3,5	1,7	1,8	2,3	1,0
10/2012	43	-	3,8	1,4	1,9	-	-
10/2013	22	6	2,3	1,4	1,7	-	-
10/2014	28	10,2	2,8	1,5	1,8	-	-
10/2015	11	3,4	1,4	0,2	1,3	-	-
Média	45,5	18,0	3,3	1,4	1,6	1,9	0,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2019), adaptado de Cassol et. al., (2012).

Com o teor médio do DLS aplicado durante os 15 anos de condução do experimento, estimou-se o somatório de cada nutriente aplicado na área experimental que se encontra na Tabela 3.

Tabela 3- Somatório de matéria seca (MS), carbono orgânico total (COT) e macronutrientes aplicados com as adubações durante os 15 anos de condução do experimento em Latossolo Vermelho Distroférrico no município de Campos Novos/SC.

	MS	COT	N	P	K	Ca	Mg
	---------- kg ha^{-1} ----------						
Testemunha	0	0	0	0	0	0	0
AM	0	0	2310	772,9	950	177	0
AM+DLS	17075	6983,6	2310	772,9	950	892,4	300,4
DLS25	17075	6983,6	1235	520,7	614,7	715,4	300,4
DLS50	34150	13967,2	2470	1041,5	1229,5	1430,8	600,8
DLS100	68300	27934,5	4940	2083	2459	2861,7	1201,7
DLS200	136600	55869	9880	4166	4918	5723,3	2403,3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2.5 Forma de aplicação dos tratamentos

A aplicação do dejeto suíno foi realizada com distribuidor de esterco líquido da marca Mepel, com capacidade de oito mil litros. Aplicou-se superficialmente ao solo com ajuda de mangueira de menor diâmetro para manter a pressão do sistema de bombeamento do equipamento constante e facilitar a aplicação homogênea em área total das parcelas.

Nos tratamentos que consistiam da aplicação de adubo mineral solúvel, essas foram realizadas superficialmente na mesma época de aplicação do dejeto suíno.

5.2.6 Avaliações e análises químicas do solo

O solo foi coletado em maio de 2016 nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm, com auxílio de pá de corte até 20 cm, e trado holandês abaixo dessa profundidade. O solo foi seco, passado em peneira de 2 mm.

Os atributos químicos do solo avaliados foram: pH em $CaCl_2$, P e K extraíveis por Mehlich 1, Ca e Mg extraídos por KCl 1M nas camadas de 0 – 2,5; 2,5- 5; 5 – 10; 10 – 20, 20 – 40 e 40 – 60 cm. A análise dos atributos químicos do solo foi realizada seguindo metodologias descritas por TEDESCO et al., (1995). Os teores de Ca e Mg trocáveis foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o teor de K trocável por fotometria de chama e o teor de P disponível por colorimetria sob comprimento de onda de 882 nm, pelo método do ácido ascórbico (MURPHY & RILEY, 1962).

O índice de eficiência agronômica (IEA) foi calculado com base nos rendimentos de grãos das culturas de milho (grãos) e fitomassa de milho e aveia (matéria seca da fitomassa), comparando os tratamentos com mesma soma da adição do fertilizante NPK, utilizando-se a equação abaixo, onde o tratamento AM foi utilizado como tratamento base, conforme fórmula proposta por Goedert et al., (1986).

$$IEA\ (\%) = \frac{(Rendimento\ Tratamento - Rendimento\ Testemunha)}{Rendimento\ AM - Rendimento\ Testemunha} * 100$$

Também foi calculada a eficiência de recuperação (ER) dos nutrientes N, P e K aplicados nos tratamentos, sendo calculados com base no rendimento de grãos das culturas, utilizando equação proposta por Syers et al. (2008) e usada por Pavinato et al. (2017) e Restelatto et al. (2014):

$$ER\ (\text{kg/kg})\ = \frac{Rendimento\ Tratamento\ x - Rendimento\ Testemunha}{Quantidade\ total\ de\ nutriente\ (N,\ \ P\ ou\ K)\ aplicado}$$

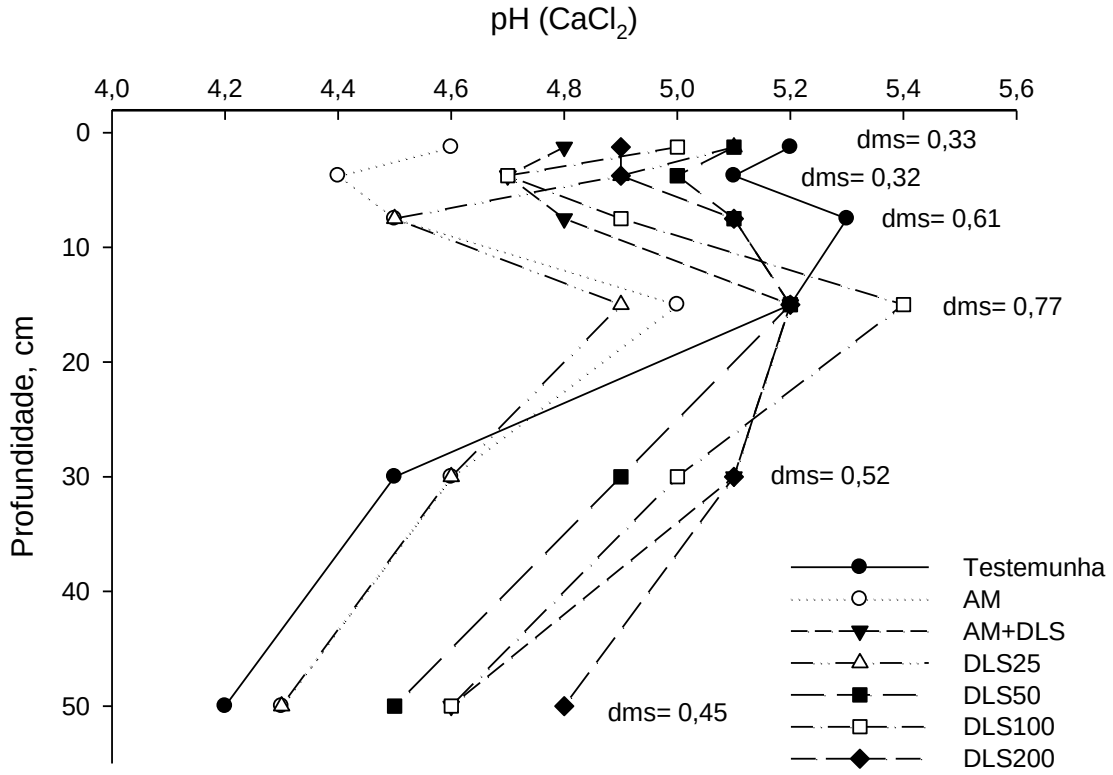
5.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e quando os efeitos foram significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) compreendendo um delineamento em blocos ao acaso, sendo avaliados em cada camada do solo empregando-se o software SAS (Cary, 2008) e os efeitos de doses do DLS representados por regressão realizadas com o programa SIGMAPLOT 11.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dejeto líquido de suíno (DLS), de modo geral, não teve efeito no pH do solo em $CaCl_2$ nas camadas avaliadas em relação à testemunha (Apêndice A), inclusive nas maiores doses aplicadas. Entretanto, o AM diminuiu os valores de pH do solo em $CaCl_2$ nas duas camadas mais superficiais em relação aos demais tratamentos que não tiveram adição de AM (Figura 1).

Figura 1- Valores de pH do solo em CaCl2 nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto e adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

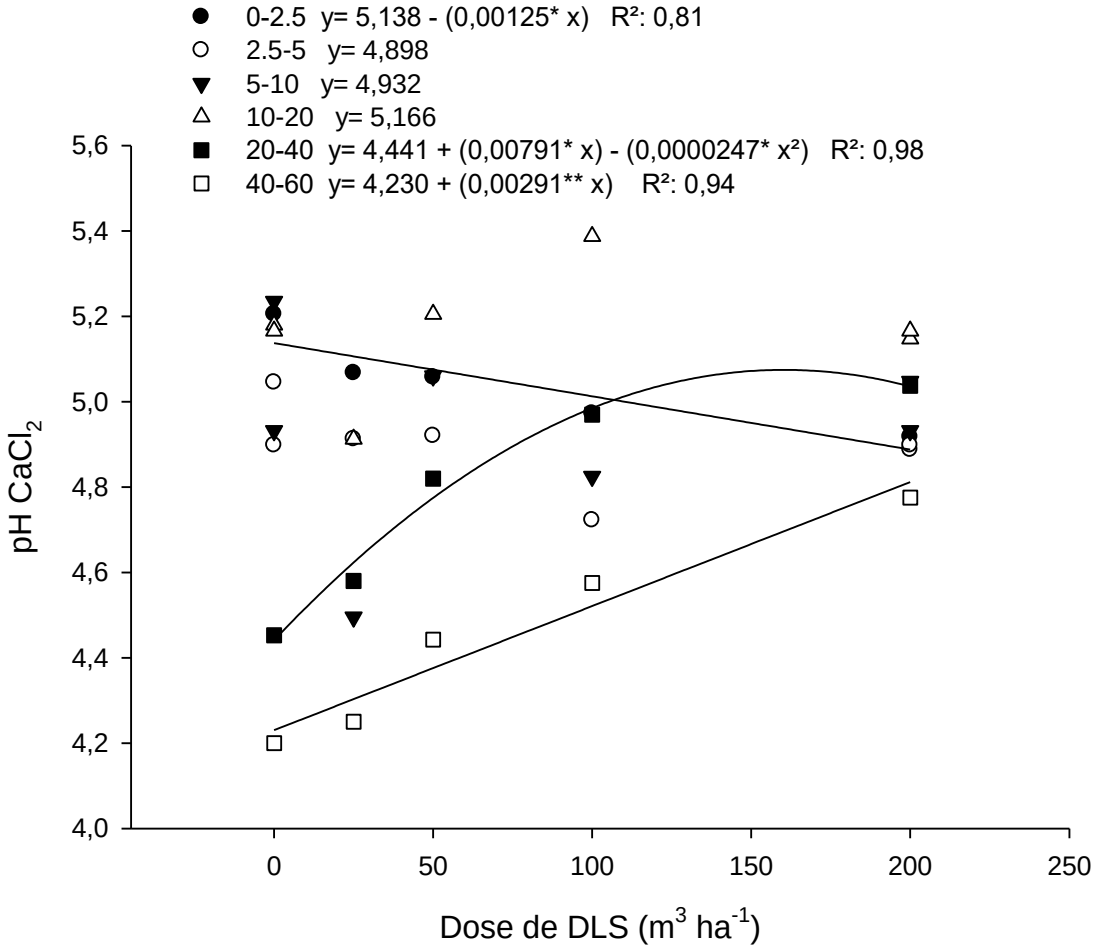
O menor valor de pH nas camadas superficiais do solo está relacionado com a adição de fonte nitrogenada acidificante nos tratamentos com adição de AM, a ureia,

utilizada na adubação dos tratamentos, a qual hidroliza formando amônio que ao ser nitrificado, ocasiona a acidificação do solo (ROSADO et al., 2014).

O DLS em doses a partir de 100 m^3 ha^{-1} aumentou o pH em $CaCl_2$ nas camadas mais profundas do solo (20-40 e 40-60 cm) quando comparada com a testemunha e na camada de 40-60 cm o DLS200 também foi maior do que o tratamento Testemunha, AM e DLS25, evidenciando a alteração do pH em profundidade com a adição de altas doses de DLS (DLS200). Alguns autores atribuem esse resultado pela maior presença de ânios ou grupos funcionais orgânicos desprotonados nos resíduos de DLS e composto orgânico de suíno, o que favorece a adsorção de íons H^+ do solo e, consequentemente, promove aumento do pH do solo (LOURENZI et al., 2011, 2016; CASSOL et al., 2012). Já Brunetto et al., (2012) não observaram alteração no pH H_2O do solo durante oito anos de condução do experimento em Argissolo Vermelho.

Pela análise de regressão para as doses de DLS, verificou-se resposta negativa no pH em $CaCl_2$ na camada superficial (0-2,5) diminuindo conforme o aumento da dose de DLS (Figura 2). Entretanto, nas camadas inferiores, o comportamento é positivo com o aumento na dose de DLS, seguindo uma regressão quadrática para a camada de 20-40 cm, e regressão linear para a camada de 40-60 cm.

Figura 2- Valores de pH do solo em $CaCl_2$ nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $m^3\ ha^{-1}$.



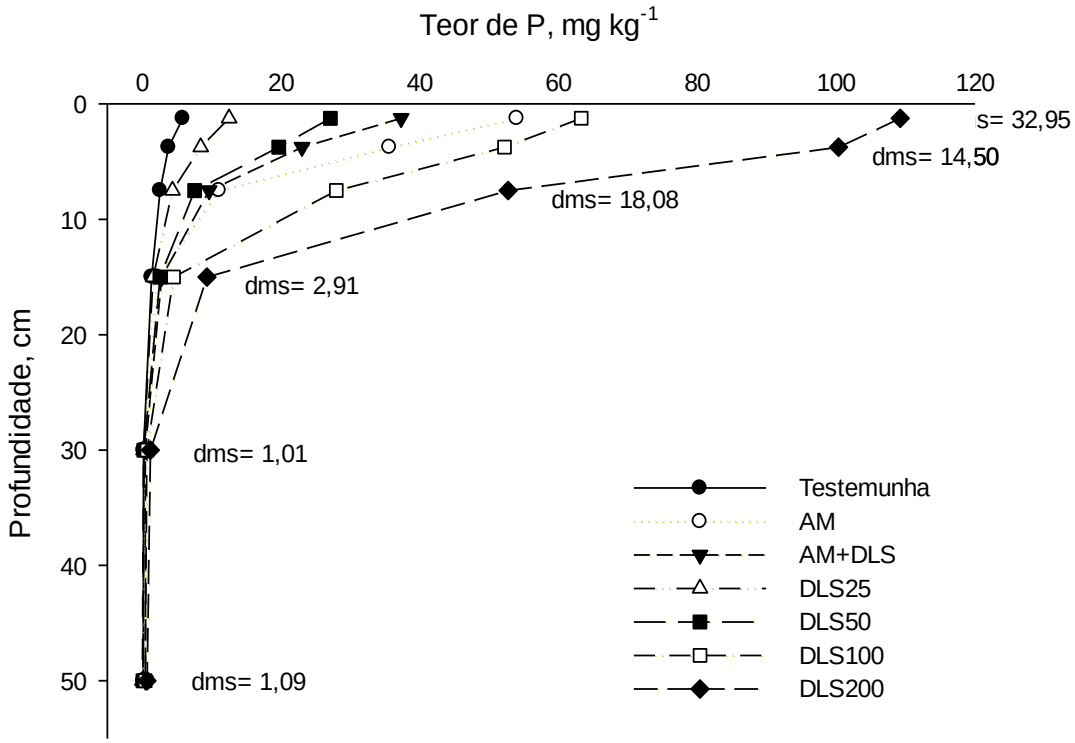
As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância ($p > 0,05$). * Significativo ao nível de 5% e ** 1% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Isso demonstra que a utilização de doses de DLS aumenta o pH em profundidade, mas ao mesmo tempo pode diminuir esse atributo na superfície do solo (0-2,5). Já Lourenzi et al. (2011) observaram aumento do pH do solo até 8 cm de profundidade com a adição de DLS. Esse aumento de pH em profundidade ocorreu devido a adição proporcionada pelo DLS de grande quantidade de ácidos orgânicos como ácidos fúlvicos e ácidos húmicos e da adsorção de H^+ pelos resíduos culturais em decomposição que fazem parte da fração não húmica da MOS.

O teor de P extraído no solo aumentou nos tratamentos com adubação em relação ao testemunha. O DLS nas doses de 100 e 200 $m^3\ ha^{-1}$ aumentou expressivamente o teor de P extraível nas camadas até 20 cm (Figura 3). Isso é justificado pela alta carga de P

adicionado com essas doses ao longo dos 15 anos de aplicação, 2100 e 4200 kg ha^{-1} de P adicionado respectivamente com os tratamentos DLS100 e DLS200, o que representa cerca de 36 e 72 vezes a quantidade absorvida e exportada pela cultura do milho nas duas maiores doses. O P se liga fortemente aos colóides do solo nas camadas superficiais, principalmente por complexo de esfera interna ou adsorção específica (NOVAIS & SMYTH 1999). Embora os teores de P não tenham sido afetados significativamente nas camadas inferiores a 20 cm, este pode ser lixiviado no perfil do solo e mobilizado para camadas mais profundas. Lourenzi et al. (2013) encontraram incremento de P total até 30 cm e P disponível até 60 cm de profundidade quando avaliaram os efeitos da adição de DLS em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico.

Figura 3- Teor de P extraível (Mehlich) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Guardini et al. (2012) observaram acúmulo de P extraído até 15 cm e P total até 30 cm de profundidade em Argissolo sob adubações de dejetos de suínos. Entretanto, em

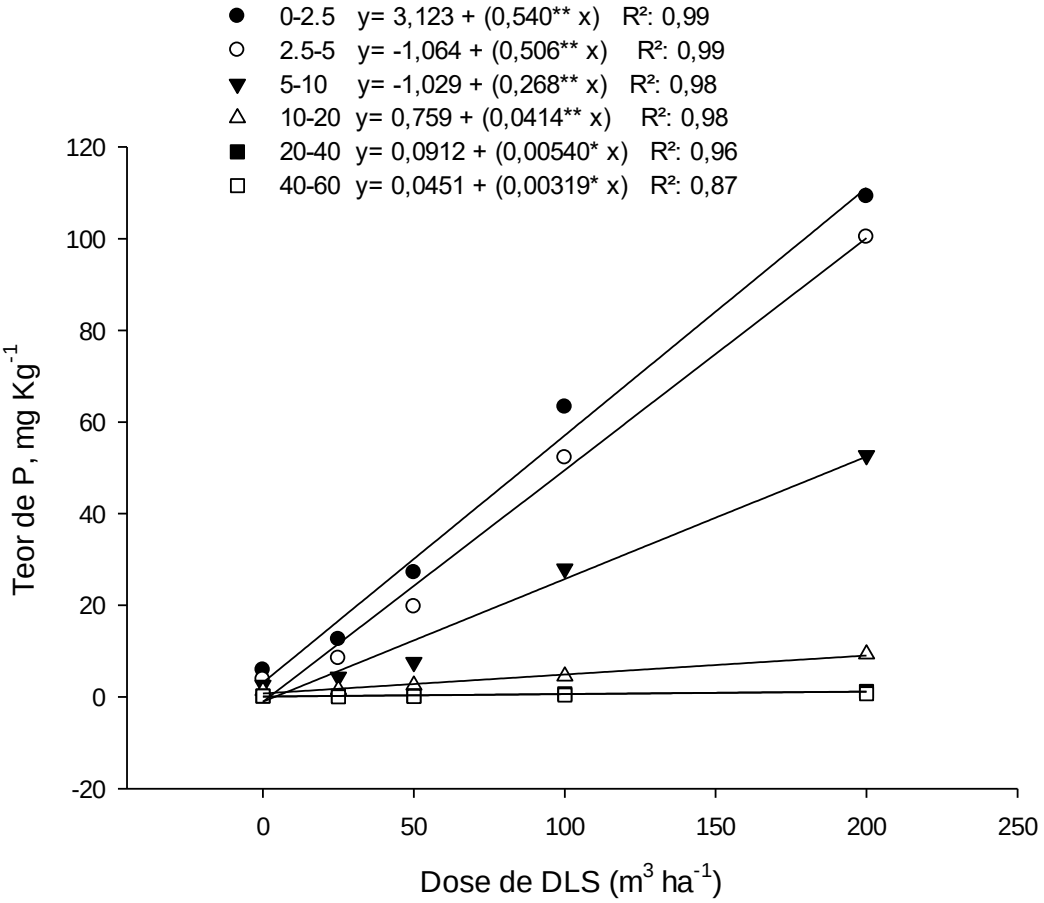
10 anos de cultivo Cassol et al. (2012) também encontraram acúmulo de P nas camadas até 5 cm, o que demonstra que o P está descendo no perfil, pois as aplicações foram superficiais e não houve revolvimento do solo, já que o sistema adotado foi o plantio direto.

Na dose de 200 m^3 ha^{-1}, o DLS aumentou os teores de P extraível, se destacando dos demais tratamentos até a profundidade de 20 cm. Já nas camadas mais profundas (20-40 e 40-60 cm) não houve diferença entre os tratamentos. O acúmulo de P em profundidade no solo foi observado por diversos autores (SCHERER et al., 2010; CASSOL et al., 2012; LOURENZI et al., 2013) com aplicações de DLS demonstrando sua mobilidade quando adicionado em grandes quantidades.

Analisando os resultados de P disponível com a instrução normativa da FATMA (IN nº11 de 2014) a qual reformula o máximo de DLS a ser aplicado por área, pode-se observar que através do cálculo proposto nessa instrução normativa, a quantidade máxima de P disponível para esse solo para atingir o LCA-P é de 108 mg L^{-1}. Esse é o valor crítico para a camada amostrada de 0 - 10 cm e contendo esse teor máximo. Conforme demonstrado nos resultados de P, a média ponderada da camada de 0 – 10 cm para a maior dose de DLS (DLS200), foi de 78,77 mg L^{-1} de P disponível. Isso nos mostra que a capacidade de adição de P nesse solo está perto do LCA-P, porém ainda existe uma margem para atingir o LCA-P e assim, poder cultivar este solo nesse sistema de manejo.

Ao se avaliar somente as doses de DLS, observou-se correlação linear positiva para P disponível no solo com o aumento da dose de DLS em todas as camadas analisadas (Figura 4).

Figura 4- Teor de P extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}.

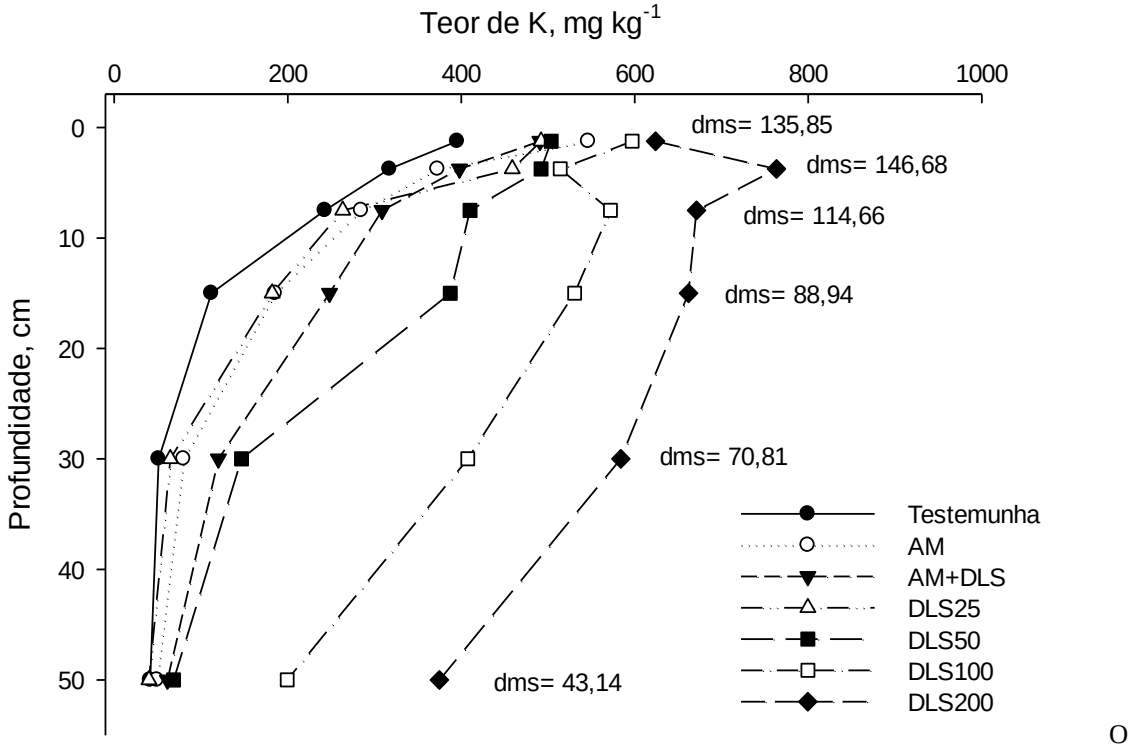


As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância (p > 0,05). * Significativo ao nível de 5% e ** 1% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O incremento de P disponível até 60 cm de profundidade também foi observado por Lourenzi et al. (2013) num Argissolo Vermelho após 19 aplicações de DLS, os autores relataram também, que isso ocorreu devido aos altos teores de P no DLS aplicado no solo durante os 93 meses de condução do experimento. Penha et al. (2015) observaram aumento nos teores de P na camada superficial do solo com aplicação de DLS por longo tempo de aplicação em solos brasileiros altamente intemperizados.

Os teores de K variaram de 40 mg kg^{-1} no tratamento DLS25 na camada 40-60 cm, à 764 mg kg^{-1} na maior dose de DLS (DLS200) na camada 2,5-5 cm (Apêndice C). No geral, o teor de K no solo aumentou nos tratamentos com a adubação em relação ao tratamento Testemunha (Figura 5).

Figura 5- Teor de K extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



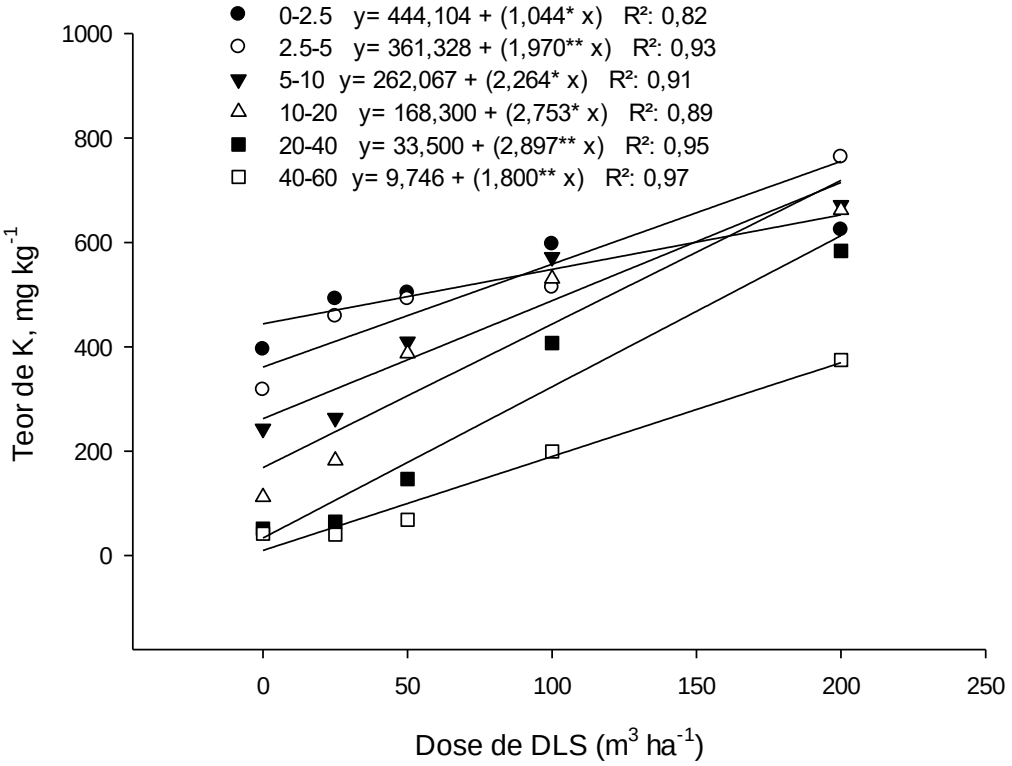
O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os tratamentos com as doses de DLS (DLS100 e DLS200) tiveram os maiores valores de K no solo de forma geral em todas as camadas amostradas. Com exceção ao DLS100 na camada de 2,5-5 que se igualou aos demais tratamentos, sendo maior somente que o Testemunha e menor que o DLS200. Os resultados demonstram a alta mobilidade do K no perfil do solo quando adicionado em quantidades excedentes em relação à extração pelas culturas como nos tratamentos DLS100 e DLS200, o qual adicionou 192 e 384 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1} respectivamente.

A mobilidade do K também foi relatada por outros autores como Lourenzi et al. (2013) e Silva et al. (2015) que observaram a alta solubilidade do potássio presente no dejeto líquido de suíno, demonstrando a transferência para camadas mais profundas, podendo-se inferir que a lixiviação transporta esse nutriente para profundidades abaixo

de 60 cm.

Figura 6- Teor de K extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}.



As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância (p > 0,05). * Significativo ao nível de 5% e ** 1% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O teor do K no solo aumenta linearmente com o aumento das doses de DLS, demonstrando uma correlação positiva e altamente significativa. Observou-se aumento significativo de K disponível até a camada de 60 cm de profundidade, demonstrando a alta movimentação do K no perfil do solo, com potencial de perda por lixiviação quando utilizadas altas doses de até 200 m^3 ha^{-1} de DLS. Esses dados se assemelham aos encontrados por Sacomori et al. (2016) que confirmaram a maior lixiviação de K até 80 cm de profundidade com as maiores doses de DLS observadas na mesma área experimental.

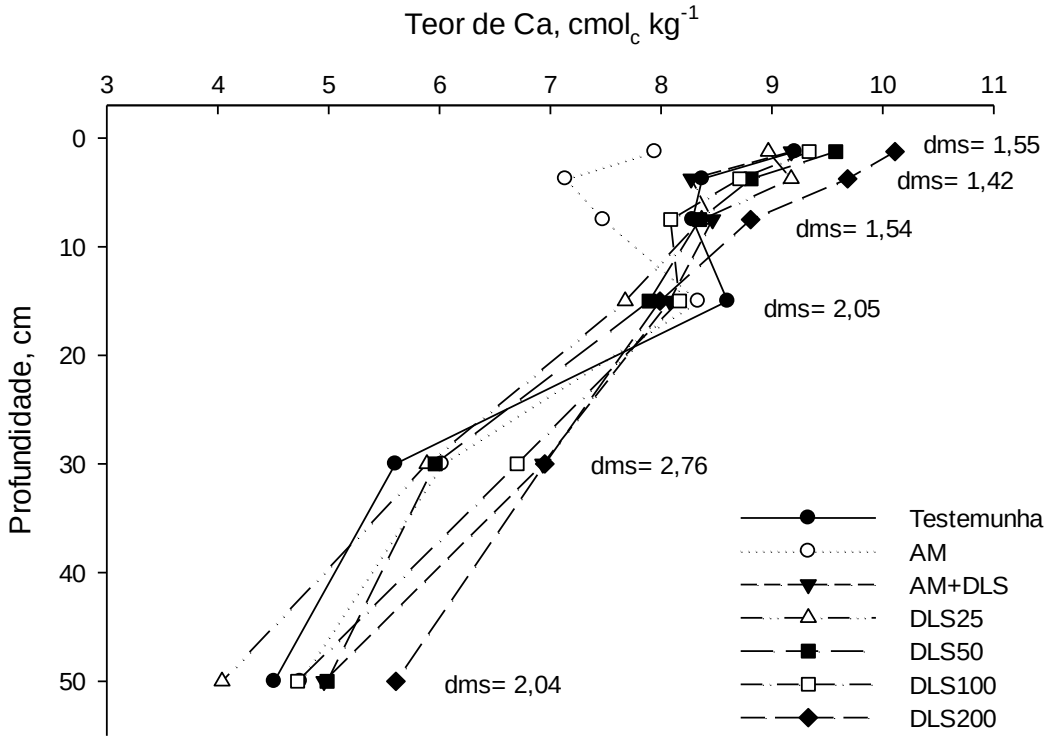
Regressão linear positiva também foi observada por Lourenzi et al. (2016) na utilização de doses de composto orgânico de dejeto líquido de suínos, onde houveram aumentos significativos de K até a camada de 20 cm num Latossolo Vermelho

Distroférrico típico com seis anos de aplicações dos tratamentos. Outros autores encontraram esse mesmo efeito com o uso de DLS (SCHERER et al., 2010; LOURENZI et al., 2013).

O teor de Ca^{+2} trocável no solo variou de 4,04 $cmol_c\ kg^{-1}$ no tratamento DLS25 na camada de 40-60 cm à 10,11 $cmol_c\ kg^{-1}$ no tratamento de maior dose DLS200 na camada superficial 0-2,5 cm (Apêndice D).

A aplicação de DLS no solo aumentou os teores de Ca^{+2} nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5 cm comparado com a adubação mineral solúvel (Figura 7). Isso pode ser ocasionado pela diminuição do pH do solo e consecutivamente a diminuição das cargas negativas do solo ocorrida no tratamento AM (CASSOL et al., 2012) onde foi utilizado N em cobertura na forma de ureia, fonte amídica que acidifica o solo, deixando mais Ca^{+2} na solução propensos a lixiviação. Já o DLS, não promove aumento e nem diminuição do pH do solo (BRUNETTO et al., 2012) sem alterar as cargas do solo.

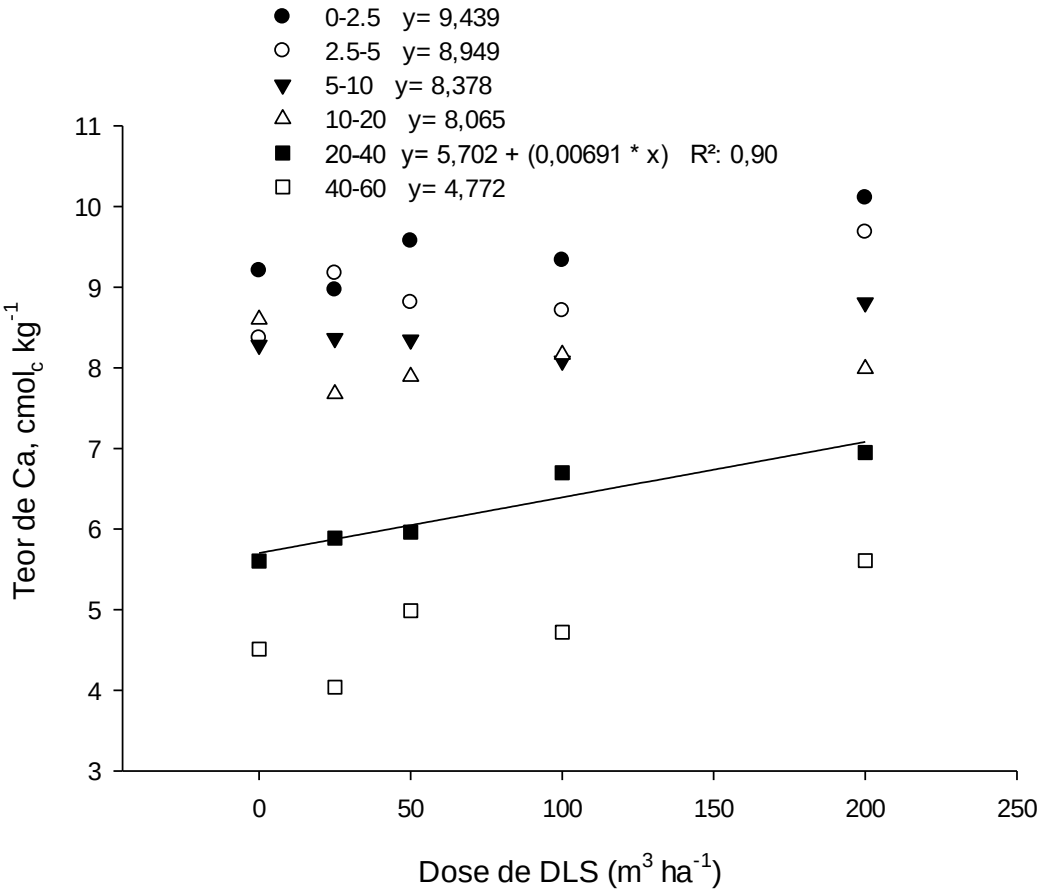
Figura 7- Teores de Ca trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $m^3\ ha^{-1}$, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na camada de 40-60 cm, a maior dose de DLS (DLS200) diferiu no teor de Ca^{+2} nos tratamentos Testemunha e na menor dose de DLS (DLS25). Nas demais profundidades, os tratamentos não diferiram significativamente entre si. Para uma análise de regressão do teor de Ca disponível no solo, ocorreu diferença para a camada de 20-40 cm, apresentando regressão positiva com o aumento nas doses de DLS (Figura 8).

Figura 8- Teor de Ca extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) $m^3\ ha^{-1}$.



As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância (p > 0,05). * Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

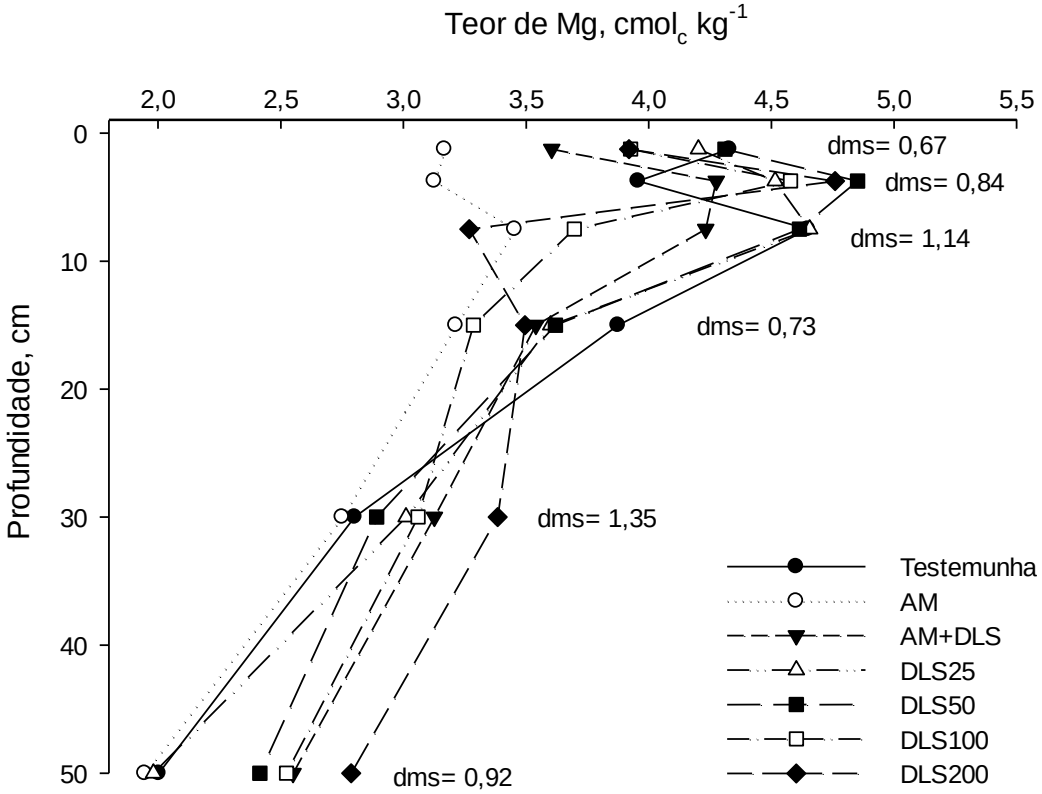
O aumento de Ca na camada de 20-40 cm está relacionado com o aumento no teor de Ca em profundidade quando se aumentou a aplicação de DLS e, consequentemente com o aumento da saturação por bases desse elemento, tal como verificado por Brunetto

et al. (2012).

O teor de Mg^{+2} trocável no solo variou de 1,95 $cmol_c$ kg^{-1} na maior profundidade do tratamento AM, até 4,85 $cmol_c$ kg^{-1} na camada de 2,5-5 cm no tratamento DLS50 (Apêndice E). A diferença ocorreu somente nas três primeiras camadas superficiais amostradas.

O tratamento AM apresentou, de modo geral, menor teor de Mg^{+2} quando comparado aos demais tratamentos adubados (Figura 9). Na camada 0-2,5 cm a Testemunha se igualou aos tratamentos que tiveram somente adição de DLS, diferindo apenas dos tratamentos com adubação mineral solúvel (AM e AM+DLS) (Apêndice E) nos quais os teores de Mg^{+2} foram mais baixos.

Figura 9- Teores de Mg^{+2} trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

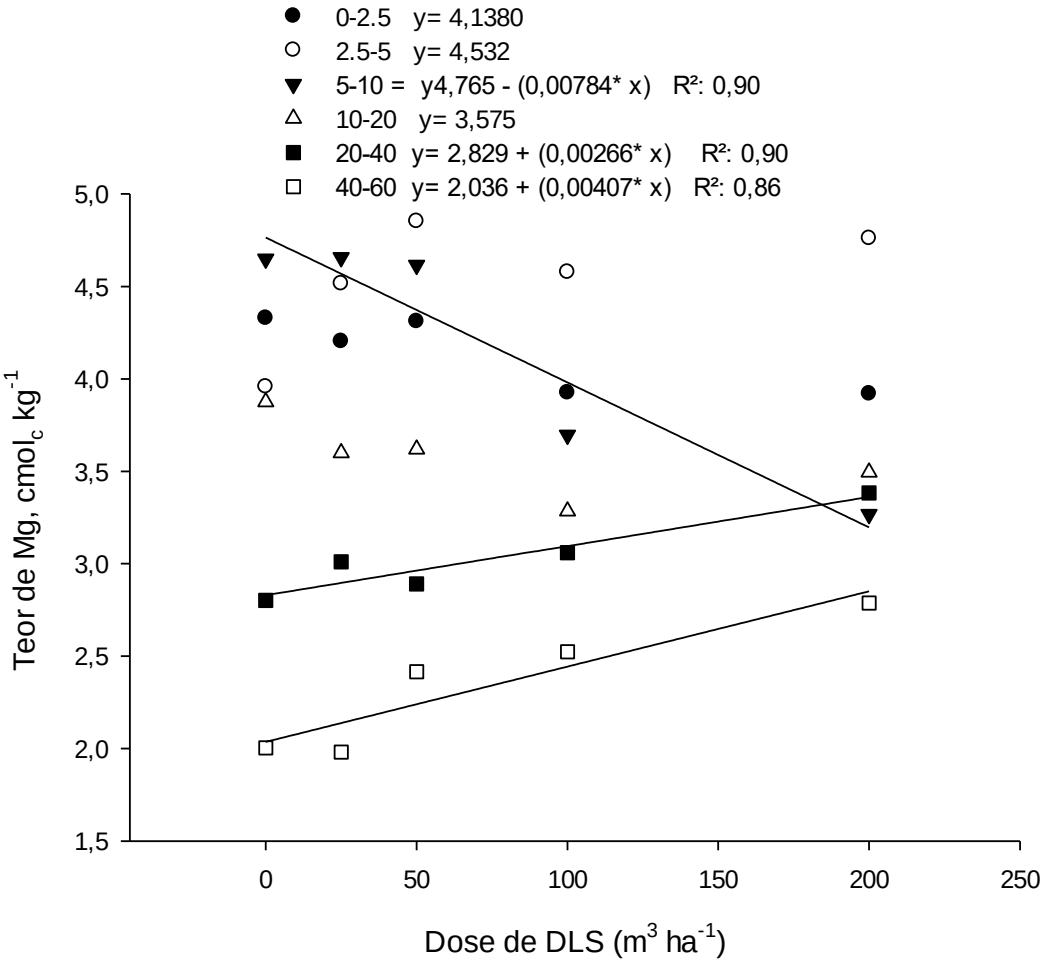


O dms indica a diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos nas camadas pelo teste de Tukey a 5%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O menor teor de Mg^{+2} trocável no solo encontrado nos tratamentos com adubo mineral solúvel pode ser justificado pela ausência desse nutriente na fertilização e também relacionado ao menor pH existente, o qual possui alta exportação pelos grãos do milho nos tratamentos que obtiveram adubações em relação ao Testemunha, consecutivamente, por obterem maior produtividade. Isso foi observado por Cassol et al. (2012) na mesma área experimental quando realizou o estudo com dez anos de condução do experimento. Incrementos significativos de Mg trocável também foram observados na camada de 20-30 cm com a maior dose de DLS aplicado sob Argissolo Vermelho (BRUNETTO et al., 2012).

O teor de Mg disponível na camada de 5-10 cm se comportou numa correlação negativa, diminuindo com o aumento da dose de DLS (Figura 10). Já nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, a correlação foi positiva, ou seja, o aumento na dose de DLS aumentou os teores de Mg trocável no solo.

Figura 10- Teor de Mg extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}.



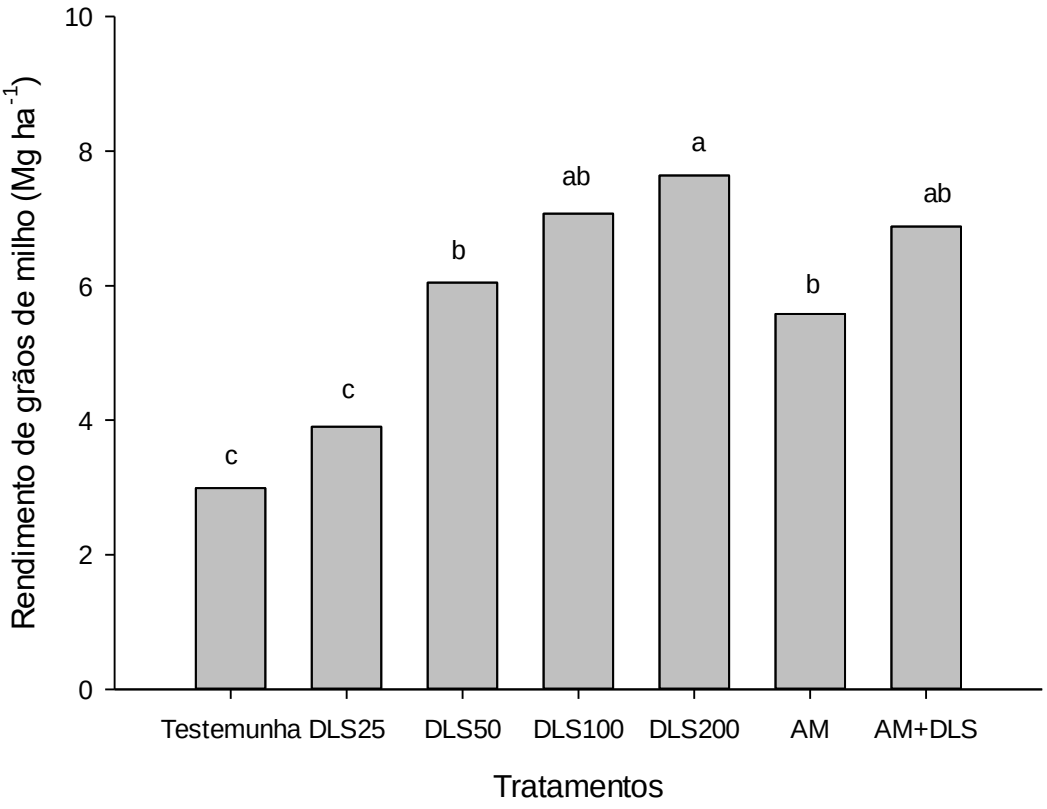
As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância (p > 0,05). * Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A menor concentração de Mg nas camadas superficiais do solo pode estar relacionada com a concentração de K em excesso, concorrendo com as cargas da CTC do solo, assim lixiviando os demais cátions (Ca e Mg) no perfil do solo sendo acumulados nas camadas mais profundas. Esses dados podem ser comprovados com resultados encontrados por Flora et al., (2007), onde observaram que a adição de sais de potássio junto com calcário aumentou a lixiviação de Ca e Mg além do adicionada na forma de calcário em 3,6 e 4,5 vezes, respectivamente. Estão relacionados diretamente com a sua quantidade disponível e com as cargas disponíveis para se ligarem na CTC. Isso realça que a adição continuada de altas doses de DLS aos solos, promovem lixiviações de cátions básicos pelo perfil do solo, sendo que, os teores de K^+, Ca^{+2} e Mg^{+2} se comportam de

maneira semelhante, pois são cátions básicos que se ligam à CTC do solo.

O rendimento médio de milho dos últimos três anos de condução do experimento se demonstrou crescente com o aumento das doses de DLS (Figura 11). os tratamentos que obtiveram a maior produtividade de grãos de milho foram o DLS200, DLS100 e AM+DLS. Isso justifica a resposta à adubação da cultura do milho com uso de doses de DLS acima de 50 m^3 ha^{-1} e sendo superior que o tratamento AM.

Figura 11- Rendimento médio de grãos de milho das safras 2013-14, 2014-15 e 2015-16 sob um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto após adubações durante 15 anos com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



Letras distintas diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Adubações com DLS nas doses de 50 e 100 m^3 ha^{-1} apresentaram rendimentos de grãos semelhantes quando comparadas aos tratamentos com adubação mineral (AM e AM+DLS), porem o tratamento DLS200 foi superior ao DLS50 e AM, e estes, foram superiores aos tratamentos DLS25 e Testemunha. Isso indica que altas doses de DLS não

resultam em maiores rendimentos de grãos de milho, e demonstra que a instrução normativa IN-11 da FATMA (2004) que vigorou até 2014, delimitava o uso de no máximo 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, quanto ao rendimento de grãos de milho se demonstra eficiente para a fertilização da cultura do milho, sendo que na média das aplicações o DLS possuiu 3,3 kg m^{-3} de N, suprindo uma exigência da cultura do milho para altos rendimentos. Com esta dose de DLS a cultura já alcança a faixa ótima de adubação, ou seja, possibilita 90% do rendimento relativo da cultura.

Resultados relatados por Léis et al. (2009), foram semelhantes aos encontrados nesse estudo em que, a aplicação de doses de DLS de acordo com a CQFS-RS/SC (2004) são suficientes para um bom rendimento de grãos de milho. Usando critérios para suprir a necessidade de N da cultura acaba acumulando outros nutrientes no solo como o P (BRUNETTO et al., 2012) e perdas expressivas de NO_3^- (SACOMORI et al., 2016; ASSMANN et al., 2018). Doses crescentes de N até 200 kg ha^{-1} promoveram aumento significativo no rendimentos de grãos de milho no Planalto Sul de Santa Catarina (SANGOI et al., 2011). Assim, espera-se que a resposta do milho ocorra até essa dose de N aplicada, acima disso resultará em perdas ao ambiente e sem acréscimo no rendimento de grãos.

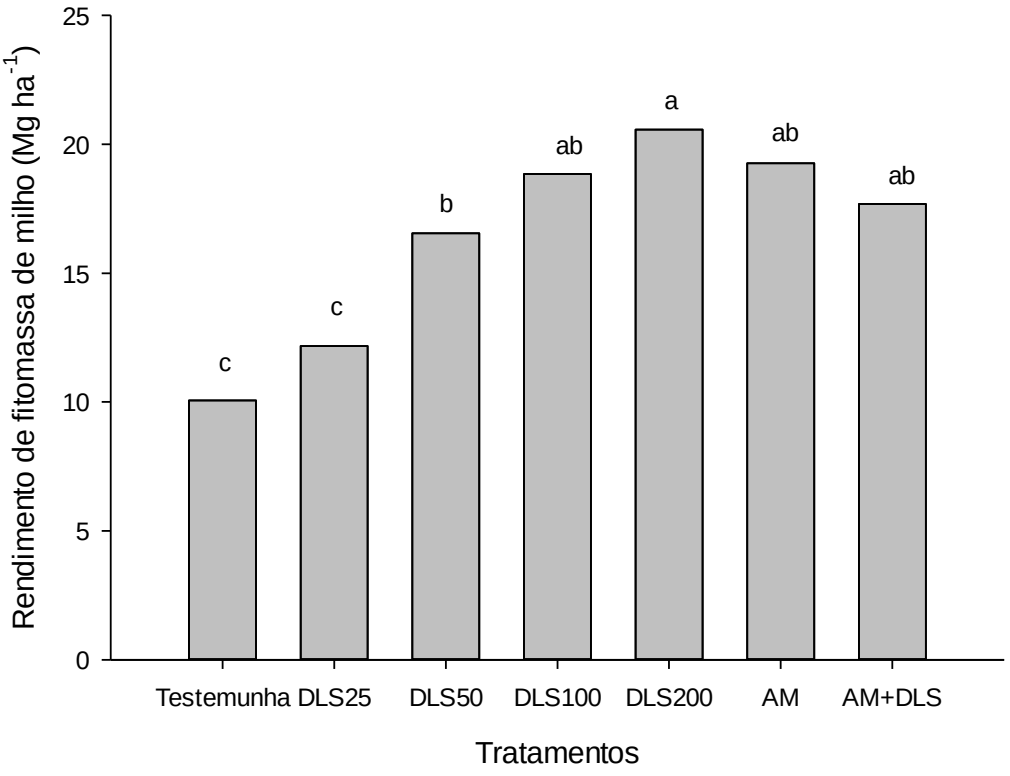
A menor produção no tratamento AM está relacionada com a quantidade de nutriente adicionada nas maiores doses de DLS (100 e 200 m^3 ha^{-1}). Outra justificativa, está relacionada com a leve acidificação do solo que provocou com os anos (CASSOL et al., 2012), pois durante os 15 anos de condução do experimento, não se modificou o pH do solo. A utilização de fontes nitrogenadas a base de amônia, com a retirada de material da área pelas colheitas na forma de fitomassa ou grãos, liberam na sua reação íons H^+, acidificando o solo (CANTARELLA, 2007).

Com isso, não há necessidade da aplicação de altas doses de DLS para alta produção de grãos de milho, visto que o transporte e a aplicação do resíduo encarecem a produção, elevando os custos. Por outro lado, incrementos expressivos nas doses de DLS aplicadas no solo aumentam consideravelmente o acúmulo de elementos com potencial poluente, como P, Zn e Cu (CASSOL et al., 2012; GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2014).

Considerando o rendimento de fitomassa da parte área da cultura do milho, o DLS também se demonstrou eficiente na adubação da cultura quando utilizada as maiores doses de 100 e 200 m^3 ha^{-1}, assim como os tratamentos com adubação equilibrada conforme manual de adubação e calagem (CQFS-SC/RS, 2004) (AM e AM+DLS)

(Figura 12). Produtividades de matéria seca foram semelhantes nos tratamentos com maiores adubações comparados com os híbridos de milho selecionados para silagem de planta inteira, onde obtiveram altos rendimentos de 25 a 29 Mg ha^{-1} de matéria seca (NEUMANN et al., 2017).

Figura 12- Rendimento médio de fitomassa da parte aérea de milho das safras 2013-14, 2014-15 e 2015-16 sob um Latossolo Vermelho Distroférrico sob cultivo de milho e aveia em sistema plantio direto após adubações durante 15 anos com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



Letras distintas diferem pelo teste de Tukey (p > 0,05).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O aumento no rendimento de fitomassa da parte aérea de milho é evidente em doses elevadas de DLS. Um dos principais fatores para o aumento da resposta do milho a isso é a elevada adição de nutrientes provida pelo DLS, principalmente o N, pelo qual a cultura do milho é altamente responsível a este nutriente (MORTATE et al., 2018).

O índice de eficiência agronômica (IEA) dos grãos e fitomassa de milho e aveia, e a eficiência de recuperação (ER) de N, P e K se encontram na Tabela 4. De modo geral,

o aumento das adubações melhora o IEA da cultura de milho para produção de grãos, porém para a produção de fitomassa de parte aérea de milho, a AM foi mais eficiente.

Tabela 4- Índice de eficiência agronômica (IEA) de grãos e fitomassa de milho e eficiência de recuperação (ER) dos nutrientes N, P e K aplicados em experimento conduzido por 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100), 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

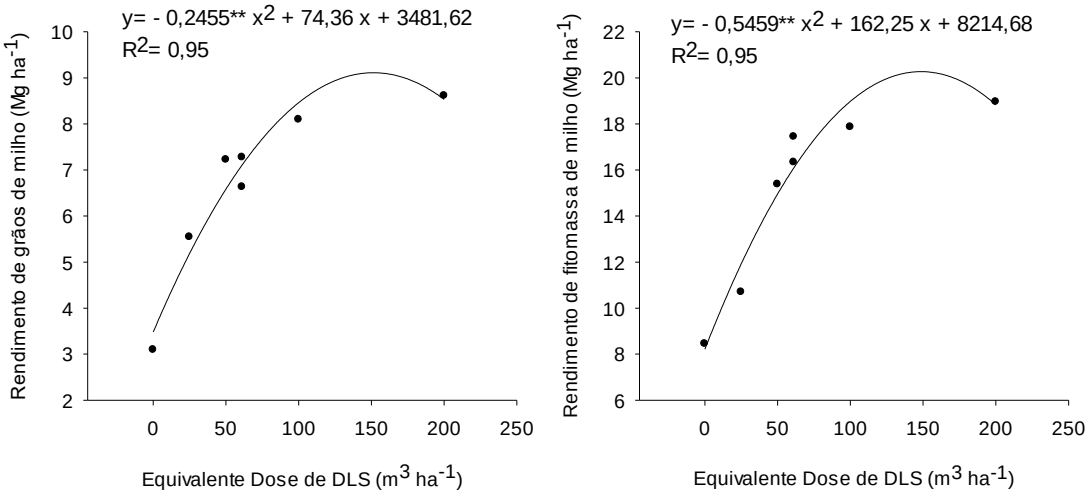
	IEA (%)			ER (kg kg^{-1})		
	Milho		Aveia	N	P	K
	Grãos	Fitomassa	Fitomassa		(kg kg^{-1})	
AM*	100,0	100,0	100,0	20,8	62,3	53,1
AM+DLS	118,2	87,8	130,5	24,6	73,7	62,7
DLS25	-	-	-	29,7	70,0	61,2
DLS50	116,6	70,5	155,9	25,0	59,0	51,6
DLS100	-	-	-	15,2	35,7	31,2
DLS200	-	-	-	8,4	19,7	17,2

* O tratamento AM foi considerado como tratamento base (100%).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O teor médio de NPK do DLS aplicado por ano no período dos últimos três anos de avaliações foi de 2,2, 1,0 e 1,6 kg m^{-3} de N, P e K respectivamente, onde somados resultou em 4,8 kg m^{-3}. A dose de DLS que se igualou à quantidade de nutriente aplicado pelo tratamento AM de 293,44 kg ha^{-1} ano^{-1} foi calculada em 61,13 m^3 ha^{-1} de DLS (Figura 13). Com isso, pode-se calcular o rendimento de grãos de milho estimados pelas regressões da Figura 13, onde resultou em rendimento de 7109,85 Kg ha^{-1} de grãos e 16093,06 kg ha^{-1} de fitomassa de milho. Esse rendimento foi de 7,2% superior para rendimento de grãos, e 16,5% inferior para rendimento de fitomassa de milho em relação ao tratamento AM.

Figura 13- Regressão do rendimento de grãos e fitomassa do milho com relação ao equivalente de nutriente aplicado nos últimos três anos em experimento conduzido por 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100

(DLS100), 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



A equivalente dose de DLS foi estimada pela média dos nutrientes do DLS aplicados nos últimos três anos (2,2, 1,0 e 1,6 kg m^{-3} de N, P e K, respectivamente). ** Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Esse aumento no IEA dos tratamentos AM+DLS e DLS50 em relação ao AM, está relacionado com a melhoria nos atributos químicos do solo com a adição de DLS (CASSOL et al., 2012; LOURENZI et al., 2013), provável maior vigor e profundidade de raízes e o aumento no teor de matéria orgânica, o qual foi relatado através do aumento do COT (MAFRA et al., 2014).

Doses intermediárias de DLS como o tratamento DLS50 são eficientes na adubação da cultura do milho, relatando um IEA superior ao tratamento AM em 16,6 % de rendimento de grãos. Já para o rendimento de fitomassa do milho, esta dose de DLS50 não foi eficiente para se igualar ao tratamento base (AM). Isso está relacionado com a baixa adição de nutrientes pelo DLS nos últimos três anos de avaliações, em que o sistema de produção de suínos do produtor mudou para um sistema que exigia maior sanidade das instalações, resultando em maior diluição do DLS, e assim, menor teor de nutrientes no mesmo (Tabela 2).

A maior resposta no IEA foi observada no rendimento de fitomassa de aveia onde houve incremento com o aumento de DLS, resultando em 30,5 % a mais de IEA para o tratamento combinado AM+DLS, e 55,9 % para o tratamento DLS50. Isso pode estar relacionado a resposta da cultura ao residual das adubações na área com DLS. Lembrando que os rendimentos de fitomassa de aveia foram utilizados do histórico de 11 anos de

coleta de dados, e o DLS usado nesse período, obteve maior teor de nutrientes, conforme Tabela 2.

Para a ER de N na cultura do milho, as maiores doses de DLS se destacam negativamente com valores baixos. Os valores variaram de 29,7 a 8,4 kg kg^{-1} para o N, 73,7 a 19,7 kg kg^{-1} para o P, e 62,7 a 17,2 kg kg^{-1} para o K, de nutriente aplicado em relação ao rendimento. Baixos valores na ER do N está relacionado com a alta adição de N pelo DLS, o qual foi de 330 e 660 kg ha^{-1} ano^{-1} de N para as doses de 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, sendo uma dose elevada não podendo ser totalmente absorvida pela cultura em doses maiores que 134 kg ha^{-1} de N (SINDELAR et al., 2015) . Já Almeida et al. (2018) encontraram valores relativamente altos na ER do N na cultura do milho de 82,4 e 86,9% para o monocultivo com milho e o consórcio com braquiária respectivamente, quando adubados com 150 kg ha^{-1} de N na semeadura, dose essa calculada para uma expectativa de rendimento da cultura adequada, assim, não afetou a ER e nem a produção de grãos de milho.

A eficiência de recuperação dos nutrientes N, P e K foram maiores quando foram utilizados menores doses de DLS. Isso está relacionado com a eficiência da cultura do milho em recuperar, ou seja, em absorver parte da quantidade de nutriente aplicado. Então, quanto maior for a adição dos nutrientes, menor serão as chances da cultura conseguir recuperar toda essa adubação. Resultados semelhantes foram encontrados por Restelatto et al. (2017) cultivando sorgo no verão e aveia no inverno, verificaram que as plantas diminuíram a ER de P quando aumentaram as doses desse nutriente.

Para a ER de P e K, foi observado boa eficiência na utilização de tratamentos com doses combinadas de AM e DLS (AM+DLS) onde obteve-se a melhor ER de 73,7 e 62,7 kg kg^{-1} de P e K respectivamente. Para a ER de P, resultados semelhantes foram encontrados em Latossolo mais argiloso com utilização de fertilizante mineral (Monoamônio fosfato) comparado com organomineral (SÁ et al., 2017).

Portanto, o uso indiscriminado de DLS sem orientações técnicas e parâmetros de absorção pela determinada cultura de importância, pode acarretar problemas futuros com acúmulo de nutrientes e/ou metais pesados no solo. Altas doses de DLS não agrega em aumento linear de produtividade na cultura do milho, sendo que, a orientação para usar doses equilibradas para o bom desenvolvimento da cultura conforme os manuais de adubação e respectivas normativas regulamentadas pelos órgãos ambientais de cada região.

5.4 CONCLUSÕES

O dejeto líquido de suíno em aplicações anuais com doses maiores que 50 m^3 ha^{-1} aumenta expressivamente os teores de nutrientes do solo, principalmente do P nas camadas dos primeiros 10 cm superficiais, sendo que para o K esse aumento chega até 60 cm de profundidade, enquanto, os teores de Ca e Mg trocáveis aumentam nas camadas superficiais do solo, até 5 cm quando são aplicadas doses maiores ou iguais a 100 m^3 ha^{-1}.

O DLS também aumenta a produção de grãos e fitomassa de milho, porém, as aplicações de doses superiores a 100 m^3 ha^{-1} de DLS não promovem incrementos significativos nessa produção.

O uso de DLS melhorou o índice de eficiência agronômica para os rendimentos de grãos de milho e fitomassa de aveia. Contudo, para a recuperação dos nutrientes N, P e K aplicados superficialmente sobre o solo, o aumento nas doses de DLS obtiveram menor eficiência de recuperação.

6 CAPÍTULO II – ESTOQUES DE CARBONO E FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO APÓS 15 ANOS SOB ADUBAÇÕES COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNO

RESUMO

SACOMORI, Wagner. **Estoques de carbono e fracionamento químico da matéria orgânica do solo após 15 anos sob adubações com dejeto líquido de suíno.** 2019. 104 p. Relatório de qualificação de Doutorado em Ciência do Solo. Área: Fertilidade e Química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2019.

O crescimento da suinocultura no Brasil tem aumentado a produção e consequente aplicação de dejetos suínos nos solos. Essa prática eleva os teores de nutrientes e de carbono orgânico (CO), devido à aplicação continuada desse resíduo. O CO é um importante indicador da qualidade e da produtividade dos solos. O objetivo do trabalho foi analisar os teores de CO nas frações de substâncias húmicas (ácidos húmicos - FAH, ácidos fúlvicos- FAF e huminas - HUM) e o acúmulo de CO do solo na safra de 2015/16, após 15 anos de aplicações de dejeto líquido de suíno (DLS). O experimento foi implantado em 2001 em Latossolo Vermelho Distroférrico cultivado com a sucessão milho-aveia sob plantio direto no município de Campos Novos/SC. Os tratamentos foram: DLS nas doses 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}; adubo mineral (AM); e DLS complementado com adubo mineral (AM+DLS), aplicados superficialmente uma vez ao ano. Determinou-se as frações das substâncias húmicas no solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm a partir da superfície. Determinou-se também os coeficientes K_1 e K_2, referentes às taxas de conversão de fitomassa em CO do solo e de degradação anual desse componente que foram estimados em 0,149 e 0,007, respectivamente. O aporte de C necessário para manter os estoques de CO do solo foi de 3,62 Mg ha^{-1} ano^{-1}. O aumento nas doses de DLS diminuíram as frações de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos no solo, favorecendo a permanência na fração humina, essa com maior recalcitrância. A relação E4/E6 aumentou com a aplicação de adubo mineral em comparação à aplicação de DLS. O aumento na fração humina e os baixos valores dos coeficientes de mineralização da matéria orgânica do solo indicam que após 15 anos de adubações com DLS em dose superior a 100 m^3 ha^{-1} ano^{-1} em Latossolo Vermelho pode ocorrer a saturação da capacidade de retenção de C no solo.

Palavras-chaves: Adubo Orgânico, Matéria Orgânica, *Zea mays*, Plantio Direto.

6.1 INTRODUÇÃO

A suinocultura exerce grande importância econômica, sendo que o Brasil ocupa a quarta posição no ranking como produtor e exportador de carne suína (MAPA, 2014). Isso demonstra a importância da atividade e o seu potencial de produção de dejetos nas regiões de criação intensiva.

O dejeto líquido de suíno (DLS) possui quantidade razoável de nutrientes em sua composição. Os nutrientes encontrados em maior quantidade são principalmente N, P_2O_5 e K_2O consistindo, em sua média, de 2,8, 2,4 e 1,5 kg m^{-3}, respectivamente (CQFS, 2004). Sendo assim, esse resíduo representa uma fonte alternativa de nutrientes para a nutrição das culturas (CASSOL et al., 2012; LOURENZI et al. 2016). De outro lado, quando há limitações de área agrícola para distribuição do DLS gerado na propriedade, geralmente os produtores procuram aplicar altas doses de DLS próximo as áreas das instalações, para evitar o custo de transporte do resíduo.

Adições de DLS ao solo como fertilizante pode ser uma alternativa, tanto para destinar racionalmente um resíduo agrícola, como para diminuir os custos de fertilizantes comerciais nas culturas. Em geral, a aplicação de DLS não promove incremento de C orgânico no solo em períodos de estudos de curto prazo (AGNE & KLEIN 2014) e até mesmo a longo prazo (BROETTO et al., 2014). Porém, alguns estudos de longo prazo mostraram aumento no teor de C orgânico pela maior produção de matéria seca das culturas depositado na superfície do solo e pelas raízes, os quais aumentaram o aporte de C (CONCEICÃO et al., 2013; MAFRA et al., 2014).

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce um importante papel nos ecossistemas terrestres e agroecossistemas resultando na melhoria na qualidade do solo. O uso de fertilizantes orgânicos ajudam a manter o rendimento das culturas estável, e a MOS em boa qualidade a nível de manejo sustentável a longo prazo (MENSIK et al., 2018). O uso de adubos orgânicos mais especificamente os estercos de animais quando usados em doses elevadas, proporcionam um impacto positivo na manutenção da MOS (WEYERS et al., 2018).

O aumento da MOS se dá por mecanismos de estabilização do C no solo e a estabilização bioquímica está relacionada com a composição do material orgânico adicionado por compostos de alta recalcitrância como lignina e polifenóis. A estabilização química da MOS está relacionada com a ligação dos compostos orgânicos e as frações minerais do solo, formando uma proteção coloidal. Logo, a estabilização física da matéria

orgânica do solo depende da estrutura do solo, onde ocorre especialmente no interior dos agregados que limita a difusão de oxigênio, o acesso dos microrganismos e enzimas dos microrganismos, aumentando assim sua estabilização e humificação (SIX et al., 2002).

As principais características que regulam as taxas de fixação de C são os sistemas de manejo do solo, além das condições climáticas e características mineralógicas do solo (SÁ et al., 2014), onde o sistema de plantio direto aumenta os teores de COS nas camadas superficiais (BAYER et al., 2004). Coeficiente k_2= 0,019 relativamente baixo no sistema de plantio direto foi encontrado por Bayer et al., (2006) relatando a menor mineralização do COS nesse sistema.

A MOS pode ser dividida em macromoléculas e substâncias húmicas (SHs) (SIX et al., 2002). Dentre as SHs, os ácidos fúlvicos são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo por meio de complexos organo-metálicos, o que caracteriza o processo de queluviação (GOMES et al., 1998). Os teores de C da fração ácido húmico (FAH), fração ácido fúlvico (FAF) e fração humina (FHum) apresentam crescimento linear com o aumento das doses de compostos orgânicos (LIMA, 2011). Áreas que recebem dejeto de suínos e cama de aves geralmente tem maiores teores na fração humina, porque esta é mais estável, possuindo também maior resistência a biodegradação (BORGES et al., 2015). Algumas características importantes das SHs foram investigadas por Murano et al. (2018) onde encontraram resultados na diminuição do efeito de inseticidas neonicotinóides sendo adsorvidos pelas SHs e, ainda maior quando adicionados íons de alumínio e ferro formando assim, complexos organo-metálicos com as SHs. Isso realça a importância do estudo das substâncias húmicas para a compreensão da dinâmica do carbono do solo.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi determinar o acúmulo de C, os coeficientes de humificação e mineralização (k_1 e k_2) e os teores de C das frações das SHs de um Latossolo Vermelho Distroférrico, após quinze anos sob aplicações de doses de dejeto líquido de suíno (DLS), adubo mineral solúvel (AM) e DLS combinado com AM.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Campos Novos/SC, durante o período de outubro de 2013 a junho de 2016, onde o experimento foi conduzido desde outubro de 2001 a junho de 2016. O local do experimento se situa nas coordenadas 27°23'33" de latitude sul e 51°21'48" longitude oeste e em altitude de 862 m. Apresenta clima

mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen. As chuvas são bem distribuídas durante os meses do ano com médias anuais de precipitação de 1.480 mm e temperatura de 16°C (EPAGRI/CIRAM, 2013).

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2013), com as seguintes características químicas na camada de 0 a 20 cm: pH 6,1; índice SMP 6,0; saturação por base de 87%; Al, Ca e Mg trocáveis 0,01; 8,2 e 4,6 cmolc kg^{-1}, respectivamente; P (Mehlich) 6,4 mg kg^{-1} e K 97 mg kg^{-1}; argila: 680 g kg^{-1} e carbono orgânico total: 25 g kg^{-1} determinado por via úmida (WALKLEY & BLACK, 1934). Anteriormente a área vinha sendo utilizada com cultivos de plantas de lavoura como milho, soja, trigo, feijão e aveia no sistema de plantio direto. Na safra 2000/2001, anterior à implantação do experimento, o produtor aplicou em área total, uma dose de 25 m^3 ha^{-1} de dejeto líquido de suíno.

6.2.1 Tratamentos e amostragens

O delineamento foi em blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com 75,6 m^2 de área total e 58,3 m^2 de área útil. O experimento foi conduzido com sete tratamentos: adubação com dejeto líquido de suíno (DLS) nas doses de DLS 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}; dejeto líquido de suíno combinado com adubo mineral solúvel (AM+DLS) na dose de 25 m^3 ha^{-1} e adubo mineral solúvel (AM).

O AM foi aplicado em doses equivalentes a 130, 100 e 60 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente para os anos de 2001 a 2007 (expectativa de rendimento da cultura do milho de 8 Mg ha^{-1}), e 170, 130 e 80 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente para os anos de 2008 a 2015 (expectativa de rendimento da cultura do milho de 11 Mg ha^{-1}). O AM+DLS foi aplicado em doses conjuntas de 25 m^3 ha^{-1} de DLS, mais aproximadamente 75, 16 e 15 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente (80% da exigência da cultura como margem de segurança para posterior correção dos nutrientes aplicados conforme análises do mesmo), aonde foi determinado a quantidade de nutriente adicionada pelo DLS e diminuído da recomendação para a cultura. Os dois últimos tratamentos foram definidos com base em recomendações da CQFS-RS/SC (2004). No tratamento AM, o N foi aplicado em parcelas de 20% na base e o restante, divididos em duas coberturas realizadas no estádio V5 e V9 da cultura do milho, conforme descrito por Ritchie et al. (1993). No tratamento AM+DLS, o N da fonte mineral solúvel foi totalmente aplicado em uma cobertura na primeira época comentada acima.

Os fertilizantes solúveis empregados como fontes de N, P e K foram ureia, superfosfato triplo (SFT) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente.

O DLS utilizado nas diversas aplicações foi gerado por animais em terminação e/ou recria, sendo recolhido e armazenado por cerca de 120 dias antes das aplicações no solo em esterqueira descoberta. Na média dos anos de aplicação, o DLS teve a seguinte composição: 45,5 kg m^{-3}, 18 kg m^{-3},3,3 kg m^{-3}, 1,4 kg m^{-3}, e 1,6 kg m^{-3} de matéria seca, COT, N, P e K, respectivamente.

A amostragem do solo foi realizada com pá de corte (0-20 cm) e trado holandês (20-60 cm) e separadas nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm a partir da superfície.

O fracionamento químico da matéria orgânica do solo foi realizado nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, conforme metodologia descrita por SWIFT (1996) adaptada por BENITES et al. (2003). Foi pesado uma amostra de solo contendo aproximadamente 30 mg de carbono orgânico total, adicionado 20 mL de NaOH 0,1 M e deixado em repouso por 24 horas. Após período de repouso, foi levado para centrifugação (5000 g por 30 min) com correção do tempo para 63 min e 2400 rpm. O sobrenadante foi recolhido em tubo falcon de 50 mL e repetido a operação para máxima recuperação das frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos. O precipitado foi reservado e levado a estufa de 65° C para a secagem e determinação da fração humina. O reservado com pH alcalino, próximo a 13, foi acidificado com ácido sulfúrico (H_2SO_4 20%) até pH 1,0, onde os ácidos húmicos precipitam em pH ácido, e sendo separados por filtração com filtro de membrana 0,45 µm a vácuo. A leitura do C nas frações líquidas e sólidas foi determinado pelo analisador elementar de carbono (TOC - Total Organic Carbon).

A determinação da relação E4/E6 das SHs foi determinada fazendo a leitura dos ácidos húmicos em espectrofotômetro de duplo feixe na região do ultravioleta-visível (UV-Visível). Esta análise consiste na avaliação espectral e massa molar das SHs utilizando os comprimentos de onda de 465 nm (E4) e 665 nm (E6) (CANELLAS, 2005). É utilizada como indicador da estabilidade e da maturidade das SHs ou do composto orgânico analisado (HE et al., 2016).

Para a coleta dos dados de densidade do solo, foram utilizados anéis concêntricos de 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura, nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Com isso, foi possível calcular os estoques de carbono do solo conforme equação proposta por Veldkamp (1994).

$$Est\ C = \frac{(\mathrm{COT} * \mathrm{Ds} * \mathrm{e})}{10}$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico total em determinada profundidade (Mg ha^{-1});

COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1});

Ds = densidade do solo na profundidade considerada (kg dm^{-3});

e = espessura da camada considerada (cm).

Para a utilização dos dados de COT inicial do experimento em 2001 determinado por via úmida (WALKLEY & BLACK, 1934), foi necessária a correção do valor de COT inicial para efeito de comparação pelo método do analisador elementar-TOC por via seca. Vários autores tem encontrado menor extração de C pelo método proposto por Walkley & Black (1934) em relação ao método por via seca, assim Krishan et al. (2009) observaram que o método subestima em 25% o teor de COT em amostras de solo de textura argilosa. Enquanto Coser et al. (2012) relataram diferença subestimada em média de 22%. Com isso os dados foram corrigidos para 25% a mais para os valores de C inicial do experimento.

A adição de C ao longo dos 15 anos de condução do experimento foi calculada pela quantidade de fitomassa adicionada pelas culturas de milho e aveia, sendo avaliados os rendimentos de fitomassa das culturas de milho e aveia e determinado o teor de C das culturas. O teor de C na fitomassa da parte aérea das culturas foi 43% e 47 % de C para a fitomassa de milho e aveia respectivamente (MAFRA et al., 2014).

Utilizou-se como base o modelo unicompartimental proposto por Hénin & Dupuis (1945) que baseia-se no balanço anual de entrada de C orgânico vezes o coeficiente de humificação ($A*k_1$) e saída de C orgânico vezes o coeficiente de mineralização ($C*k_2$) do solo (BAYER et al., 2006). Assim, os coeficientes de mineralização e humificação (k_2 e k_1, respectivamente) foram estimados a partir da equação linear entre a quantidade de C adicionado (A) e os estoques de C orgânico no solo (C_t) após 15 anos de condução do experimento, expressa pela equação: $Ct = C_0\ e^{-k2t} + A\ k_1 / k_2\ (1 - e^{-k2t})$, onde: Ct é a quantidade de carbono no solo num tempo "t"; C_0 é o estoque original de carbono; "A" é a adição anual de resíduos; k_1 = coeficiente de conversão dos resíduos em MOS (coeficiente isohúmico); k_2 = coeficiente de mineralização da MOS; e "e" é logaritmo natural neperiano. Entretanto, a primeira derivada da equação: $dC/dt = Ak_1 - k_2C$, onde temos que, a quantidade de carbono orgânico adicionado ao solo (Ak_1) menos a

quantidade de carbono orgânico perdido (k_2C) retrata a variação no estoque de matéria orgânica no solo (dC/dt). Contudo, se a entrada de C for igual a saída, então o sistema se manterá em equilíbrio sem a alteração nos estoques de COS ao longo do tempo.

6.2.2 Análise estatística

Utilizou-se o software SAS (Cary, 2008) e quando os resultados foram significativos para a análise de variância ANOVA, foram aplicados teste de médias Tukey a 5 % de significância. A análise de regressão foi utilizada para relacionar o estoque de C orgânico do solo com a quantidade de C adicionado pelos tratamentos, e os teores de COT com as doses de DLS.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de C pela fitomassa da parte aérea e das raízes das culturas do milho e aveia, considerando também os dados obtidos por Mafra et al. (2014), variou de 6,56 a 14,10 Mg ha^{-1} ano^{-1} no tratamento Testemunha e DLS200, respectivamente (Tabela 5). A menor adição de C pela fitomassa no tratamento Testemunha se deve pela ausência de adubação durante os 15 anos de condução do experimento. Isso reduz a fertilidade do solo devido à constante exportação dos nutrientes pela colheita dos grãos da cultura do milho e com isso, diminui a quantidade de resíduos culturais adicionados.

Tabela 5- Adição anual de C pela fitomassa da parte aérea (FPA) de milho e aveia e C adicionado pelo DLS durante 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m³ ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

	Milho	Aveia	Raízes	Total FPA+R	DLS	Total
Tratamentos	C FPA	C FPA	C	C	C	C
	---------- Mg ha^{-1} ano^{-1} ----------					
AM	8,28	1,34	2,89	12,51	0,00	12,51
AM+DLS	7,60	1,53	2,74	11,87	0,45	12,32
Testemunha	4,33	0,72	1,51	6,56	0,00	6,56
DLS25	5,24	1,11	1,90	8,25	0,45	8,70
DLS50	7,12	1,69	2,64	11,45	0,90	12,35
DLS100	8,11	1,87	2,99	12,97	1,80	14,77
DLS200	8,84	2,00	3,25	14,10	3,60	17,70

* C FPA – Carbono da fitomassa da parte aérea do milho (média dos últimos três anos de amostragens) e da aveia (média dos 11 anos de amostragens). FPA+R – Fitomassa da parte aérea mais fitomassa das raízes. O C adicionado pelas raízes foi estimado conforme proposto por Bolinder et al. (1999) = 0,3 x C da fitomassa da parte aérea de cada cultura (MS da parte aérea de milho + MS parte aérea da aveia).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os maiores valores de adição de C estão relacionados principalmente com a alta produção de fitomassa pelas culturas do milho no verão e aveia no inverno, e também com a adição desse elemento pelas raízes das culturas, as quais exercem grande importância no aporte de C ao solo. Komainda et al. (2018) observaram que a utilização das culturas para silagem, nas quais se retira quase toda a parte aérea da MS produzida, não causa grande impacto nos estoques de C do solo, desde que sejam cultivadas culturas de inverno, dada a importância da biomassa das raízes para a manutenção dos estoques de C no solo.

Os tratamentos que incluíram alguma fonte de adubação, seja ela com adubo mineral ou orgânico, aumentaram o teor de COT do solo em relação ao tratamento Testemunha nas camadas de 0 a 20 cm (Tabela 6). Nessas camadas, o DLS em doses de 100 e 200 m^3 ha^{-1}, obteve os maiores teores de COT em relação aos demais tratamentos, porém os teores variaram significativamente somente do tratamento Testemunha. Já nas camadas inferiores (20 a 40 e 40 a 60 cm) não houve variação significativa no incremento de COT.

Tabela 6- Teor de Carbono Orgânico Total (COT) do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

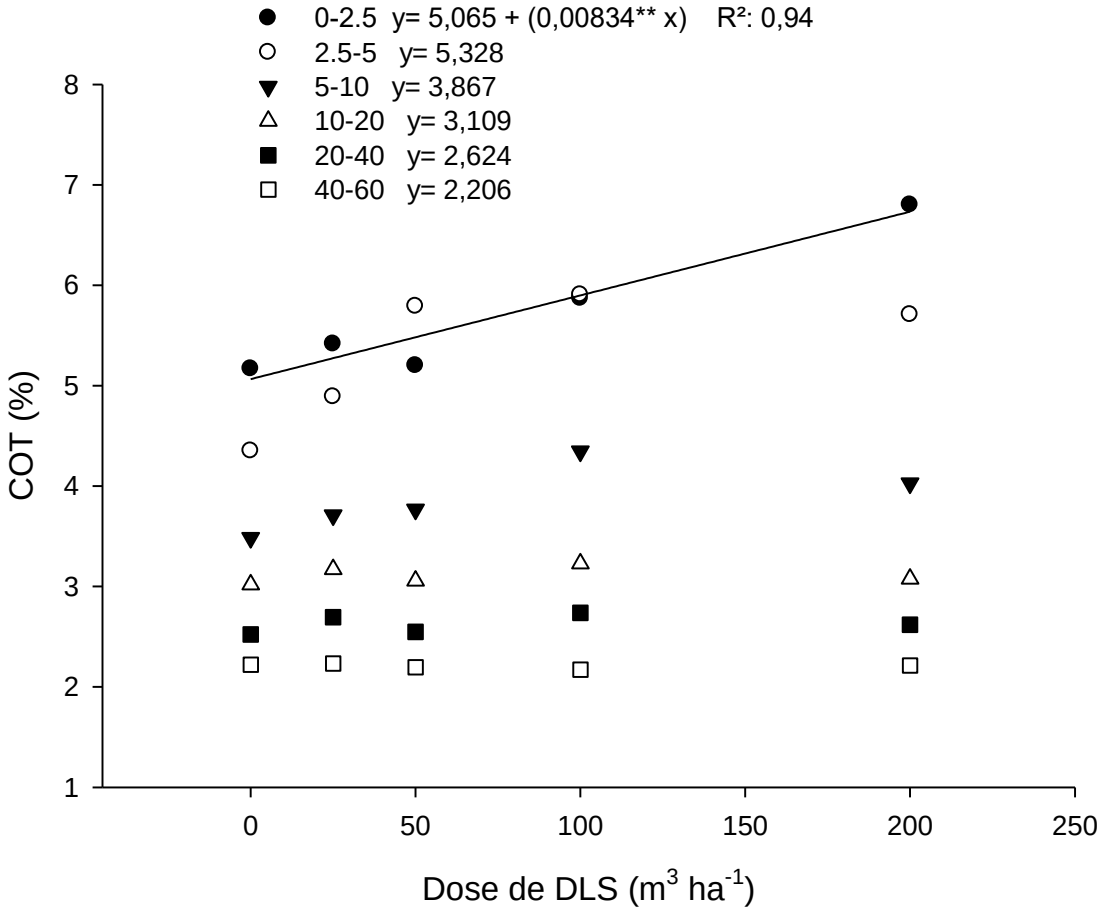
Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV (%)
	---------- g kg^{-1} ----------							
0 – 2,5	57,5 b	61,2 ab	66,0 ab	59,7 ab	58,8 ab	75,7 a	75,5 a	12,96
2,5 – 5	44,4 b	51,2 ab	50,1 ab	48,9 ab	57,9 a	59,1 a	57,1 a	12,80
5 – 10	34,5 c	39,8 abc	38,4 bc	37,1 bc	37,3 bc	44,8 a	40,3 ab	9,69
10 – 20	30,2 b	32,2 a	31,0 ab	31,7 ab	30,6 ab	32,3 a	30,8 ab	3,65
20 – 40	25,2	27,2	26,6	27,0	25,5	27,4	26,2	8,08
40 – 60	22,2	23,2	22,8	22,3	22,0	21,7	22,1	6,49

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As diferenças observadas até 20 cm de profundidade, podem estar relacionadas com a maior representação do volume de raízes que ocupam essa camada deste solo. Já que foi observado que os tratamentos DLS200, DLS100 e AM apresentaram maior adição de MS pela fitomassa produzida (restos de cultura do milho no verão e aveia no inverno) (Tabela 5). Assim, os tratamentos com maior adição de matéria seca na superfície ao longo dos 15 anos de experimento podem ter contribuído para obter a variação no incremento dos teores de COT entre os tratamentos conforme citados acima (LOURENZI et al., 2014; MAFRA et al., 2014).

Observou-se maior teor de carbono nas camadas superficiais do solo e um gradiente decrescente em profundidade (Tabela 6), possivelmente em decorrência do tipo de manejo adotado, no caso plantio direto, onde não há revolvimento do solo e a maior parte da fitomassa resultante dos restos de cultura do milho e da aveia são mantidos na superfície (BAYER et al., 2004). Na Figura 14 pode ser observado que na camada superficial (0-2,5 cm) o teor de COT do solo aumentou de forma significativa em função das doses de DLS neste sistema de manejo.

Figura 14- Teor de COT no solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}.



As regressões representadas com linhas diferem pelo teste de variância (p > 0,05). ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os estoques de COT do solo estão relacionados com os coeficientes de humificação e mineralização da MOS. Assim, as quantidades de resíduos vegetais mantidos sobre o solo e o tipo de preparo determinam os coeficientes de humificação do material vegetal depositado sobre o solo, e os coeficientes de decomposição da MOS. Quando a adição de resíduos for maior que a decomposição, há um aumento nos estoques de MOS, favorecendo os processos de agregação do solo levando a estabilidade do sistema (MAZURANA et al., 2013). Silva et al. (2015) não observaram aumentos nos teores de COT do solo com uso de DLS em curto período de tempo sob Latossolo Vermelho Distrófico. Mas a longo prazo, foram relatados incrementos de COT do solo como efeito do uso de DLS sob Latossolo Vermelho (MAFRA et al., 2014; LOURENZI

et al., 2016).

Os maiores estoques de CO foram observados nos tratamentos DLS 100, seguidos pelos tratamentos DLS200, AM+DLS e AM diferindo somente do tratamento Testemunha na camada de 0 a 20 cm (Tabela 7). Observou-se semelhança na quantidade de CO no solo no tratamento com 200 m^3 de DLS comparado como o tratamento com metade dessa dose (DLS100). Esse resultado pode estar relacionado com a saturação da capacidade do solo de acumular CO, pois o incremento no aporte de C pela fitomassa, não foi acompanhado de aumento do seu estoque no solo. Além disso, também pode ter influência da baixa relação C/N do DLS aplicado sobre os restos culturais do milho e aveia. A maior quantidade de N pode promover um aumento na atividade microbiana e em consequência maior decomposição do substrato orgânico. A decomposição do material orgânico na superfície do solo não necessariamente resulta em maior quantidade de MOS por que a sua humificação e estabilização dependem de mecanismos bioquímicos, químicos e físicos (SIX et al., 2002).

Tabela 7- Estoques de COT nas camadas de 0 a 20 cm após 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

	AM	AM+DLS	Testemunha	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV (%)
Camadas	---------- Mg ha^{-1} ----------							
0-2,5	17,5 ab	19,9 ab	17,4 ab	16,9 b	16,4 b	21,8 a	20,5 ab	13,0
2,5-5	14,9	15,1	13,3	14,3	16,3	15,8	16,5	12,6
5-10	25,4 a	24,8 a	20,3 b	23,6 a	23,6 a	26,3 a	25,1 a	7,8
10-20	42,1 a	40,7 a	34, 1 b	41,4 a	40,8 a	41,6 a	40,6 a	6,8
0-20	99,8 a	100,5 a	85,0 b	96,3 ab	97,1 a	105,5 a	102,7 a	6,7

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O tratamento AM+DLS apresentou maior estoque de carbono na camada superficial que o tratamento com adubação mineral com uma diferença de 2,4 Mg ha^{-1} e do tratamento com 50 m^3 de DLS (DLS50) com 3,5 Mg ha^{-1}. A prática de combinação das fontes mineral e orgânica de adubação pode ser eficiente para obter melhores resultados nos estoques de C e também, no rendimento das culturas (CASSOL et al., 2012).

Pode-se observar que os tratamentos com adubação mineral (AM+DLS e AM) e os tratamentos com adubação orgânica com DLS nas doses próximas ou superiores a exigência nutricional da cultura do milho, resultaram nos maiores estoques de COT na camada de 0-20 cm, diferindo somente do tratamento Testemunha (Tabela 7). Isso comprova que a adição de C ao solo é fundamental para a manutenção dos estoques de C do solo, oriundo do aporte da parte aérea das culturas (Tabela 5).

Os dados de estoques de COT permitem o cálculo dos coeficientes de humificação (k_1) e mineralização da matéria orgânica (k_2) os quais foram estimados a partir da relação da adição de C e dos estoques de C orgânico (Tabela 5) e a utilização dos valores do coeficiente angular gerado na equação de regressão linear no gráfico da Figura 14. Os coeficientes k_1 e k_2 estimados para o Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto foram de 0,149 e 0,007 por ano, respectivamente.

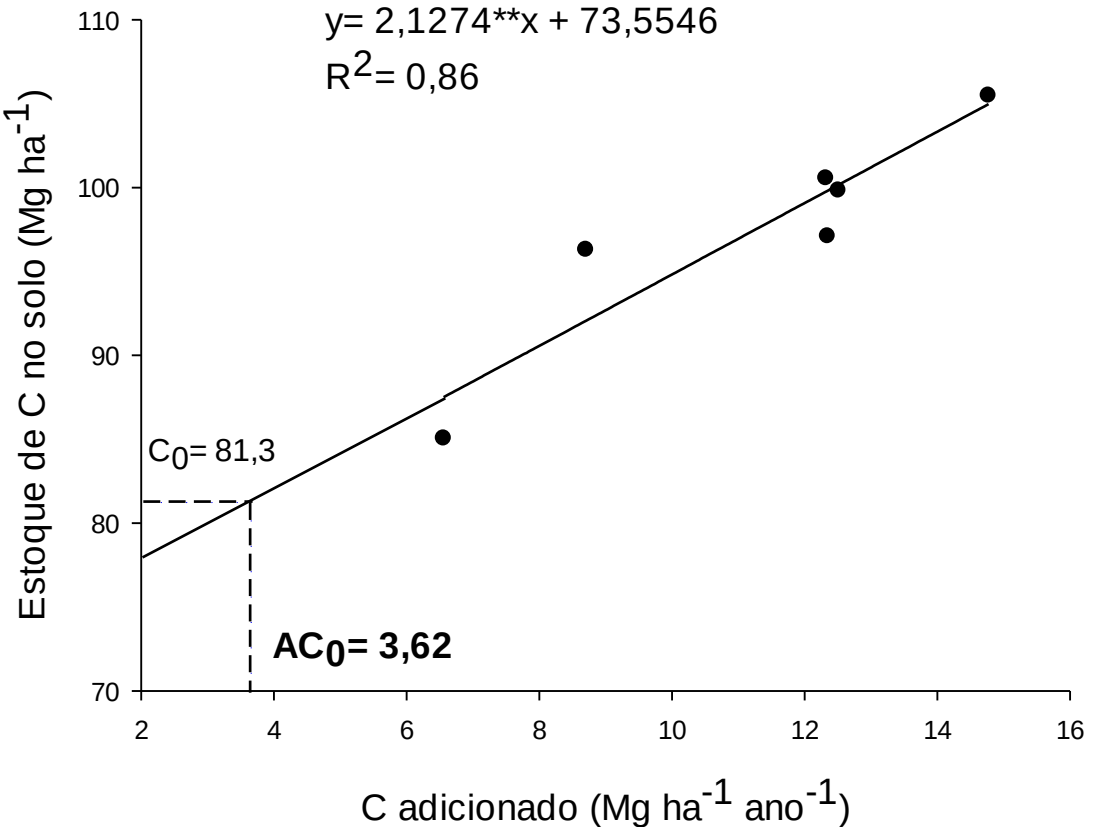
Bayer et al. (2006) estudando em experimento de longa duração sob um Argissolo, verificaram valores de 0,019 e 0,040, respectivamente para os coeficientes k_2 do sistema de plantio direto e do sistema de preparo convencional, o qual obteve um valor de k_2 menor e uma menor mineralização no sistema de plantio direto. Os coeficientes de mineralização encontrados nesse estudo, para este sistema de manejo e nas condições de um Latossolo Vermelho, foram relativamente baixos em relação aos demais trabalhos. Coeficientes k_2 mais baixos geralmente são observados em solos manejados em sistema plantio direto, em comparação ao plantio convencional, e resultam da maior proteção física da MOS no interior dos agregados e que apresentam maior estabilidade naquele sistema (MAFRA et al., 2014).

Valores altos de coeficientes de humificação e mineralização foram observados por Mazurana et al. (2013) em relação aos demais autores, em que obtiveram valores de 0,28 e 0,041 para k1 e k2 respectivamente. Isso pode estar relacionado também com a camada amostrada pelos autores de 0-10 cm, elevando os teores de C na camada superficial.

A adição anual de C necessária para manter o estoque de carbono estável (AC_0) foi estimada pela equação de regressão linear com base na quantidade de C adicionado em relação ao estoque total de C no solo. Quando os teores dessa adição são crescentes, é utilizado uma regressão linear, porém, quando os estoques de C se aproximam da saturação, a regressão passa a se comportar de forma quadrática (STEWART et al., 2007). Esta regressão foi linear com adições de C orgânico pelo tratamento com dose máxima de 100 $m^3\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ de DLS. Com isso, a quantidade de C que deve ser adicionada para

manter os estoques de C iniciais foi estimada em 3,62 Mg ha^{-1} ano^{-1} de C, ou seja, essa é a quantidade de C necessária a ser adicionada, para que não ocorra variação no estoque de C inicial desse solo (Figura 15).

Figura 15- Relação entre a quantidade de C adicionado por ano e o estoque de C no solo na profundidade de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno.



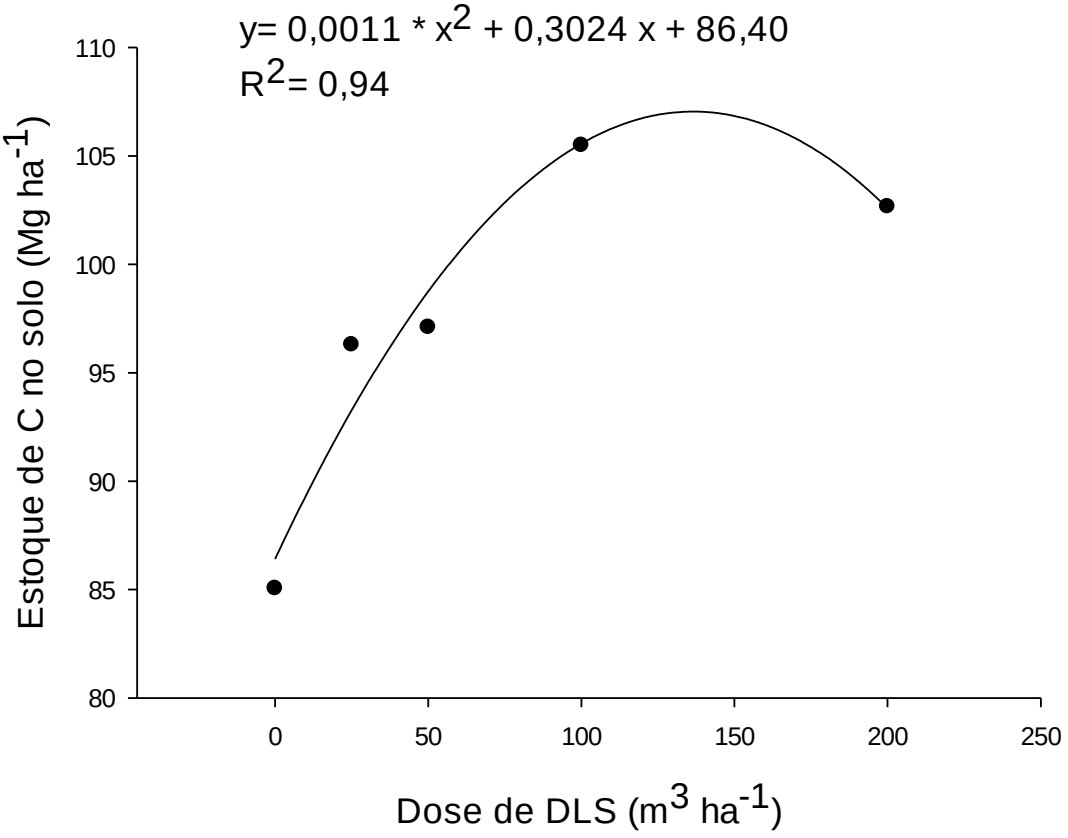
* C_0: estoque de carbono inicial do solo e AC_0: adição anual de C para manter os estoques iniciais estáveis.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Esses valores de adições de C foram semelhantes aos 3,92 Mg ha^{-1} ano^{-1} encontrados por Bayer et al. (2006) em sistema de plantio direto sob um Argissolo subtropical. Resultados encontrados por Mafra et al. (2014) também foram semelhantes dos encontrados nesse trabalho, onde o aporte necessário foi estimado em 4,14 Mg ha^{-1} ano^{-1} de C adicionado para manter os estoques iniciais estáveis nesse Latossolo Vermelho para 10 anos de experimento. O valor levemente menor encontrado neste atual estudo, pode estar relacionado com a saturação nos estoques de C nesse solo, e também pelo tipo

de manejo em sistema de plantio direto, o qual possibilitou reduzidas taxas de mineralização do CO do solo.

A saturação de CO foi observada nesse solo, conforme ilustrado pela Figura 16, onde a maior dose de DLS, 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} evidenciou a ausência de incremento que ocorreu nas doses até 100 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, ajustando-se assim, uma regressão quadrática onde observou-se o alcance de um valor máximo no estoque de CO do solo, mesmo com o maior acréscimo de C adicionado por ano.

Figura 16- Regressão da relação dos estoques de C e das doses de DLS nas camadas de 0 a 20 cm após 15 anos sob Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}.

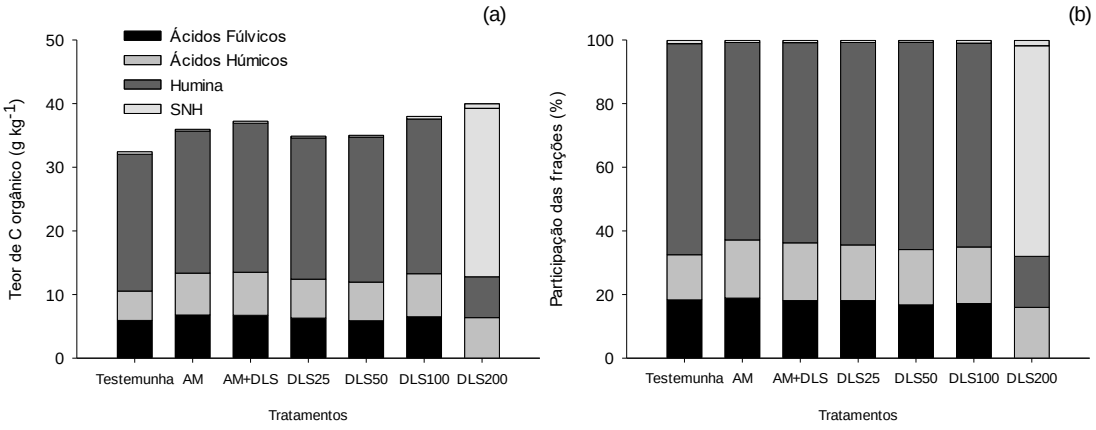


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Pela equação do segundo grau, é possível estimar o ponto de máxima acumulação de CO desse solo, que foi de 107 Mg ha^{-1} de máximo acúmulo de C no solo com a dose estimada de 137,45 m^3 ha^{-1} de DLS. Teoricamente, esta dose de DLS seria a máxima em que obteria acréscimo de C para esse sistema de manejo do solo, conduzido sob um sistema de plantio direto.

Na figura 17, encontram-se os teores totais de C orgânico das SHs na média das camadas analisadas de 0-60 cm, e pode dar um panorama geral do somatório e da distribuição das frações de SHs no solo. Pode-se observar maior teor das SHs nos tratamentos com adição de DLS acima de 50 m^3 ha^{-1} ano^{-1} e nos tratamentos com adubação mineral (AM e AM+DLS). Isso pode estar relacionado com a adição de C em maior quantidade por esses tratamentos, promovido pela maior adição de fitomassa na superfície do solo desses tratamentos.

Figura 17- Teor de C orgânico (a) e participação das frações (b) nas substâncias húmicas do solo (Ácidos fúlvicos – AF; Ácidos húmicos – AH; Humina – Hum e Substâncias não húmicas – SNH) de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).



Valores representam a média das camadas de 0-60 cm.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A participação das frações das SHs se demonstrou relativamente constante com os diferentes tratamentos de aplicação de DLS (Figura 17b). A fração Humina obteve uma participação de 60 a 70% do total das frações. A fração AH e AF foram similares na participação total, em torno de 20%, demonstrando a permanência de frações mais recalcitrantes. Resultados semelhantes foram encontrados por Lüdtke et al. (2016) em que observaram a permanência de mais de 50% da fração Humina sob um Argissolo Háplico além de aumento nas concentrações de AH e Hum com aplicação de DLS.

Aumento nos teores das SHs exercem um importante fator de agregação das partículas do solo onde Borges et al. (2015) encontraram aumento nas substâncias húmicas em agregados de menor tamanho, quando analisaram o tamanho dos agregados

do solo. Ventura et al., (2018) verificaram melhoria na qualidade do solo pelo incremento de COT, substâncias húmicas nas frações Hum e AF avaliados nos agregados biogênicos.

Os teores de CO nas SHs da matéria orgânica, variaram significativamente conforme as diferentes doses de DLS. Houve maior teor de C na fração dos ácidos fúlvicos (AF) na camada superficial (0-2,5 cm) com decréscimo nos teores de C em profundidade. Este decréscimo foi também observado por Canellas e Façanha, (2004), porém em magnitude maior. Nos tratamentos com AM, AM+DLS e DLS100 o teor de C nos AF foi maior (Tabela 8).

Tabela 8- Teores de carbono orgânico na fração Ácidos Fúlvicos das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS.

Ácidos Fúlvicos								
Camada	AM	AM+DLS	Testemunha	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV(%)
	---------- C (g kg^{-1}) ----------							
0-2,5	10,0 a[1]	9,8 a	8,2 bc	8,1 c	7,8 c	9,1 ab	8,4 bc	11,29
2,5-5	8,7 a	7,6 ab	6,4 b	7,7 ab	7,5 ab	8,2 a	8,7 a	12,05
5-10	6,8 ab	6,1 ab	6,7 ab	5,8 b	5,6 b	7,0 a	6,5 ab	10,32
10-20	5,8	6,0	5,7	5,8	5,2	5,1	5,7	10,57
20-40	6,0	6,1	5,9	6,2	6,0	6,1	5,5	10,14
40-60	4,9 a	4,9 ab	4,2 ab	4,7 ab	4,5 ab	4,4 ab	4,1 b	10,02

(1) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
CV- Coeficiente de Variação dos tratamentos (%).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Esse comportamento pode ser devido à descida dos AF para camadas inferiores, por ser a fração orgânica mais solúvel e apresentam grupos funcionais polares, sensíveis ao arraste pela água de percolação do solo (MIRANDA et al., 2007). Isso foi observado na camada de 2,5-5 cm, onde as maiores doses de DLS se igualaram aos tratamentos com DLS, diferindo somente da Testemunha com menor valor. Na camada de 40-60 cm, os menores teores de C na fração AF foram observados no DLS200, diferindo somente do tratamento AM.

Os ácidos fúlvicos são os compostos húmicos de maior solubilidade por apresentarem maior polaridade e menor tamanho molecular, o que os torna mais propensos à movimentação com a solução do solo. Assim, estes compostos são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions dentro do solo, por meio de complexos organo-metálicos, o que caracteriza o processo de queluviação (GOMES et al., 1998; MURANO et al., 2018). De modo geral foi observado que a adição de DLS e AM promovem condições iguais para manter os teores de AF no solo.

Na fração ácidos húmicos (AH), de modo geral, o teor de C foi menor no tratamento Testemunha (Tabela 9). Nas camadas superficiais, o teor de C na fração AH nos tratamentos com AM foram semelhantes aos tratamentos com adição de DLS. Na camada de 40-60 cm, nos tratamentos com maiores doses de DLS (DLS100 e DLS200) os teores de C na fração AH foram superiores aos dos tratamentos AM e Testemunha.

Tabela 9- Teores de carbono orgânico na fração Ácidos Húmicos das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS.

Ácidos Húmicos								
Camada	AM	AM+DLS	Testemunha	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV(%)
cm	C (g kg^{-1})							
0-2,5	12,2 a[1]	11,8 ab	8,9 c	9,4 bc	10,0 abc	12,7 a	10,3abc	16,07
2,5-5	10,2 a	9,0 a	6,1 b	8,5 ab	9,4 a	10,4 a	10,1 a	18,42
5-10	8,0	7,9	5,9	7,6	8,0	8,7	6,9	18,43
10-20	4,3 ab	4,6 a	3,4 b	4,3 ab	4,2 ab	4,4 ab	4,8 a	13,53
20-40	4,9	4,5	3,7	4,5	4,3	4,3	3,4	22,26
40-60	2,3 bc	2,7 abc	2,1 c	3,2 ab	3,2 abc	3,5 a	3,7 a	22,16

(1) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.
CV- Coeficiente de Variação dos tratamentos (%).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Resultados encontrados por Mensik et al. (2018) analisando solos de clima temperado, observaram que o uso de composto orgânico aumentou o conteúdo de AH do solo em relação ao uso de adubações minerais. Isso não foi observado nesse estudo, onde o AM se igualou as demais adubações com DLS, diferindo somente da Testemunha.

O maior teor de CO ocorreu na fração com maior recalcitrância no solo, a fração humina (Hum) (Tabela 10), assim como observado por Rossi et al. (2011) onde houve predomínio de C na fração humina, o que foi relacionado aos maiores tamanho e grau de estabilidade das moléculas dessa fração, conforme descrito por Six et al. (2002).

Tabela 10- Teores de carbono orgânico na fração Humina das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS.

Humina								
Camada	AM	AM+DLS	Testemunha	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV(%)
				C (g kg^{-1})				
0-2,5	33,8 bc[1]	36,7 abc	30,5 c	34,4 bc	40,0 ab	42,6 a	43,9 a	14,78
2,5-5	28,7	28,0	26,8	28,5	32,3	31,2	32,1	12,29
5-10	23,3	23,7	22,1	22,2	26,0	26,7	25,2	13,03
10-20	21,5	21,1	21,5	21,1	21,7	21,9	22,8	6,07
20-40	17,4 ab	16,3 ab	17,0 ab	16,2 ab	15,9 b	16,8 ab	18,4 a	7,98
40-60	15,1	14,7	15,6	14,4	14,0	14,6	15,2	7,61

(1) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV- Coeficiente de Variação dos tratamentos (%).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na camada de 0-2,5 cm, os tratamentos com as doses de 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS resultaram em maiores teores de C na fração humina comparado aos tratamentos AM, DLS25 e Testemunha. Já na camada de 20-40 cm, o tratamento com a maior dose de DLS (DLS200) foi maior que o tratamento DLS50.

Aumentos na fração humina são mais comuns em áreas com aplicação de adubos orgânicos, como observado nesse trabalho e em outros, onde áreas que receberam dejeto de suínos e cama de aves tiveram maiores teores da fração humina, a qual é mais estável, tendo maior resistência a biodegradação (BORGES et al. 2015). Essa fração acaba acumulando no solo devido a sua alta recalcitrância, sendo muito pouco consumida de modo geral pelos microrganismos do solo. Em áreas com diferentes sistemas de manejo do solo em floresta com eucalipto, sistema agrossilvipastoril ou campo nativo, também foi observado o acúmulo de humina em relação as outras frações das SHs (SANTOS et al., 2013).

Os valores da relação E4/E6 dos ácidos húmicos se encontram na Tabela 11 onde se observa que variaram entre os tratamentos e em profundidade. Nos tratamentos, observou-se diferença na camada de 0-2,5 cm onde os tratamentos AM, AM+DLS, DLS100 e DLS200 foram superiores aos demais. Esta relação E4/E6 está associada ao grau de humificação. Quanto menor for esse valor, significa que há maior proporção de constituintes aromáticos, indicando que estão mais humificados, e quanto maior essa relação temos alta proporção de estruturas alifáticas menos humificadas (CANELLAS,

2005; MENSIK et al., 2018). Isso justifica os menores valores encontrados no tratamento Testemunha, que possui menor adição de C pela fitomassa das culturas, e assim, possui constituintes aromáticos mais humificados, pois esses representam componentes mais resistentes à decomposição e refletem aportes de carbono ocorridos há maior período de tempo.

Tabela 11- Relação E4/E6 das substâncias húmicas com as diferentes doses de dejeto líquido de suíno (DLS) 0 (Testemunha), 25, 50, 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} de DLS, mais AM+DLS e AM em Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema de plantio direto após quinze anos de aplicação do DLS.

	Relação E4/E6[1]							
Camada	AM	AM+DLS	Testemunha	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV(%)
0-2,5	2,89 a[2]	2,52 ab	1,19 c	0,93 c	1,59 bc	2,35 ab	2,36 ab	36,35
2,5-5	2,37	2,23	0,99	1,78	1,68	2,19	1,89	33,12
5-10	2,99	2,42	1,95	2,29	2,31	2,70	2,35	22,81
10-20	3,09	3,17	2,20	2,90	2,77	2,78	2,85	18,38
20-40	4,30 a	3,28 ab	3,52 ab	3,42 ab	2,74 b	2,83 b	3,28 ab	19,93
40-60	4,96	4,70	4,88	4,79	4,04	4,32	4,18	15,36

(1) Relação E4/E6 da leitura dos ácidos húmicos com espectrofotômetro de absorção atômica nos comprimentos de onda de 465 nm e 665 nm respectivamente. (2) Médias seguidas de letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. CV- Coeficiente de Variação dos tratamentos (%).
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Mensik et al. (2018) relata que quando o valor de E4/E6 for inferior a 4, reflete alta qualidade das SHs. Desta forma observa-se na Tabela 11, que os valores situam-se abaixo de 4 até a profundidade de 40 cm em todos os tratamentos, com exceção do tratamento AM na camada de 20 a 40 cm. Os dados mostram que ocorre menor grau de humificação/condensação nas camadas mais profundas. Canellas e Façanha (2004) estudando um Argissolo Amarelo, também observaram aumento na relação E4/E6 com o aumento da profundidade no solo. Com isso, tem-se estruturas menos humificadas a medida que se desce para camadas mais profundas no perfil do solo.

Os maiores valores de E4/E6 foram observados no tratamento AM onde foi aplicado somente adubo mineral e apresentou variação significativa em relação aos tratamentos Testemunha, DLS25 e DLS50 na camada de 0 a 2,5 cm, o que significa uma menor humificação. Em experimento conduzido por 64 anos na República Tcheca onde foi utilizada a relação E4/E6, os autores também observaram maior grau de humificação

com o uso de fertilizações com NPK, e menor grau de humificação quando utilizado resíduos orgânicos (MENSIK et al., 2018).

Na camada de 20-40 cm também foi observado diferença, em que os tratamentos DLS50 e DLS100 foram inferiores ao tratamento AM. Isso nos mostra a maior mineralização dessas frações de SHs e o estádio avançado de degradação nos tratamentos sem adubação ou com baixa dose de DLS. Um aspecto importante para manter os níveis das SHs menos humificadas, pode ser a adição permanente de resíduos sobre o solo em sistema de plantio direto, favorecendo assim, melhor qualidade das SHs do solo.

Resultados semelhantes foram observados em áreas de diferentes sistemas de manejo, que no sistema com pastagem plantada em estádio avançado de degradação obteve menores relações E4/E6 em relação ao sistema de plantio direto, que aumentou de acordo com o tempo de implantação (GUARESCHI et al., 2013).

A relação entre o somatório das frações ácidos húmicos mais ácidos fúlvicos e a fração humina ((AH+AF)/Hum) são representados na Tabela 12. Essa relação das frações menos recalcitrantes (AH+AF) em relação à mais estável, reflete a proporção da fração mais recalcitrante no solo (Hum). Quanto maior for esse valor, menor será a recalcitrância do CO do solo. Os dados evidenciaram valores relativamente baixos da relação (AH+AF)/Hum, sendo todos abaixo de 1. Resultados encontrados por Pfleger et al. (2017) relatam que em solos de floresta plantada, os valores de (AH+AF)/Hum são maiores que 1 demonstrando a demora na estabilização da matéria orgânica nesse solo, e também, pela alta taxa de deposição da serapilheira e de renovação de raízes finas e sua consequente decomposição aumentando o teor de matéria fresca em estágios iniciais de decomposição levou a manter o carbono nas frações mais lábeis.

Tabela 12- Relação das substâncias húmicas do solo ((AH+AF)/Hum) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV (%)
0 – 2,5	0,56 abc	0,66 a	0,59 ab	0,52 abc	0,45 bc	0,52 abc	0,43 c	18,16
2,5 – 5	0,47	0,66	0,59	0,57	0,55	0,60	0,58	14,31
5 – 10	0,58	0,64	0,59	0,62	0,54	0,63	0,54	14,67
10 – 20	0,42	0,47	0,51	0,48	0,43	0,44	0,46	10,59
20 – 40	0,56 ab	0,63 ab	0,65 a	0,67 a	0,65 a	0,62 ab	0,42 b	18,97
40 – 60	0,41 b	0,48 ab	0,52 ab	0,55 a	0,55 a	0,54 ab	0,51 ab	12,90

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6.4 CONCLUSÕES

A fertilização com DLS e adubo mineral incrementou os estoques de C orgânico em Latossolo Vermelho cultivado com milho e aveia ao longo de 15 anos sob plantio direto. A taxa estimada de humificação do CO do solo (k_1) tem valor de 14,9%, enquanto a taxa de mineralização do CO do solo (k_2) é de 0,7% e a necessidade da adição anual de C para manter estável o estoque de CO no solo é de 3,62 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

O teor de COT nas camadas de 2,5 até 20 cm aumenta com o aumento nas doses de DLS até cerca de 100 e 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, atingindo o teor correspondente à saturação da capacidade de acumular CO nesse Latossolo Vermelho utilizado sob sistema de manejo de plantio direto com a dose estimada em 137,45 m^3 ha^{-1} ano^{-1}.

O uso de DLS nas doses de até 200 m^3 ha^{-1} ano^{-1} favorece o acúmulo de CO, principalmente na fração humina, porém, o teor de CO nas frações das substâncias húmicas não é alterado com o aumento da dose de DLS durante 15 adubações anuais. A utilização de adubação, seja mineral ou orgânica, aumenta a relação E4/E6 das substâncias húmicas, refletindo-se em uma matéria orgânica menos humificada.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UDESC, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES.

7. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A utilização de doses de DLS na nutrição da cultura do milho e aveia é uma alternativa viável para a adubação obtendo altos rendimentos da cultura, mas podendo ocorrer incrementos significativos de nutrientes no solo, os quais devem comprometer a dinâmica dos demais elementos sob sistema de plantio direto.

O DLS proporciona incremento nos teores de C no solo, porem em elevadas doses promove a saturação da capacidade de retenção de C sob um sistema de plantio direto. Com isso, adições de 3,62 Mg ha^{-1} ano^{-1} de C são necessárias para manter os estoques estáveis nesse sistema de manejo sob um Latossolo Vermelho Distroférrico.

A condução de experimentos de longa duração para poder averiguar a dinâmica dos nutrientes e dos estoques de C no solo são fundamentais, sendo assim, a conquista de dados com maior confiabilidade para a ciência.

REFERÊNCIAS

AGNE, S.A.A.; KLEIN, V.A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejeto de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental.** 2014;18:720–726.

ALMEIDA, R.E.M. De, et al. Nitrogen recovery efficiency for corn intercropped with palisade grass. **Bragantia**. 2018;77:557–566.

A**SS**MANN, T.S. et al. Soil nitrate , phosphorus and potassium concentration after four years of liquid swine manure application on Tifton 85. **African Journal Agriculture Research**. 2018.

BAYER, C. et al. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Tillage Research**. 2006;91:217–226.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2004;677–683.

BENITES, V.M.; MADAR, B.; MACHADO, P.L.O.D. Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo. **Comun Técnico**. 2003;16:1–7.

BOITT, G. et al. Fate of phosphorus applied to soil in pig slurry under cropping in southern Brazil. **Geoderma**. Elsevier; 2018;321:164–172.

BOLINDER, M.A. et al. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (Zea Mays L .). **Plant Soil**. 1999;85–91.

BORGES, C.S. et al. Agregação do solo, carbono organico e emissão de CO2 em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente & Agua-**An Interdiscip J Appl Sci. 2015;4:57–65.

BROETTO, T. et al. Soils and Surface Waters as Affected by Long-Term Swine Slurry Application in Oxisols of Southern Brazil. **Pedosphere**. Soil Science Society of China; 2014;24:585–594.

BRUNETTO, G. et al. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy typic hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. **Revista Brasileira**

de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2012b;36:1620–1628.

CANELLAS, L.P. **Humosfera : tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. 2005.

CANELLAS, L.P, FAÇANHA, A.R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2004;233–240.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.D. Modelos estruturais de substâncias húmicas. **Humosfera** Tratado Prelim sobre a química das substâncias húmicas. 2005;34–53.

CASSOL, P.C. et al. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em latossolo fertilizado com dejeto suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2012;36:1911–1923.

COELHO, M.S. et al. Qualidade da matéria orgânica de solos sob cultivo de café consorciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2013;1576–1586.

CONCEICÃO, P.C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil Tillage Res**. 2013;129:40–47.

COSER, T.R. et al. Recuperação de carbono obtida por três métodos em frações da matéria orgânica de Latossolo, sob consórcio milho-forrageiras, no cerrado. **Bioscience Journal.** 2012;91–97.

CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10ª edição. 2004.

DAUDÉN, A.; QUÍLEZ, D. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. **Europe Journal Agronomy**. 2004;21:7–19.

Dias, B.D.O. et al. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 2007;31:701–711.

FLORA, L. P. D.; ERNANI, P.R.; CASSOL, P.C. Mobilidade de cátions e correção da

acidez de um cambissolo em função da aplicação superficial de calcário combinado com sais de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2007;1591–1598.

GATIBONI, L.C. et al. Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de santa catarina. Universidade do Estado de Santa Catarina. **Boletim técnico**. 2014.

GATIBONI L.C. et al. Soil Phosphorus Thresholds in Evaluating Risk of Environmental Transfer To Surface Waters in Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2015;39:1225–1234.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A. Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo. Embrapa, Planaltina - DF. **Documento** 1986.

GOMES, J.B.V. et al. Solos de três áreas de restinga. Morfologia, caracterização e classificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 1998;33.

GROHSKOPF, M.A. et al. Soil solution nutrient availability, nutritional status and yield of corn grown in a typic hapludox under twelve years of pig slurry fertilizations. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2016;40.

GUARDINI, R.et al. Phosphorus accumulation and pollution potential in a hapludult fertilized with pig manure. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 2012;36:1333–1342.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina** Ciencias Agrar. 2013;34:2615–2628.

HE, Z.; PAGLIARI, P.H.; WALDRIP, H.M. Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. **Pedosphere.** Soil Science Society of China; 2016;26:779–816.

KAUFMANN, D.S. et al. Impacts of Pig Slurry Applied to Two Different Soils on Nutrient Transport by Runoff. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. 2019;1–16.

KOMAINDA, M. et al. The effects of maize (Zea mays L .) hybrid and harvest date on above-and belowground biomass dynamics, forage yield and quality – A trade-off for carbon inputs? Eur J Agron. **Elsevier**; 2018;92:51–62.

KRISHAN, G. et al. Quantifying the underestimation of soil organic carbon by the Walkley and Black technique – examples from Himalayan and Central Indian soils. **Curr Science.** 2009;1133–1136.

KUMARAGAMAGE, D.; AKINREMI, O.O.; RACZ, G.J. Comparison of Nutrient and Metal Loadings with the Application of Swine Manure Slurries and Their Liquid Separates to Soils. **Journal Environmental Quality**. 2016;1769–1775.

LEAL, O. dos A. et al. Organic Matter Fractions and Quality of the Surface Layer of a Constructed and Vegetated Soil After Coal Mining. I - Humic Substances and Chemical Characterization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 2015;39:886–894.

LÉIS, C.M. de. et al. Rendimento de Milho Adubado com Dejetos de Suínos em Sistema de Plantio Direto sem o Uso de Agrotóxicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**. 2009;4:3814–3817.

LIMA, C.C. et al. Disponibilidade de fósforo para a cana-de-açúcar em solo tratado com compostos orgânicos ricos em silício. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** 2011;15:1222–1227.

LOURENZI, C.R. et al. Pig Slurry and Nutrient Accumulation and Dry Matter and Grain Yield in various Crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2014;38:949–958.

LOURENZI, C.R.et al. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2013;37:157–167.

LOURENZI, C.R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2011;1827–1836.

LOURENZI, C.R.et al. Atributos químicos de Latossolo após sucessivas aplicações de composto orgânico de dejeto líquido de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2016;51:233–242.

LÜDTKE, A.C. et al. Organic matter and humic fractions of a haplic acrisol as affected by composted pig slurry. **Quimica Nova.** 2016;33:14–18.

MAFRA, S.M.H. et al. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejeto líquido de suínos e cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2014; 630–638.

MAZURANA, M. et al. Estoque de carbono e atividade microbiana em sistema de plantio direto consolidado no Sul do Brasil. **Revista de Ciencias Agrárias.** 2013;36:288–296.

MENEZES, J.F.S. et al. Maize yield after long-term application of pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**. 2017;686–690.

MENSIK, L. et al. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. J **Soils Sediments**. 2018;2813–2822.

MORAES, M.T. de. et al. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. **Semina Ciências Agrárias**. 2014;35:2945.

MORTATE, R.K. et al. Resposta do milho (Zea mays L .) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista Agricola Neotropical**. 2018;1–6.

MURANO, H. et al. Influence of humic substances and iron and aluminum ions on the sorption of acetamiprid to an arable soil. Sci Total Environ. **Elsevier** B.V.; 2018;615:1478–1484.

NEUMANN, M. et al. Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archive Zootec**. 2017;66:51–58.

PANDOLFO, C.M.; VEIGA, M. Crop yield and nutrient balance influenced by shoot biomass management and pig slurry application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** 2016;302–307.

Pavinato, P.S.et al. Effects of Cover Crops and Phosphorus Sources on Maize Yield, Phosphorus Uptake, and Phosphorus Use Efficiency. **Agronomy Journal**. 2017;1–9.

PENHA, H.G.V. et al. Nutrient accumulation and availability and crop yields following long-term application of pig slurry in a Brazilian Cerrado soil. **Nutrients Cycling Agroecosystem**. 2015;259–269.

PFLEGER, P.; CASSOL, P.C.; MAFRA, Á.L. substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal.** 2017;27:291–302.

RESTELATTO, R. et al. Sorghum and black oat forage production and its nutritive

value under phosphate levels. **Semia:** Ciencias Agrárias. 2017;429–442.

ROSA, D.M.et al. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista de Ciência Agronômica**. 2017;48:221–230.

ROSADO, T.L. et al. Fontes e doses de nitrogênio e alterações nos atributos químicos de um latossolo cultivado com capim-mombaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2014;38:840–849.

ROSSI, C.Q. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**. 2011;70:622–630.

SÁ, J. M. et al. Agronomic and P recovery efficiency of organomineral phosphate fertilizer from poultry litter in sandy and clayey soils. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2017;786–793.

SÁ, J. M. et al. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics , soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**. 2014.

SACOMORI, W. et al. Concentração de nutrientes na solução do subsolo de lavoura fertilizada com dejeto líquido de suínos. **Revista de Ciencias Agroveterinárias**. 2016;15:245–258.

SANGOI, L. et al. Disponibilidade de nitrogenio, sobrevivencia e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** 2011;183–191.

SANTOS J. A.; SANTOS, V.B.; ARAÚJO, S.F. Alterações na atividade microbiana e na matéria orgânica do solo após aplicação de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**. 2009;25:17–23.

SANTOS, D.C. dos. et al. Fracionamento químico e físico da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Ciência Rural**. 2013;838–844.

SCHERER, E.E. Doses e formas de aplicaçao do composto de dejetos suínos no cultivo organico de milho e feijão. **Revista Agropecuária Catarinense.** 2013;26 n.2:74–78.

SCHERER, E.E.; NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas Agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. 2010;34:1375–1383.

SCHIRMANN, J. et al. Inibidor de nitrificação e aplicação parcelada de dejetos de suinos nas culturas do milho e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 2013;37:271–280.

SEIDEL, E.P. et al. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Science Technologi**. 2010;32:113–117.

SILVA, A.D.A. et al. Fertilização com dejetos suínos: influência nas características bromatológicas da Brachiaria decumbens e alterações no solo. **Engenharia Agrícola**. 2015;35:254–265.

SINDELAR, A.J. et al. Nitrogen , Stover , and Tillage Management Affect Nitrogen **Use Efficiency in Continuous Corn**. 2015.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturatin of soils. **Plant Soil**. 2002;241:155–176.

STEWART, C.E. et al. Soil carbon saturation: Concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry.** 2007;86:19–31.

VANEECKHAUTE, C. et al. Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus Use in Time : A Comparison Between Recovered Struvite , FePO4-Sludge , Digestate , Animal Manure , and Synthetic Fertilizer. **Nutrient Use Efficiency: from Basics to Advances** 2015.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**. 1994;175–180.

VENTURA, B.S. et al. Carbon, nitrogen and humic substances in biogenic and physicogenic aggregates of a soil with a 10-year history of successive applications of swine waste. **Trop Subtrop Agroecossystems**. 2018;21:329–343.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. An examination of the effect of the digestive method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic and titration method. **Soil Science**. 1934. 37,29–38.

WEYERS, S.L. et al. Manure and Residue Inputs Maintained Soil Organic Carbon in Upper Midwest Conservation Production Systems. **Soil Science Society of America Journal**. 2018.

ZENI, W.F.; SEHNEM, S.; CAMPOS, L.M.D.S. Crimes ambientais na suinocultura: um estudo na área de abrangência do 1º pelotão da 5ª companhia de policia militar de proteção ambiental de Chapecó/Sc. Na: **SIMPOI 2012**. 2012.

APÊNDICE A

Apêndice A- Valores de pH em $CaCl_2$ do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200
0 – 2,5	5,2 a	4,6 c	4,8 bc	5,1 ab	5,1 ab	5,0 ab	4,9 ab
2,5 – 5	5,1 a	4,4 c	4,7 b	4,9 ab	5,0 ab	4,7 b	4,9 ab
5 – 10	5,3 a	4,5 b	4,8 ab	4,5 b	5,1 ab	4,9 ab	5,1 ab
10 – 20	5,2	5,0	5,2	4,9	5,2	5,4	5,2
20 – 40	4,5 b	4,6 ab	5,1 a	4,6 ab	4,9 ab	5,0 ab	5,1 a
40 – 60	4,2 b	4,3 b	4,6 ab	4,3 b	4,5 ab	4,6 ab	4,8 a

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE B

Apêndice B- Teor de P extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200
	---------- mg kg^{-1} ----------						
0 – 2,5	5,86 d	53,96 bc	37,31 bcd	12,52 d	27,13 cd	63,26 b	109,25 a
2,5 – 5	3,80 f	35,63 c	23,04 cd	8,42 ef	19,68 de	52,20 b	100,35 a
5 – 10	2,59 c	11,08 bc	9,65 c	4,35 c	7,57 c	27,96 b	52,72 a
10 – 20	1,36 c	2,18 bc	2,81 bc	1,56 c	2,55 bc	4,51 b	9,34 a
20 – 40	0,25	0,37	0,41	0,22	0,25	0,67	1,19
40 – 60	0,23	0,47	0,48	0,11	0,16	0,43	0,70

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE C

Apêndice C- Teor de K extraível do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200
	---------- mg kg^{-1} ----------						
0 – 2,5	395,33 b	546,43 a	490,75 ab	491,85 ab	503,75 ab	596,93 a	624,00 a
2,5 – 5	317,33 c	372,68 bc	398,00 bc	458,68 bc	492,00 b	513,98 b	763,57 a
5 – 10	242,65 c	284,65 c	308,68 bc	263,33 c	410,00 b	572,00 a	671,33 a
10 – 20	112,00 e	185,33 de	247,98 d	182,00 de	387,33 c	530,68 b	662,00 a
20 – 40	51,33 d	79,98 cd	120,00 cd	64,65 d	146,68 c	407,35 b	584,03 a
40 – 60	41,5 c	49,25 c	61,25 c	40,00 c	68,25 c	199,25 b	374,68 a

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE D

Apêndice D- Teor de Ca trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200
	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------						
0 – 2,5	9,21 ab	7,94 b	9,18 ab	8,97 ab	9,58 a	9,34 ab	10,11 a
2,5 – 5	8,37 ab	7,14 b	8,27 ab	9,18 a	8,81 a	8,71 a	9,68 a
5 – 10	8,28	7,48	8,47	8,37	8,35	8,09	8,81
10 – 20	8,60	8,34	8,08	7,68	7,89	8,17	7,99
20 – 40	5,60	6,03	6,93	5,89	5,96	6,70	6,95
40 – 60	4,51 b	4,74 ab	4,96 ab	4,04 b	4,99 ab	4,72 ab	5,61 a

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE E

Apêndice E- Teor de Mg^{+2} trocável do solo nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

Camadas	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200
	---------- $cmol_c$ kg^{-1} ----------						
0 – 2,5	4,33 a	3,17 c	3,61 bc	4,20 ab	4,31 a	3,93 ab	3,92 ab
2,5 – 5	3,96 bc	3,13 c	4,28 ab	4,52 ab	4,85 a	4,58 ab	4,76 ab
5 – 10	4,65 a	3,45 b	4,23 ab	4,66 a	4,62 a	3,70 ab	3,27 b
10 – 20	3,88	3,22	3,54	3,60	3,62	3,29	3,50
20 – 40	2,80	2,75	3,13	3,01	2,89	3,06	3,39
40 – 60	2,00	1,95	2,55	1,98	2,42	2,52	2,79

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE F

Apêndice F- Nitrogênio orgânico total (NOT) nas camadas de 0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico em sistema plantio direto adubado anualmente com dejeto líquido de suíno nas doses de 0 (Testemunha), 25 (DLS25), 50 (DLS50), 100 (DLS100) e 200 (DLS200) m^3 ha^{-1}, adubo mineral solúvel (AM) e adubo mineral solúvel combinado com dejeto líquido de suíno (AM+DLS).

	Testemunha	AM	AM+DLS	DLS25	DLS50	DLS100	DLS200	CV (%)
0 – 2,5	0,26	0,29	0,30	0,26	0,30	0,31	0,32	11,02
2,5 – 5	0,20 c	0,24 abc	0,24 abc	0,21 bc	0,23 abc	0,25 ab	0,27 a	13,25
5 – 10	0,16 c	0,18 abc	0,17 bc	0,16 c	0,16 c	0,18 ab	0,19 a	8,54
10 – 20	0,15	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	7,31
20 – 40	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,14	0,13	7,00
40 – 60	0,11	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	9,66

Média das quatro repetições. Letras distintas na linha diferem pelo teste de Tukey a 5 %.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.