



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO COMO FATORES DETERMINANTES DA
QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Botucatu

2017

JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON

**SISTEMAS DE PRODUÇÃO COMO FATORES DETERMINANTES DA
QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego

Coorientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

R572s Rigon, João Paulo Gonsiorkiewicz, 1986-
Sistemas de produção como fatores determinantes da quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo / João Paulo Gonsiorkiewicz Rigon. - Botucatu: [s.n.], 2017
188 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Juliano Carlos Calonego
Coorientador: Ciro Antonio Rosolem
Inclui bibliografia

1. Qualidade de resíduos culturais. 2. Matéria orgânica do solo. 3. Rotação de culturas. I. Calonego, Juliano Carlos. II. Rosolem, Ciro Antonio. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "SISTEMAS DE PRODUÇÃO COMO FATORES DETERMINANTES DA QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO"


AUTOR: JOÃO PAULO GONSIORKIEWICZ RIGON


ORIENTADOR: JULIANO CARLOS CALONEGO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JULIANO CARLOS CALONEGO
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CIRO ANTONIO RO SOLEM
Depto de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. CARLOS EDUARDO PELLEGRINO CERRI
Depto de Ciência do Solo / ESALQ - USP - Piracicaba/SP


Dr. GUSTAVO SPADOTTI AMARAL CASTRO
Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE) / EMBRAPA Monitoramento por Satélite

Botucatu, 03 de julho de 2017.

DEDICO

*Aos meus pais João Feliciano e Rosane Maria,
e ao meu irmão Carlos Alberto,
meus maiores exemplos de conduta,
pelo carinho e apoio durante esta jornada,
a eles dedico todos os méritos desta conquista*

OFEREÇO

*À minha noiva Silvia, pelo amor,
apoio e por estar sempre ao meu
lado em todos os momentos*

AGRADECIMENTOS

À Deus.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Botucatu/SP pelas condições oferecidas e pela possibilidade de realização deste curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo no país (processo 2013/23359-4) e de estágio no exterior (processo 2015/23389-6);

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego, pela orientação e suporte durante os cinco anos de pós-graduação, e, sobretudo, pelo exemplo e amizade;

Ao Prof. Dr. Alan Franzluebbbers, da Universidade Estadual da Carolina do Norte, pela oportunidade e ensinamentos durante o estágio no exterior. Agradeço também à Ellen Leonard e Erin Silva, pelo auxílio nas determinações laboratoriais, a elas meu respeito e admiração, assim como todos os amigos que fiz durante o período.

Aos demais professores pelos ensinamentos repassados que com certeza contribuíram muito para a realização deste trabalho.

Aos amigos Igor, Danilo, Gustavo, Jayme, Juan, Kassiano, Laércio, Leontino, Micheli, Murilo, Natália, Silvia e Tiara, pela amizade, companheirismo e todo apoio na condução das áreas experimentais e desenvolvimento deste trabalho, sem a ajuda dos quais a realização desse trabalho não seria possível.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, em especial à Casemiro, Célio, Dorival, Eliane, Mateus, Valéria e Vera, pela amizade e colaboração em todos os momentos.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Produção Vegetal, pelo companheirismo e amizade, que indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

RESUMO

O manejo inadequado do solo pode intensificar a degradação da sua estrutura, provocando perda de sua capacidade produtiva. Por este motivo é importante potencializar a produção agrícola e manejo sustentável por técnicas conservacionistas. Neste sentido, dois experimentos são conduzidos com diferentes rotações de culturas em sistema de semeadura direta (SSD) desde 2003 e 2006 em Nitossolo e Latossolo, respectivamente. São cultivadas três safras anuais, onde as parcelas de outono-inverno são compostas por meio do triticale ou girassol no Nitossolo e brachiaria ou sogo granífero em sistema solteiro e o consórcio entre ambos no Latossolo. Como subparcelas são cultivadas as culturas de primavera (milheto, crotalária, sorgo forrageiro em ambos os solos, tendo no Nitossolo um tratamento adicional denominado escarificação/pousio. A soja foi cultivada cada ano no verão desde o início dos experimentos. No primeiro capítulo foi analisada a quantidade e a qualidade dos resíduos culturais na superfície do solo nas diferentes safras, objetivando determinar influências nos fluxos de CO₂, estoques de C e N do solo, assim como a qualidade da matéria orgânica quantificada pelo fracionamento físico e químico. No segundo capítulo foram abordados o potencial de mineralização de C e N dos solos, frações de C, assim como a biomassa microbiana. Também a estabilidade de agregados destes solos foram analisadas procurando verificar se as rotações de culturas afetam a agregação do solo. Observou-se que as rotações de culturas influenciaram os teores e estoques de C e N, sendo que a ausência de cultivo de primavera limita estes valores. A qualidade dos resíduos culturais influencia nas frações mais humificadas da MOS. Enquanto que a agregação do solo é favorecida com o aumento dos teores de C e N no solo devido a utilização de cultivos de primavera, sugerindo que o pousio de apenas 50 dias em sistema de rotação pode limitar os efeitos benéficos verificados em um sistema intensivo de cultivo.

Palavras-chave: qualidade de resíduos culturais, matéria orgânica do solo, rotação de culturas.

ABSTRACT

The inadequate soil management may intensify the degradation of the structure, loosing of its productive capacity. For this reason, it is important to potentiate agricultural production and sustainable management by conservationist techniques. In this sense, two experiments are conducted with different crop rotations under direct seeding system (SSD) from 2003 and 2006 in Typic Rhodudalf and Rhodic Hapludox, respectively. Three annual crops are cultivated, where the autumn-winter plots are composed by triticale or sunflower in the Typic Rhodudalf and ruzigrass or grain sorghum in single systems and the consortium between both in the Rhodic Hapludox. As subplots are grown in spring season the pearl millet, sunn hemp, forage sorghum in both soils, having in the Typic Rhodudalf an additional treatment called fallow/chisel. The soybean was grown every year in the summer since the beginning of the experiments. The first chapter was analyzed the quantity and quality of the crop residue on the soil surface under different crops, to determine the effects on CO₂ flux, stocks of C and N in soil as well as the quality of the Organic Matter quantified by the physical and chemical fractionations. In the second chapter, the potential of C and N mineralization of soils, as well as the microbial biomass were discussed. Also, the aggregate stability of these soils was analyzed trying to find if the crop rotations affects the soil aggregation. It was observed that the crop rotations impacts the C and N contents and stocks, and the absence of spring crop limits these values. The quality of crop residues impacts in the humidified fractions of soil organic matter. The soil aggregation is favored by increasing of the C and N content in soil, due to the use of spring crops, suggesting that the bare soil (fallow) during only 50 days in the rotation system may limit the beneficial impacts observed in an intensive system of cultivation.

Keywords: quality of crop residue, soil organic matter, crop rotation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica do solo das áreas experimentais (Botucatu, 2017)	51
Tabela 2. Características dos resíduos culturais das plantas de primavera 2013 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	67
Tabela 3. Interações entre plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera 2013 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	68
Tabela 4. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de Primavera de 2013 no Latossolo (Botucatu, 2017).	69
Tabela 5. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra 2013/2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	70
Tabela 6. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra 2013/2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).	71
Tabela 7. Características químicas dos resíduos culturais das culturas de outono-inverno de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	72
Tabela 8. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de outono-inverno de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).	73
Tabela 9. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	74
Tabela 10. Interações entre as plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	75
Tabela 11. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).	75
Tabela 12. Interações entre as plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).	76
Tabela 13. Características químicas dos resíduos culturais da Soja safra 2014/2015 no Nitossolo (Botucatu, 2017).	77
Tabela 14. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra de 2014/2015 no Latossolo (Botucatu, 2017).	78
Tabela 15. Teores de C e N da biomassa microbiana do solo (C_{BMS} e N_{BMS}) no Nitossolo na camada de 0-10 cm nas safras analisadas (Botucatu, 2017).	79
Tabela 16. Teores de C e N da biomassa microbiana do solo (C_{BMS} e N_{BMS}) no Latossolo na camada de 0-10 cm nas safras analisadas (Botucatu, 2017).	80
Tabela 17. Estoques de Carbono no Nitossolo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	82
Tabela 18. Estoques de Nitrogênio no Nitossolo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta de solo de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	83

Tabela 19. Estoques de Carbono no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta após a colheita da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).....	84
Tabela 20. Estoques de Nitrogênio no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta após a colheita da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).....	85
Tabela 21. Estoques de Carbono no Latossolo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil, na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).....	86
Tabela 22. Estoques de Nitrogênio no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).....	87
Tabela 23. Estoques de Carbono no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	88
Tabela 24. Estoques de Nitrogênio no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	89
Tabela 25. Probabilidade dos valores de F dos teores do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP) e Carbono orgânico associado aos minerais (COM) no Nitossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	90
Tabela 26. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no Nitossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	92
Tabela 27. Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP e Cot no Nitossolo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	94
Tabela 28. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e Cot no Nitossolo após a safra da soja de 2015 (Botucatu, 2017).	95
Tabela 29. Relações e probabilidade dos valores de F entre Carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) e Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) e Nitrogenio total (NT) referentes às coletas de solo da primavera de 2013 e após a colheita da soja de 2014/2015 no Nitossolo (Botucatu, 2017).....	96
Tabela 30. Probabilidade dos valores de F do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).....	97
Tabela 31. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	99
Tabela 32. Probabilidade dos valores de f do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais	

	(COM) e relação COP e COT no Latossolo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	101
Tabela 33.	Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo após a safra da soja 2014/2015 (Botucatu, 2017).	103
Tabela 34.	Relações e probabilidade dos valores de F entre Carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) e Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) e Nitrogenio total (NT) referentes às coletas de solo da primavera de 2013 e após a colheita da soja de 2014/2015 no Latossolo (Botucatu, 2017).	105
Tabela 35.	Probabilidade de F e teores de Carbono das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Nitossolo na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	106
Tabela 36.	Probabilidade de F e teores de Carbono das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Nitossolo em coleta após a safra da soja 2014/2015 (Botucatu, 2017).	107
Tabela 37.	Probabilidade de F e teores de Carbono nas frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Latossolo, em coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).	108
Tabela 38.	Emissão acumulada de CO_2 -C em cada safra e total, produtividades de grãos das safras da soja e emissões relativas das safras da soja e total no experimento do Nitossolo (Botucatu, 2017).	119
Tabela 39.	Emissão acumulada de CO_2 -C em cada safra e total, produtividades de grãos das safras da soja e emissões relativas das safras da soja e total no experimento em Latossolo (Botucatu, 2017).	121
Tabela 40.	Probabilidade de F e teores de C mineralizável aos 3 (Cmin) e acumulado (Cmin0-24) no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	168
Tabela 41.	Interações entre as culturas de outono-inverno e primavera nos teores de C mineralizável aos 3 dias e ao valor acumulado no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	168
Tabela 42.	Teores de C orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C orgânico particulado (COP) e N orgânico particulado (NP) nas profundidades 0-0.01 e 0.1-0.2m no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).	170
Tabela 43.	Diâmetro médio dos agregados via seca (DMseco), diâmetro médio dos agregados via húmida (DMúmida), índice de estabilidade do agregado (IEA) e estabilidade do macroagregado (EM) na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 no Nitossolo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Botucatu, 2017).	176
Tabela 44.	Diâmetro médio dos agregados via seca (DMseco), diâmetro médio dos agregados via úmida (DMúmida), índice de estabilidade do agregado (IEA) e estabilidade do macroagregado (EM) na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 no Latossolo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Botucatu, 2017).	177

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Dados climáticos durante a condução do experimento52
- Figura 2. Detalhe dos extratos ácidos fúlvicos (esquerda) e ácidos húmicos (direita) após o processo de filtragem.....64
- Figura 3. Fluxo de CO₂ do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A), de outono-inverno de 2014 (B), das culturas de primavera de 2014 (C) e da soja safra de 2014/2015 (D) no Nitossolo (Botucatu, 2017)..... 110
- Figura 4. Temperatura (à esquerda) e umidade (à direita) do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A e B), de outono-inverno de 2014 (C e D), das culturas de primavera de 2014 (F e G) e da soja safra de 2014/2015 (H e I) no Nitossolo (Botucatu, 2017). * Barras verticais correspondem ao erro padrão médio. 112
- Figura 5. Fluxo de CO₂ do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A), de outono-inverno de 2014 (B), das culturas de primavera de 2014 (C) e da soja safra de 2014/2015 (D) no Latossolo. * Barras verticais correspondem ao DMS do teste t a 5% de probabilidade de erro..... 114
- Figura 6. Temperatura (à esquerda) e umidade (à direita) do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A e B), de outono-inverno de 2014 (C e D), das culturas de primavera de 2014 (F e G) e da soja safra de 2015/2015 (H e I) no Latossolo. * Barras verticais correspondem ao erro padrão médio. 115
- Figura 7. Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Nitossolo na profundidade de 0-10 cm entre o C mineralizável inicial (Cmin 0-3d) e o C mineralizável acumulado (CMin 0-24d)-A; Teores de C e N com C da biomassa microbiana C_{BMS}-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com Teor de C -D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N -E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS}-F..... 171
- Figura 8. Correlação de Person ($p < 0.05$) no Nitossolo na profundidade de 10-20 cm entre C mineralizável inicial (Cmin 0-3d) com C mineralizável acumulado (CMin 0-24d)-A; Teores de C e N com C da biomassa microbiana C_{BMS}-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS}-F..... 172
- Figura 9. Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Latossolo na profundidade de 0-10 cm entre C mineralization (Cmin 0-3d) com C mineralizável (CMin 0-24d)-A; teores de C e N com C da biomassa microbiana do solo C_{BMS}-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS}-F..... 173
- Figura 10. Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Latossolo na profundidade de 10-20 cm entre C mineralizável (Cmin 0-3d) com C mineralizável (CMin 0-24d)-A; teores de C e N com C da biomassa microbiana do solo (C_{BMS})-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d

	com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C _{BMS-F}	174
Figura 11.	Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Nitossolo na camada de 0-10 cm entre diâmetro médio dos agregados via húmida (DM _{úmida}), índice de estabilidade de agregados (IEA) e estabilidade de macroagregados (EM) com o carbono orgânico total COT (A,B e C) e teor de Nitrogênio total NT (D,E e F).	178
Figura 12.	Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Latossolo na camada de 0-10 cm entre diâmetro médio dos agregados via húmida (DM _{úmido}), índice de estabilidade de agregados (IEA) e estabilidade de macroagregados (EM) com o carbono orgânico total COT (A,B e C) e teor de Nitrogênio total NT (D,E e F).	179

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
REVISÃO DE LITERATURA	25
Desafios da Agricultura Moderna.....	25
Carbono no Solo.....	26
Fluxo de CO ₂ do solo.....	28
Rotação de Culturas	30
Qualidade dos Resíduos Culturais	30
Substâncias Húmicas do Solo	33
Agregação do Solo	35
REFERÊNCIAS	38
1. CAPÍTULO I – QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO COM APORTE DIFERENCIADO DE PALHA	49
1.1 INTRODUÇÃO	50
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
1.2.1 Caracterização das áreas experimentais	51
1.2.2 Histórico e Delineamento experimental	52
1.2.3 Condução das áreas experimentais	53
1.2.4 Avaliações	57
1.2.5 Produtividade de grãos da Soja	60
1.2.6 Coleta e análise de Solo.....	60
1.2.7 Fluxo de CO ₂	65
1.2.8 Análise estatística.....	66
1.3 RESULTADOS	66
1.3.1 Resíduos culturais.....	66
1.3.2 C e N da Biomassa Microbiana	78
1.3.3 Estoques de C e N no Nitossolo.....	81
1.3.4 Estoques de C e N no Latossolo	85
1.3.5 Fracionamento físico da MOS no Nitossolo	89
1.3.6 Fracionamento físico da MOS no Latossolo	97
1.3.7 Fracionamento químico da MOS.....	105
1.3.8 Fluxo de CO ₂ do solo	109

1.3.9	Fluxo acumulado de C-CO ₂ , produtividade de grãos da soja e emissão relativa no Nitossolo	118
1.3.10	Fluxo acumulado de C-CO ₂ , Produtividade da soja e emissão relativa no Latossolo.....	121
1.4	DISCUSSÃO	122
1.4.1	Resíduos culturais	122
1.4.2	C e N da Biomassa Microbiana.....	126
1.4.3	Estoques de C e N no Nitossolo	129
1.4.4	Estoques de C e N no Latossolo.....	131
1.4.5	Fracionamento físico da MOS no Nitossolo.....	132
1.4.6	Fracionamento físico da MOS no Latossolo	135
1.4.7	Fracionamento químico da MOS	137
1.4.8	Fluxo de CO ₂ do solo.....	139
1.4.9	Fluxo acumulado, produtividade de grãos de soja e emissão relativa no Nitossolo	144
1.4.10	Fluxo acumulado, produtividade de grãos de soja e emissão relativa no Latossolo.....	146
1.5	CONCLUSÃO	147
	REFERÊNCIAS.....	148
2.	CAPITULO II - RESÍDUOS CULTURAIS EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO COMO FATORES DETERMINANTES DA AGREGAÇÃO DO SOLO E MINERALIZAÇÃO DE C E N.....	161
2.1	INTRODUÇÃO	162
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	163
2.2.1	Local e clima do estudo	163
2.2.2	Descrição das áreas experimentais	163
2.2.3	Amostragem do solo	164
2.2.4	Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo.....	165
2.2.5	Carbono e Nitrogênio orgânico particulado (COP e NP).....	166
2.2.6	Fracionamento dos agregados	166
2.2.7	Análise estatística	167
2.3	RESULTADOS.....	167
2.3.1	Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo.....	167
2.3.2	Teores de C e N totais, Carbono e Nitrogenio particulado (COP e NP).....	169
2.3.3	Agregados do solo.....	175

2.4	DISCUSSÃO	179
2.4.1	Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo	179
2.4.2	Teores de C e N totais, Carbono e Nitrogenio orgânico particulado (COP e NP)	180
2.4.3	Agregados do solo.....	183
2.5	CONCLUSÃO	184
	REFERÊNCIAS.....	184

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação com a sustentabilidade das atividades econômicas ligadas ao ambiente como a agricultura conservacionista tem sido crescente e está em evidência nos últimos anos. Nunca a agricultura foi tão eficiente como atualmente, mas paradoxalmente nunca foi tão contestada como nos dias de hoje, principalmente quanto a questões relacionadas à degradação ambiental. Neste panorama, a utilização de plantas de cobertura tem recebido expressiva atenção de pesquisas, pois constitui uma alternativa para elevar a sustentabilidade dos sistemas produtivos.

É importante enfatizar que não mobilizar o solo não reflete aos benefícios verificados no SSD, pois a produção de palha e o aporte contínuo de C na superfície do solo são os preceitos do sucesso no sistema. Desta forma, verifica-se a importância da quantidade e qualidade de resíduos culturais produzidos. Tais características, no entanto, são dependentes das espécies cultivadas em rotação, pois contribuem para a estabilização da produção e manutenção das características físicas, químicas e biológicas do solo. Entretanto, as condições climáticas e o tipo de solo são os fatores que devem ser levados em consideração na escolha desta cultura ideal.

Sob os mesmos aportes residuais de C e N no solo entre diferentes sistemas de manejo, o de semeadura direta destaca-se pelas menores perdas de C-CO₂ à atmosfera devido a formação de agregados e a proteção de C orgânico da degradação por microrganismos e a consecutiva estabilização do C no solo favorecendo o incremento de MOS. A partir dos benefícios citados, a produção de resíduos culturais e a ciclagem de nutrientes tende a ser incrementada ao longo da consolidação do manejo, bem como a sua sustentabilidade produtiva.

As características intrínsecas dos resíduos culturais em sistemas de rotação, tais como teores de C e N, hemicelulose, celulose e lignina influenciam diretamente nas propriedades e taxas de mineralização dos resíduos, ciclagem de nutrientes, na proteção física da superfície do solo, além da humificação da MOS.

Tem-se atribuído que resíduos com altos teores de lignina em resíduos culturais resultem em uma maior humificação da MOS. Independente do resíduo cultural, tal processo é mais intenso em solos argilosos pelas interações do C e

estabilização com minerais, o que pode atribuir que os altos teores de lignina dos resíduos podem ter uma importância mais significativa em solos mais arenosos.

Em regiões com limitação hídrica, como verificado no Cerrado brasileiro durante o outono-inverno, há menos alternativas de espécies a serem cultivadas quando comparado aos sistemas no Sul do Brasil. Por este motivo, culturas com alta relação C N pode ser uma alternativa viável neste período por proporcionar uma cobertura superficial por longo período de tempo. Com o início das chuvas na primavera nesta região, tal característica de persistência do resíduo não é necessária, sendo que possivelmente pelo déficit de N no solo (pela alta relação C N dos resíduos) a utilização de culturas que aportam altos teores de N pode ser uma estratégia para que durante o verão a cultura comercial seja beneficiada tanto pela persistência como pela mineralização dos resíduos vegetais oriundos das safras de outono-inverno e primavera.

A MOS tem implicações diretas no comportamento físico do solo, assim como a textura. Em solos muito arenosos, por exemplo, geralmente a MOS desempenha papel fundamental na formação de agregados. As plantas de cobertura, além de serem fontes de matéria orgânica no solo, irão desempenhar importante papel nos atributos físicos, pois o denso e agressivo sistema radicular dessas espécies auxiliam na formação de agregados tanto pelo efeito mecânico de aproximar as partículas do solo, como por meio da exsudação de carboidratos que estimulam a atividade de microorganismos que atuam na estabilidade de macroagregados. Neste caso, o aporte de material orgânico em SSD por meio de cultivos de cobertura possibilita reduzir a densidade do solo com o incremento da MOS principalmente na superfície do solo, além da macroporosidade por meio da atividade radicular e descompactação do solo. Além disso, a estabilidade de agregados possibilita maior resiliência do solo frente a pressões exercidas. Na literatura são verificados relatos discordantes na agregação do solo conforme a qualidade dos resíduos vegetais. Alguns estudos afirmam que dependendo da composição bioquímica dos resíduos culturais pode contribuir na formação de macroagregados do solo, enquanto que também há relatos de que os aportes orgânicos oriundos do cultivo de plantas são muito importantes na formação dos agregados mas tem o mesmo efeito, independente da espécie e sua composição bioquímica.

REVISÃO DE LITERATURA

Desafios da Agricultura Moderna

A crescente demanda por alimentos e a estagnação relativa dos patamares produtivos aliados às possíveis alterações climáticas estão dentre os principais desafios da atual agricultura. De acordo com projeções, haverá a necessidade de duplicar a produção de alimentos em meados deste século, o que conforme o consumo atual de fertilizantes de fontes finitas no meio ambiente (Martin et al., 2006), o uso indiscriminado de defensivos agrícolas, práticas inadequadas de irrigação (Foley et al., 2011), irão facilmente aumentar as emissões de gases de efeito estufa, a possível degradação do solo e a contaminação ambiental (Bai et al., 2008, Chen, et al., 2014 e Lal, 2015). A acidificação do solo é outro processo que afeta a sustentabilidade da agricultura (Yang et al., 2012), sendo acelerada também pelas atividades antropogênicas, incluindo a deposição ácida da atmosférica (Stevens et al., 2009), aplicação de fertilizantes nitrogenados (Schroder et al., 2011), e a absorção de nutrientes pelas plantas (Duan et al., 2004; Randall et al., 2006). No entanto, há um interesse crescente na otimização de práticas de manejo do agroecossistema para uma maior sustentabilidade do solo, sendo inclusive reportada no mundo inteiro (Challinor et al., 2014).

Modificações nas práticas de manejos como o SSD tem sido identificado dentre as principais estratégias na redução de emissões de gases de efeito estufa, sendo reflexo direto da redução das operações agrícolas (cerca de 0,07-0,18 t CO₂ eq ha⁻¹ ano⁻¹, conforme West e Marland, 2002). Assim como pela redução da necessidade de fertilizantes nitrogenados com a utilização de culturas de cobertura em sistema de rotação, reciclando cerca de 170 a 340 kg de N ano⁻¹ (Delgado et al., 2007), reduzindo cerca de 3 t CO₂eq ha⁻¹ ano⁻¹ (De Gryze et al., 2009). A produção de oleaginosas para a produção de biocombustíveis como o caso da soja é outra estratégia, mas que dependendo dos subprodutos utilizados no processo pode ter um impacto ainda mais negativo no balanço de C (Hill et al., 2006). Por este motivo estratégias que minimizem os impactos ambientais que permitam ao mesmo tempo aumentar o rendimento de grãos e a sustentabilidade do sistema devem ser incentivados.

Carbono no Solo

Apesar do setor agrícola ser um dos principais responsáveis pelo aumento na concentração dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, principalmente pela vocação agrícola do Brasil, o manejo agrícola destaca-se também pelo potencial em atuar como fator drenos dos gases, contribuindo para mitigação da emissão dos GEE (Gomes, 2006).

O Solo é considerado o principal reservatório temporário de Carbono (C) do ecossistema, com cerca de 3,3 vezes mais C do que a atmosfera (Lal, 2004). Desta forma, o manejo no solo conforme os limites impostos pelas condições climáticas e edáficas, pode influenciar o fluxo do CO₂ do solo (Frank et al., 2006).

O preparo do solo juntamente com o manejo cultural destaca-se dentre as práticas agrícolas que mais influenciam os estoques de C do solo. Por exemplo, sob SSD o processo de estabilização do C no solo é mais intensificado, pois apresenta menor taxa de decomposição da MOS. Enquanto que o aporte de C é variável de acordo com o C fotossintetizado pelas culturas em rotação (Chung et al., 2008). Desta forma, sistemas agrícolas com alto aporte de resíduos vegetais com altos teores de C e N, resultam no aumento da MOS, potencializando o influxo de CO₂ (Bayer et al., 2006; Costa et al., 2008).

O manejo de preparo convencional, por meio do revolvimento e a consecutiva quebra dos agregados acaba expondo o C lábil, tornando acessível à atividade microbiana, que além do seu aumento exponencial, aumenta o fluxo de CO₂ do solo (Bronick e Lal, 2005). Em contrapartida, o SSD, além de reduzir a contaminação dos recursos hídricos pela redução de perdas de solo, de até 90%, possibilita o incremento da matéria orgânica, podendo ser considerado inclusive um serviço ambiental (Amado, 2009). Dentre os principais reflexos obtidos com a adoção do sistema conservacionista é a agregação do solo e a ciclagem de nutrientes, além da menor atividade microbiana (Sainju et al., 2012). No entanto, estes efeitos estão condicionados principalmente pelo período de adoção do sistema de manejo (Sá et al., 2004).

Além das culturas representarem a fonte primária de formação do C do solo (Kögel-Knabner, 2002), plantas de cobertura manejadas em SSD tem sido adotadas em 155 milhões de hectares no mundo, o que representa em torno de 11% da área

agricultável (Kassam et al., 2014). No Brasil, a adoção do SSD é tão intensificada que abrange praticamente metade da área agrícola (FEBRAPDP, 2012).

Normalmente, maiores patamares produtivos são verificadas no sistema conservacionista em relação ao cultivo convencional, sendo atribuído principalmente à restauração da qualidade do solo de outrora, a sua conservação, sequestro de C, e às melhorias nas condições edáficas no geral (De Vita et al., 2007).

O incremento de C por meio do SSD pode ser obtido por meio da intensificação do sistema de rotação de culturas por unidade de tempo, utilizando-as em épocas de entre-safra (Stewart et al. 2007). Em muitos casos, a utilização de espécies de cobertura pode ser em consórcio, sendo mais eficiente em aportar fitomassa em maior quantidade e qualidade do que os sistemas isolados (Giacomini et al. 2004). Em experimentos de longa duração geralmente observa-se uma relação linear positiva entre o aporte de resíduos vegetais ou outras fontes de C orgânico ao solo ao incremento de estoque de C na camada arável (Lovato et al., 2004; Bayer et al., 2006; Nicoloso, 2008; Chung et al., 2008).

Além da necessidade de rotação de culturas, é essencial para o sequestro de C em solos sob SSD o balanço positivo de N, obtido normalmente por meio do cultivo de espécies leguminosas (Boddey et al., 2010). Tem-se verificado que a rápida disponibilidade do N por meio de fontes minerais propicia menor eficiência do solo em acumular C, quando equiparado ao N proveniente de leguminosas (Zanatta et al., 2007). Isto é atribuído ao efeito estimulador da decomposição da MO nativa em solos, onde o N é limitante à atividade microbiana. Além disso, considerando o potencial de aquecimento da emissão de N_2O oriunda do fertilizante, compromete o saldo de C do solo. Desta forma, em sistemas tropicais a utilização destas culturas e o consecutivo aporte de N, tem sido considerado pré-requisito para o sequestro de C (Amado et al. 2001; Urquiarga et al. 2010).

Em solos não revolvidos o equilíbrio na relação C N ocorre entre 10 e 15. Porém, normalmente tem-se verificado o predomínio do primeiro elemento em detrimento ao N. Este déficit no aporte de N resulta normalmente num fator limitante nas taxas de sequestro de C na grande maioria dos SSD. Por este motivo, nota-se a importância do cultivo de fabáceas para melhorar o balanço de N no solo e sustentar o processo de sequestro de C, sendo tão importante a quantidade de resíduos quanto a sua qualidade (Urquiaga et al. 2010).

A utilização de fabáceas é mais eficiente em acumular C no solo quando comparado ao aporte via adubação nitrogenada (Lovato et al. 2004; Zanatta et al., 2007). Isto se deve à rápida disponibilidade do N mineral, podendo até estimular a decomposição da MOS onde o conteúdo de N encontra-se em déficit. Isto torna-se muito importante pois o fornecimento de N por meio da MOS para as culturas pode representar até metade do N requerido pelas plantas, mesmo quando a aplicação de N excede a demanda das culturas (Cassman et al., 2002).

Além do manejo, o tipo do solo constitui considerável fator da capacidade de proteger e estabilizar o C no solo. Em sistemas conservacionistas, predomina a importância da proteção física responsável pela agregação do solo (Conceição et al., 2008), principalmente em Latossolos oxidicos, em função da forte interação organomineral, destaca-se a estabilização química (Six et al., 2004). Enquanto que a recalcitrância bioquímica, relacionada a composição do material orgânico, tem menor influência sobre a estabilização (Dieckow et al., 2009).

Fluxo de CO₂ do solo

A concentração de CO₂ na atmosfera aumentou aproximadamente 25% no século passado, mesmo tendo um reduzido potencial de absorção de radiação infravermelha e menor ciclo de vida em comparação com outros gases de efeito estufa como o óxido nitroso e metano (USEPA, 2010), tem recebido atenção considerável nos últimos anos.

Tal atenção despertada se deve às mudanças no uso do solo e de manejo, que além de práticas agrícolas como uso de fertilizantes e resíduos induzem alterações nos teores de C orgânico do solo, como salientado anteriormente são responsáveis pelo aumento do CO₂ atmosférico (Bouwman, 1990). Em particular, a adição de material orgânico e principalmente o processo de mobilização estimulam a respiração do solo (Roberts e Chan, 1990), o que induz um aumento das emissões de CO₂ e, possivelmente em seguida também nas emissões de N₂O pela formação de zonas anaeróbicas (Aulakh et al., 1984). No entanto, muitos trabalhos têm relatado que a adoção de sistemas conservacionistas aumenta o armazenamento de C no solo com um menor fluxo de CO₂.

A agricultura conservacionista introduziu mudanças importantes na dinâmica de C no solo, pois favorece seu sequestro. A combinação do aporte de resíduos na

superfície e a não mobilização do solo resultam diretamente numa redução da taxa de decomposição da MOS, pois há uma redução da mineralização devido ao menor arejamento e acessibilidade aos microorganismos (Balota et al., 2004; Ordóñez Fernández Et al., 2008). A respiração do solo é a principal fonte de emissão de CO₂ do solo, e varia conforme as condições climáticas, tipo de ecossistema e concentração de C orgânico no solo (Rastogi et al., 2002, Vodnik et al., 2009, Ota e Yamazawa, 2010).

A temperatura e umidade do solo têm sido identificados dentre os fatores que mais influenciam as emissões de CO₂ do solo (Bauchmann, 2000; Zhang et al. 2012). Normalmente a temperatura do solo descreve uma equação exponencial, enquanto que os impactos da umidade do solo nem sempre são consistentes (Davidson, 2000). Mesmo assim, em ambiente tropical, onde a temperatura normalmente não é fator limitante, observou-se que o fluxo de CO₂ do solo foi influenciado significativamente pela umidade do solo (Rigon et al., 2018).

A adição de plantas de cobertura em rotação sob SSD são estratégias que auxiliam no aumento do sequestro de C e N no solo e considerados para mitigar as possíveis mudanças climáticas (Liebig et al., 2012). Além disso, benefícios na qualidade do solo pela menor perda de nutrientes e erosão, além de uma manutenção de umidade maior na superfície do solo já é bem conhecida (Scholberg et al., 2010).

As atividades agrícolas, dependendo do manejo utilizado, podem atuar tanto como fonte, bem como dreno dos gases do efeito estufa. O manejo do solo, como comentado, por meio do seu revolvimento ocasiona o fracionamento dos agregados do solo, expondo o C e N orgânicos, o que proporciona intensa atividade dos microorganismos, propiciando o efluxo de CO₂ para a atmosfera. Em contrapartida, a adoção de prática de manejo que aumente o fluxo de C no solo, como o SSD, possibilita conseqüentemente, reduzir as emissões, principalmente associado a rotações de culturas com alto aporte de resíduos vegetais, possibilitando a atuação de mecanismos de estabilização do C adicionado, na forma de MOS.

As culturas realizam um processo vital neste sistema, pois capturam CO₂ da atmosfera durante a fotossíntese convertendo este C em formas associadas à matéria orgânica no solo durante processos de decomposição microbiana (Johnson et al., 2007). O crescimento e a atividade microbiana são sensíveis às mudanças de pH do solo, especialmente na faixa de 4,3 a 5,3 (Kemmitt et al., 2006; Aciego-Pietri e

Brookes, 2008), que indiretamente influencia também as taxas de decomposição dos resíduos culturais (Wang et al., 2016). Outra característica importante dos processos microbianos é o favorecimento de frações mais estabilizadas de C como nas frações húmicas do solo (Cotrufo et al., 2013; Prescott, 2010). Neste caso, embora a agricultura seja geralmente excluída das regulamentações ambientais, a capacidade de compensar as emissões de gases de efeito estufa permite que a agricultura desempenhe um papel importante nas políticas climáticas (Claassen e Morehart, 2009).

Rotação de Culturas

Para melhorar a fertilidade do solo, culturas de cobertura em clima temperado são semeadas no outono para que a senescência/maturidade ocorra durante o inverno. No Brasil, especificamente no Sul não há uma data definida para a utilização das coberturas do solo visto que as condições climáticas e a disponibilidade hídrica propiciam ambientes ideais independente da época de cultivo. No caso do Cerrado brasileiro a realidade é totalmente distinta, a baixa disponibilidade hídrica no inverno limita significativamente as culturas de cobertura a serem utilizadas, onde até mesmo a proteção física superficial tem sido atribuída com dificuldade nesta região (Jantalia et al., 2007).

O uso de cultura de cobertura como adubo verde disponibiliza nutrientes para a safra subsequente conforme os processos de decomposição e mineralização (Eriksen, 2005). Contudo, tais processos são dependentes das condições climáticas (Kabba e Aulakh, 2004), assim como as características intrínsecas dos resíduos, ou entre outras palavras, a qualidade dos resíduos.

Qualidade dos Resíduos Culturais

A qualidade dos resíduos desempenha um papel fundamental na regulação dos processos de estabilização ou decomposição da MOS e tem sido debatida atualmente (Cotrufo et al., 2013, Marschner et al. 2008, Dungait et al., 2012). É amplamente reconhecido que ambos os processos são necessários: num primeiro momento, o processo de mineralização fornece nutrientes para a produtividade de culturas, mas ao mesmo tempo, resíduos mais estáveis na superfície constroem

uma proteção física do solo auxiliando na manutenção de sua qualidade (Hurisso et al., 2016).

Modelos tradicionais de decomposição de resíduos sugerem que os resíduos bioquimicamente recalcitrantes, aqueles com altos teores de lignina, se decompõem mais lentamente do que os resíduos com maior conteúdo de açúcares solúveis, C e N. Inclusive a teoria clássica sobre decomposição de resíduos atribui que estes quando recalcitrantes, ou seja, sob altos conteúdos de lignina “perdem” pouco C durante a decomposição e, conseqüentemente, devem ter uma proporção maior estabilizada no solo na MOS (Johnson et al. 2007; Wang et al. 2004; Berg and McClaugherty 2008), por meio de processos de humificação ou condensação (Berg e McClaugherty 2008; Knabner 2002). Desta forma, sugere-se que a partir da adição de resíduos mais recalcitrantes, ricos em lignina promove-se uma conversão mais eficiente de resíduo adicionado no Carbono orgânico do solo.

Lignina, hemiceluloses e celulosas são componentes estruturais das plantas, sendo a lignina a responsável pela rigidez e resistência às paredes celulares dos tecidos, atuando como uma cola entre os filamentos polissacarídeos e fibras (Fukushima e Hatfield, 2004), podendo compreender até 20% da parede celular dos resíduos (Johnson et al., 2007), considerada uma molécula de alta complexidade sendo altamente resistente à degradação enzimática extracelular (Austin e Ballare, 2010). Normalmente o que se tem verificado na literatura é que a decomposição dos resíduos é negativamente relacionada ao conteúdo de lignina (Hoffmann et al., 2009), assim como com a razão de lignina e Nitrogênio (Wang et al., 2004).

Existe uma grande variação em relação à quantidade, composição química e estrutural de ligninas nas culturas (Hatfield et al., 2009). De acordo com os autores, geralmente as gramíneas tem encrustado nas ligninas os ácidos ferulico e cumárico, hemicelulose e açúcares, representando desta forma uma estrutura mais complexa bioquimicamente, tornando-se mais recalcitrante em relação às leguminosas.

Resíduos culturais com altos conteúdos de ligninas espera-se naturalmente uma decomposição mais lenta e conseqüentemente uma persistência na superfície do solo por maior período de tempo quando comparado a resíduos com baixos teores de ligninas. Entretanto, a decomposição dos resíduos culturais não segue uma linearidade, pois varia conforme a composição inicial bioquímica do resíduo e a medida que vai ocorrendo a decomposição, a sua taxa é alterada. Neste caso, a qualidade dos resíduos culturais na dinâmica de sua decomposição e a subsequente

estabilização da MOS torna-se muito importante e tem sido atualmente discutida (Stewart et al., 2015).

Outro modelo de decomposição foi proposto, onde resíduos com maiores teores de C e N tem uma decomposição inicial mais intensa, mas que ao longo prazo pode ocasionar uma maior estabilização da MOS (Gleixner et al., 1999), devido ao processo microbiano mais eficiente (Cotruso et al., 2013; Prescott, 2010). Esta teoria baseia-se em que resíduos com altos conteúdos de lignina são usados ineficientemente pela comunidade microbiana (cerca de 8 à 31%), resultando em uma respiração muito maior por unidade de C adicionado comparado aos resíduos com baixos teores de lignina.

Sabe-se que a decomposição de resíduos no solo pode aumentar ou reduzir o fluxo de CO₂ do solo, dependendo da composição do resíduo adicionado. No solo, normalmente ocorre uma limitação natural de C aos microrganismos, havendo um estímulo quando adicionado ao solo e conseqüentemente um aumento na emissão de CO₂ ou até mesmo um efeito “priming” (Kuzyakov et al., 2000). O efeito líquido das adições de matéria orgânica ao balanço de C do solo é provavelmente em função da qualidade bioquímica do resíduo e das propriedades do solo e é importante considerá-las quando se avalia a dinâmica de decomposição dos resíduos (Kuzyakov 2010).

A importância relativa da composição bioquímica dos resíduos, especialmente lignina, na quantidade total e na taxa de decomposição do resíduo é também em função do N, que pode tanto positivamente quanto negativamente impactar na decomposição de resíduo (Hobbie et al., 2006). A taxa de decomposição inicial está positivamente relacionada ao teor de N de resíduos, pois em baixas concentrações de N, a utilização dos resíduos por meio dos microrganismos pode ser limitada (Hobbie et al., 2012). No entanto, a adubação de N reduz a decomposição de resíduos com altos teores de lignina (Knorr et al., 2005), além de reduzir a atividade das enzimas lignolíticas (Hoby et al., 2012). Ao passo que resíduos com altos teores de celulose, a adição de N estimula a taxa de decomposição (Hobbie e Vitousek, 2000) e a atividade enzimática degradante da celulose (Keeler et al., 2009). Estes efeitos podem ser devidos a mudanças em direção a uma comunidade microbiana eficiente em N (Couteaux et al., 1995).

Estudos recentes sugerem que as interações entre a bioquímica dos resíduos e N também mudam ao longo do tempo conforme as concentrações de N, estimulando

a degradação inicial de celulose, mas resultando em um processo posterior mais lento na decomposição e diminuição da atividade enzimática da lignina (Hobbie et al., 2012). Dependendo do teor de N do solo, os resíduos com altos teores de lignina ou celulose poderiam ter uma mineralização mais eficientemente e, posteriormente, contribuir para o estoque de C do solo (Hobbie et al., 2012).

A temperatura também exerce influência na decomposição dos resíduos. A teoria cinética enzimática sugere que compostos mais recalcitrantes são decompostos sob temperaturas mais altas, uma vez que a energia de ativação necessária para decompô-los é menor sob maiores temperaturas (Fierer et al., 2005; Conant et al., 2008, 2011). Em cenários com aumento da temperatura, os resíduos com maior teor de lignina podem se decompor mais rapidamente devido ao aumento da sensibilidade à temperatura em comparação com resíduos com menor teor de lignina (Fierer et al., 2005).

Além da lignina, a celulose também pode ser considerada recalcitrante ainda mais que encontra-se em muitos casos protegida com lignina e requer uma despolimerização inicial por enzimas extracelulares que são energeticamente dispendiosas (Stewart et al., 2015). Esta variação na própria bioquímica da lignina compreende uma mistura de monômeros de guaiacil, siringil e p-hidroxifenil. Apesar da complexidade, atribui-se que as gramíneas no geral também possuem complexos de lignocelulose que são acetilados ou esterificados por ácidos de lignina de tipo cumárico e ferúlico o que confere uma dificuldade maior à decomposição dos resíduos (Del Rio et al., 2007).

Substâncias Húmicas do Solo

A composição da MOS varia de acordo com o material de origem, das condições climáticas e da cobertura vegetal e sua decomposição, comprovando o efeito da cobertura vegetal sobre o teor e a distribuição dos componentes orgânicos em solos tropicais (Longo e Espíndola, 2000).

Inúmeras definições são atribuídas às substâncias húmicas na literatura, e de maneira geral convergem quanto à complexidade de sua conformação molecular e estrutural oriundos da decomposição de resíduos vegetais e animais. Stevenson (1994) detém a denominação mais usual onde as substâncias húmicas representam um grupo de substâncias de estruturas químicas complexas de maior estabilidade

que os materiais que a originaram, bem como, estrutura e natureza particulares, originando-se da celulose, lignina, proteínas, lipídios e outras substâncias provenientes da degradação química e biológica ou da ressíntese. O processo de origem é a humificação que baseia-se na perda de polissacarídeos e componentes fenólicos, modificação das estruturas de lignina, e enriquecimento em estruturas aromáticas não lignínicas recalcitrantes (Zech et al., 1997). Sendo este processo intermediado pelos agentes microbiológicos, e fatores como temperatura, umidade e substrato (diga-se resíduos culturais) influenciam nas taxas de humificação no solo.

Fungos saprófitos atuam como decompositores primários, secundários e terciários em ecossistemas naturais (Grinhut Et al., 2007). Além disso, os fungos são os responsáveis pela degradação de macromoléculas tais como lignina, hemiceluloses e celulosas e também de substâncias húmicas, enquanto que as bactérias na sua maioria não conseguem degradar várias moléculas dentre estas. Inclusive, estima-se que num futuro próximo ocorra a adição de fungos saprófitos para que seja uma forma de acelerar o processo de humificação de resíduos com altos teores de lignina (Medina et al 2015). No entanto, estudos recentes também observaram que isolados bacterianos tiveram alta capacidade na degradação de lignina, onde enzimas aparentemente extracelulares como peroxidases parecem estar envolvidas (Vargas-Garcia et al., 2007; Bugg et al., 2011).

As substâncias húmicas constituem de 70% a 80% da MOS e através de seus grupos carboxílicos, fenólicos e aminos, influenciam nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (Cunha et al., 2000). Dentre as substâncias húmicas destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos e a humina. Estes compostos naturalmente resultam da decomposição da matéria orgânica e são capazes de estimular alterações fisiológicas nas plantas, as quais podem contribuir para um melhor desenvolvimento vegetal. Os ácidos fúlvicos são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular; são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os ácidos húmicos são os compostos mais estudados e apresentam pouca solubilidade na acidez normalmente encontrada em solos tropicais, responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. A humina, apesar de apresentar baixa reatividade, é responsável pela agregação das partículas e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (Benites et al., 2003). Além disto, esta fração geralmente contém altos conteúdos de ligninas

sensivelmente modificadas e polissacarídeos à sua formação varia de acordo com os resíduos culturais nos horizontes superficiais (Zech et al., 1997).

Agregação do Solo

A agregação do solo é uma característica importante relacionada à qualidade e degradação do solo, assim como a estrutura e a MOS (Six et al., 2000; Bronick e Lal, 2005), que podem servir como indicadores iniciais de recuperação ou degradação dos solos. A melhora da agregação em microagregados e macroagregados é controlada pela MOS, que é considerada agente de ligação primária (Tisdall e Oades, 1982). Sob diferentes condições climáticas e ecossistemas, frequentemente tem sido fortemente relacionada a ligação entre índices de estabilidade de agregados e a MOS (Wiesmeier et al., 2012). Isso pode explicar a importância da quantidade e qualidade das frações de C do solo por causa de seu impacto na agregação do solo (Duiker & Lal, 2000).

A textura do solo (teor de argila) e a MOS são os principais agentes abióticos responsáveis na formação e estabilização dos agregados (Portella et al., 2012). Sendo que os demais agentes considerados bióticos são as culturas (resíduos radiculares e palhada), bem como a biomassa microbiana, que influenciam diretamente na formação de agregados do solo (Chaudhary et al., 2009; Duchicela et al., 2013).

Os macroagregados naturalmente contêm mais MOS do que propriamente os microagregados. No entanto, esta fração associada aos macroagregados é mais lábil e no geral é facilmente decomponível quando comparada a fração da MOS associada aos microagregados (Bronick e Lal, 2005). Também tem sido sugerido que os macroagregados desempenham um papel fundamental nos estágios iniciais da proteção da matéria orgânica, pois representam um local preferencial para a formação e a estabilização de C dentro de microagregados (Six et al., 2000). Enquanto que os microagregados tem particular relevância para o armazenamento da MOS devido à sua estabilidade relativa (Angers et al., 1997; Zibilske e Bradford, 2007).

No SSD é comumente relatado o aumento do tamanho dos macroagregados (> 2 mm) na superfície do solo em comparação ao cultivo convencional (Wright e Hons, 2004). Embora tenha sido demonstrado que o preparo do solo reduz a formação de

macroagregados e destrói a estrutura do solo promovendo a formação de micro agregados (Six et al., 2000). Desta forma, os macroagregados são mais sensíveis aos efeitos de manejo ou práticas como o preparo do solo, pois expõem o C orgânico previamente protegido à oxidação microbiana (Balesdent et al., 2000). Neste caso, as práticas de cultivo que perturbam os agregados do solo liberando C previamente protegido aumentam proporcionalmente o C e N mineralizáveis (Kocyigit e Rice, 2004).

No SSD, a formação e estabilização de agregados começam com o aporte de material orgânico, tais como resíduos de culturas em sistemas de rotação. A consequente decomposição favorece a proteção da MO retida, enquanto que o sistema radicular das culturas são os agentes de ligação importantes na formação de macroagregados (Six et al., 2004; Wright e Hons, 2004). Desta forma, contribuindo para a retenção de C nos solos, verificou-se que a maior parte dessa influência no SSD ocorre na superfície do solo (Franzluebbers et al., 1994).

Se a decomposição dos resíduos culturais for lenta, eles são mais efetivos na estabilidade de agregação em longo prazo (Wright e Hons, 2004). Isto resultará na formação de microagregados mais estáveis dentro de macroagregado devido ao encrustamento gradual com partículas de argila e subprodutos microbianos (Six et al 2000). Esta característica está associada à composição química dos resíduos.

A quantidade de resíduos e raízes de cultivos parece importante ferramenta para a agregação e estabilidade do solo (Lichter et al., 2008). Segundo os autores, o sistema radicular horizontal apresenta uma rede de raízes mais densa e superficial e essas características poderiam influenciar positivamente a formação e estabilidade de agregados (Six et al., 2004; Deneff e Six, 2005). A inclusão da soja em rotação com milho reduziu a estabilidade de agregados em comparação ao milho em manejo contínuo. Tal fato ocorreu devido à redução do acúmulo de resíduos e à depleção da MOS (Kladivko et al., 1986; Jagadamma et al. 2008) ou à redução do conteúdo de substâncias húmicas como resultado da composição bioquímica do resíduo da soja (Martens, 2000). Comparado ao milho, a produção de resíduos da soja é bem menor, embora a relação C N seja mais estreita em comparação ao resíduo do milho, resultando em menor imobilização e mineralização mais rápida de N no solo (Brady e Weil, 2002). No entanto, Raimbault e Vyn (1991) demonstraram que rotações prolongadas ou de maior duração com outras leguminosas, como alfafa e trevo vermelho ou misturas entre leguminosas e gramíneas produzem mais

biomassa e aumentam a estabilidade do agregado do solo em comparação com rotações mais curtas. No geral, são sugeridos padrões de cultivos diversificados compostos de pelo menos por três espécies, dentre estas incluindo pelo menos uma leguminosa (Reicosky et al., 2015).

A qualidade dos resíduos culturais pode conduzir à formação de macroagregados. Uma correlação significativa já foi relatada (Martin e Martens, 1941; Frankenberger, 1992), provavelmente devido a hemicelulose ser mais estável exercendo um efeito de longo prazo (Abiven et al., 2009). No entanto, alguns estudos descobriram

que a qualidade dos resíduos não influencia a quantidade de macroagregados, pois todos os aportes orgânicos têm praticamente a mesma magnitude de efeito (Gentile et al., 2010).

REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p.1–12, 2009.
- ACIEGO-PIETRI, J.C.; BROOKES, P.C. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.40, p.1856-1861, 2008.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 25:189-197, 2001.
- ANGERS, D.A.; BOLINDER, M.A.; CARTER, M.R. Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. **Soil and Tillage Research**, Madison, v.41, p.191-201, 1997.
- AULAKH, M.S.; RENNIE, D.A.; PAUL, E.A. Gaseous nitrogen losses from soils under zero-till as compared with conventional-till managements systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.13, p.130–136, 1984.
- AUSTIN, A. T.; BALLARÉ, C. L. Dual role of lignin in plant litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New York, v. 107, p. 4618-4622, 2010.
- BAI, S.; CHIU, Y.C.; NIEMEIER, D. Using Dynamic Assignment to Improve Regional Mobile Emissions Estimation. Presented at **87rd Annual Meeting of the Transportation Research Board**, Washington, D.C., 2008.
- BALOTA, E.L.; KANASHIRO, M.; FILHO, A.C.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agroecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.35, p.300–306, 2004.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Madison, v.53, p.215-230, 2000.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil and Tillage Research**, Madison, v. 86, p. 237-245, 2006.
- BAUCHMANN, N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in Picea abies stands, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.32, p.1625-1635, 2000.

- BERG, B.; McCLAUGHERTY, C. **Plant litter: Decomposition, humus formation, Carbon sequestration**. 2ed. Berlin: Springer Verlag Heidelberg, Berlin, 2008. 338 p.
- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H.P. ; DENARDIN, J.E. ; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. ; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Urbana, v.16, p. 784-795, 2010.
- BOWDEN, R.D.; STEUDLER, P.A; MELILLO, J.M. Annual nitrous oxide fluxes from temperate forest soil in the Northeastern United State. **Journal of Geophysical Research**, Weinheim, v. 95, p.13997-14005, 1990.
- BOUWMAN, A.F. 1990. **Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere**. In: Bouwman, A.F. (Ed.), Soils and the Green House Effect. Wiley, Chischester, 61–127.
- BUGG, T.D.; AHMAD, M.; HARDIMAN, E.M.; SINGH, R. The emerging role for bacteria in lignin degradation and bio-product formation. **Current Opinion in Biotechnology**, Londres, v. 22, p.394–400, 2011.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. 13th. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 960 p.
- BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, Amsterdam, v.124, p.3-22, 2005.
- CASSMAN, K.G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D.T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. **Ambio**, Stockholm, v.31, p.132–140, 2002.
- CHALLINOR, A. J.; WATSON, J.; LOBELL, D. B.; HOWDEN, S. M.; SMITH, D. R.; CHHETRI, N. A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation, **Nature Climate Change**, Oxford, v.4, p.287–291, 2014.
- CHAUDHARY, V.; BOWKER, M.; O' DELL, T.; GRACE, J.; REDMAN, A.; RILLIG, M.; JOHNSON, N. Untangling the biological contributions to soil stability in semiarid shrublands. **Ecological Applications**, Washington, v.19, p. 110-122, 2009.
- CHEN, X.; CUI, Z.; FAN, M.; VITOUSEK, P.; ZHAO, M.; MA, W.; WANG, Z.; ZHANG, W.; YAN, X.; YANG, J.; DENG, X.; GAO, Q.; ZHANG, Q.; GUO, S.; REN, J.; LI, S.; YE, Y.; WANG, Z.; HUANG, J.; TANG, Q.; SUN, Y.; PENG, X.; ZHANG, J.; HE, M.; ZHU, Y.; XUE, J.; WANG, G.; WU, L.; AN, N.; WU, L.; MA, L.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Producing more grain with lower environmental costs, **Nature**, Oxford, v. 514, p. 486–489, 2014.
- CHUNG, H.; NGO, K. J.; PLANTE, A.; SIX, J. Evidence for Carbon Saturation in a Highly Structured and Organic-Matter-Rich Soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p.130- 138, 2008.

- CLAASSEN, R.; MOREHART, M. **Agricultural land tenure and carbon offsets**. Economic Brief-14. Department of Agriculture, Economic Research Service, 2009.
- CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; DIECKOW, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.541-549, 2008.
- CONANT, R.T.; STEINWEG, J.M.; HADDIX, M.L.; PAUL, E.A.; PLANTE, A.F.; SIX, J. Experimental warming shows that decomposition temperature sensitivity increases with soil organic matter recalcitrance. **Ecology**, Washington, v. 89, p. 2384–2391, 2008.
- CONANT, R.T.; RYAN, M.G.; ÅGREN, G.I.; BIRGE, H.E.; DAVIDSON, E.A.; Temperature and soil organic matter decomposition rates: Synthesis of current knowledge and a way forward. **Global Change Biology**, Urbana, v.17, p.3392–3404, 2011.
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 32, p. 323-332, 2008.
- COTRUFO, M.F.; WALLENSTEIN, M.D.; BOOT, C.; DENEFF, K.; PAUL, E. The microbial efficiency-matrix stabilisation (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable organic matter?. **Global Change Biology**, Urbana v. 19, p. 988-995, 2013.
- COUTEAUX, M.M.; BOTTNER, P. BERG, B. Litter decomposition, climate and litter quality. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 10, p. 63–66, 1995.
- CUNHA, T.J.F.; MENEGUELLI, N.A.; CONCEIÇÃO, M.; MACHADO, P.L.O.A.; FREIXO, A.A. **Avaliação de extratores de substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Distroférico**. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, 2000. 15p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, n.7).
- DAVIDSON, E.A.; VERCHOT, L.V.; CATTANIO, J.H.; ACKERMAN, I.L.; CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 53-69, 2000.
- DE GRYZE, S.; ALBARRACIN, M.V.; CATALA-LUQUE, R.; HOWITT, R.E.; SIX, J. Modeling shows that alternative soil management can decrease greenhouse gases. **California Agriculture**, Berkeley, v. 63, p. 84–90, 2009.
- DEL RIO, J. C.; GUTIÉRREZ, A.; RODRIGUEZ, I. M.; IBARRA, D.; MARTINEZ, A. T. Composition of non-woody plant lignins and cinnamic acids by Py-GC/MS, Py/TMAH and FT-IR. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 39- 46, 2007.

- DENEFF, K., J. SIX, R. MERCKX, AND K. PAUSTIAN. 2004. Carbon sequestration in microaggregates of no-tillage soils with different clay mineralogy. **Soil Science Society of American Journal, Madison** . 68:1935–1944.
- DELGADO, J.A.; DILLON, M.A.; SPARKS, R.T.; ESSAH S.Y.C. A decade of advances in cover crops: Cover crops with limited irrigation can increase yields, crop quality, and nutrient and water use efficiencies while protecting the environment. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 62, p.110A-117A, 2007.
- DE VITA, P.; DI PAOLO, E.; FECONDO, G.; DI FONZO, N.; PISANTE, M. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield: grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam v.92, p. 69–78, 2007.
- DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.B.M.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.M.; MIELNICZUK, J. & HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 240-249, 2009.
- DUAN, L.; HUANG, Y.M.; HAO, J.M.; XIE, S.D.; HOU, M. Vegetation uptake of nitrogen and base cations in China and its role in soil acidification. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 330, p.187-198, 2004.
- DUCHICELA, J.; VOGELSANG, K.; SCHULTZ, P.; KAONONGBUA, W.; MIDDLETON, E.; BEVER, J. Non-native plants and soil microbes: potential contributors to the consistent reduction in soil aggregate stability caused by the disturbance of North American grasslands. **New Phytologist**, Oxford, v.196, p. 212-222, 2012.
- DUIKER, S.W. & LAL, R. Carbon budget study using CO₂ flux measurements from a no till system in central Ohio. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, 54:21-30, 2000.
- DUNGAIT, J. A. J., HOPKINS, D. W., GREGORY, A. S., AND WHITMORE, A. P.: Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance, **Global Change Biology**, Urbana, 18, 1781–1796, 2012.
- ERIKSEN, I. Gross sulphur mineralization–immobilization turnover in soil amended with plant residues. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 2216–2224, 2005.
- FEBRAPDP (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha), 2012. Area under no-tillage in the world. Accessed at: <http://www.febrapdp.org.br>. verified Mar 05/05, 2017 (in Portuguese).
- FIERER, N.; JACKSON, J.A.; VILGALYS, R.; JACKSON, R.B. Assessment of soil microbial community structure by use of taxon-specific quantitative PCR

assays. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v.71, p. 4117–4120, 2005.

FOLEY, J. A; et al., Solutions for a cultivated planet. **Nature**, Oxford, v.478, p.337–342, 2011.

FUKUSHIMA, R.S.; HATFIELD, R. D. Comparison of the acetyl bromide spectrophotometric method with other analytical lignin methods for determining lignin concentration in forage samples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, p. 3713–3720, 2004.

FRANK, A.B.; LIEBIG, M.A.; TANAKA, D.L. Management effects on soil CO₂ efflux in northern semiarid grassland and cropland. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 89, p.78–85, 2006.

FRANKENBERGER, T. **Indicators and data collection methods for assessing household food security**. In S. Maxwell & T. Frankenberger, eds. Household food security: concepts, indicators, and measurements: a technical review. New York, NY, USA and Rome, UNICEF and IFAD. 1992.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Long-term changes in soil carbon and nitrogen pools in wheat management systems. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, p. 1639–1645, 1994.

GENTILE, R.; VANLAUWE, B.; KAVOO, A.; CHIVENGE, P.; SIX, J. Residue quality and N fertilizer do not influence aggregate stabilization of C and N in two tropical soils with contrasting texture. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 88, p. 121-131, 2010.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G.; CADORE, F. Consorciação de plantas de cobertura no outono-inverno como fonte de Nitrogenio ao milho em sistema de plantio direto: II. Potencial de fornecimento de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 28, p.751-762, 2004.

GLEIXNER, G.; BOL, R.; BALESSENT, J. Molecular insight into soil carbon turnover. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, Chichester v. 13, p. 1278–1283, 1999.

GOMES, J. Emissão de gases do efeito estufa e mitigação do potencial de aquecimento global por sistemas conservacionistas de manejo do solo. 2006. 126 f. Tese (**Doutorado em Ciência do Solo**) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

GRINHUT, T.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**, Amsterdam, v.21, p.179-189, 2007.

- HATFIELD, R. D.; MARITA, J. M.; FROST, K.; GRABBER, J.; RALPH, J.; LU, F.C. Grass lignin acylation: *p*-coumaroyl transferase activity and cell wall characteristics of C3 and C4 grasses. **Planta**, v. 229, p. 1253–1267, 2009.
- HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, D.; TIFFANY, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New York, v. 103, p.11206–11210, 2006.
- HOBBIE, S.E.; VITOUSEK, P.M. Nutrient limitation of decomposition in Hawaiian forests. **Ecology**, Washington, v. 81, p. 1867-1877, 2000.
- HOBBIE, S.E.; REICH, P.B.; OLEKSYN, J.; OGD AHL, M.; ZYTKOWIAK, R.; HALE, C.; KAROLEWSKI, P. Species effects on decomposition and forest floor dynamics in a common garden. **Ecology**, Washington, v. 87, p. 2288-2297, 2006.
- HOBBIE, S.E.; EDDY, W.C.; BUYARSKI, C.R.; ADAIR, E.C.; OGD AHL, M.L.; WEISENHORN, P. Response of decomposing litter and its microbial community to multiple forms of nitrogen enrichment. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 82, p. 389-405, 2012.
- HOFFMANN, W.A.; ADASME, R.; HARIDASAN, M.; CARVALHO, M.T.; GEIGER, E.L.; PEREIRA, M.A.B.; GOTSCH, S.G.; FRANCO, A.C. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savana-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. **Ecology**, Washington, v. 90, p.1326-1337, 2009.
- HURISSO, T. T.; CULMAN, S. W.; HORWATH, W. R.; WADE, J.; CASS, D.; BENISTON, J. W.; BOWLES, T. M.; GRANDY, A. S.; FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHIPANSKI, M. E.; LUCAS, S. T.; UGARTE, C. M. Comparison of permanganate-oxidizable carbon and mineralizable carbon for assessment of organic matter stabilization and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 80, n. 5, p. 1352–1364, 2016.
- JAGADAMMA, S.; LAL, R.; HOEFT, R.G.; NAFZIGER, E.D.; ADEE, E.A. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 98, p.120–129, 2008.
- JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.R.J.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, p.97-109, 2007.
- JOHNSON, J.M.; FRANZLUEBBERS, A.J.; LACHNICHT-WEYERS, S.; REICOSKY, D.C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. **Environmental Pollution**, Barking, v. 150, p.107–24, 2007.
- KABBA, B.S.; AULAKH, M.S. Climatic conditions and crop-residue quality differentially affect N, P, and S mineralization in soils with contrasting P status. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 167, p. 596–601, 2004.

- KASSAM, A.; LI, H.W.; NIINO, Y.; FRIEDRICH, T.; JIN, H.; WANG, X.L. Current status, prospect and policy and institutional support for Conservation Agriculture in the Asia-Pacific region. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 7, p.1–13, 2014.
- KEELER, B. L.; HOBBIE, S. E.; KELLOGG, L. E. Effects of long-term nitrogen addition on microbial enzyme activity in eight forested and grassland sites: implications for litter and soil organic matter decomposition, **Ecosystems**, Berlin, v. 2, p. 1–15, 2009.
- KEMMITT, S.J.; WRIGHT, D.; GOULDING, K.W.T.; JONES, D.L. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford. v. 38, p. 898-911, 2006.
- KLADIVKO, E.L.; MACKAY, A.D.; BRADFORD, J.M. Earthworms as a factor in the reduction of soil crusting. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, p. 191-197, 1986.
- KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 139-162. 2002.
- KOCYIGIT, R.; RICE, C. W. Carbon Dynamics in Tallgrass Prairie and Wheat Ecosystems. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 28, p.141-153, 2004.
- KUZYAKOV, Y. Priming effects: interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1363–1371, 2010.
- KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J.K; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p.1485-1498, 2000.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Amsterdam, v. 304, p.1623-1627, 2004.
- LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.70, p.55A–62A, 2015.
- LICHTER, K.; GOVAERTS, B.; SIX, J.; SAYRE, K. D.; DECKERS, J.; DENDOOVEN, L. Aggregation and C and N contents of soil organic matter fractions in a permanent raised-bed planting system in the Highlands of Central Mexico. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 305, p.237–252, 2008.
- LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; KRONBERG, S. L.; SCHOLLJEGERDES, E. J.; KARN, J. F. Integrated crops and livestock in central North Dakota, USA: Agroecosystem management to buffer soil change. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 27, p. 115-124, 2012.

- LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R. Alterações em características químicas de solos da região Amazônica pela introdução de pastagens. **Acta Amazonica**, Amazônia, v.30, p.71-80, 2000.
- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.
- MARSCHNER, B.; BRODOWSKI, S.; DREVES, A.; GLEIXNER, G.; GUDE, A.; GROOTES, P.M.; HAMER, U.; HEIM, A.; JANDI, G.; JI, R.; KAISER, K.; KALBITZ, K.; KRAMER, C.; LEINWEBER, P.; RETHEMEYER, J.; ASCHÄFFER, A.; SCHMIDT, M.W.I.; SCHWARK, L.; WIESENBERG, G.L.B. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v.171, p.91-110, 2008.
- MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 32, p.361–369, 2000.
- MARTIN, C.A. Ácidos graxos poli-insaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, Campinas, v.19, p.761-770, 2006.
- MEDINA, J.D.C.; WOICIECHOWSKI, A.; FILHO, A.Z.; NOSEDA, M.D.; KAUR, B.S.; SOCCOL, C.R. Lignin preparation from oil palm empty fruit bunches by sequential acid/alkaline treatment – a biorefinery approach. **Bioresource Technology**, Essex, v. 194, p. 172–178, 2015.
- NICOLOSO, R.D.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Soil organic carbon budget under crop-livestock integration in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p.2425-2433, 2008.
- OTA, M.; YAMAZAWA, H. Forest floor CO₂ flux estimated from soil CO₂ and radon concentrations. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 44, p.4529–4535, 2010.
- ORDÓÑEZ-FERNÁNDEZ, R.; CARBONELL BOJOLLO, R.; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, P.; PEREA TORRES, F. Influencia de la climatología y el manejo del suelo en las emisiones de CO₂ en un suelo arcilloso de la vega de Carmona. **Carel**, Amsterdam, v. 6, n.6, p. 2339-2354, 2008.
- PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1868-1877, 2012.
- PRESCOTT CE. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 101, p.133–149, 2010.
- RAIMBAULT, B. A.; VYN, T.J. Corn rotation and tillage effects on growth and soil structural stability. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 979-985, 1991.

- RANDALL, P.J.; ABAIDOO, R.C.; HOCKING, P.J.; SANGINGA, N. Mineral nutrient uptake and removal by cowpea, soybean and maize cultivars in west Africa, and implications for carbon cycle effects on soil acidification. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 42, p. 475-494, 2006.
- RASTOGI, M.; SINGH, S.; PATHAK, H. Emission of carbon dioxide from soil. **Current science**, Bangalore, v. 82, p.510–517, 2002.
- REICOSKY, D.C. 2015. Conservation tillage is not conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny 70(5):103A-108A. B.
- RIGON, J.P.G.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C.A.; SCALA JUNIOR, N. L. Short-term CO₂ emissions and soybean yield in rotation with cover crops under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 75, p. 18-26, 2018.
- ROBERTS, W.P.; CHAN, K.Y. Tillage-induced increases in carbon dioxide loss from soil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 17, p. 143–151, 1990.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E.; FORNARI, A.; Sá, M.F.M.; VENZKE FILHO, S.P.; SEGUY, L.; BOUZINAC, S. & PAULLETI, V. O plantio direto como base do sistema de produção visando o sequestro de carbono. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 84, p.45-61, 2004.
- SAINJU, U.M.; STEVENS, W.B.; CAESAR-TONTHAT, T.; LIEBIG, M.A. Soil greenhouse gas emissions affected by irrigation, tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization. **Journal of Environmental Quality**, Madison, 41:1774–1786, 2012.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p.7-31, 2004.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 1042- 1049, 2000.
- SCHOLBERG, J.M.S.; DOGLIOTTI, S.; LEONI, C.; CHERR, C.M.; ZOTARELLI, L.; ROSSING, WAH. **Cover crops for sustainable agrosystems in the Americas**. In: Lichtfouse E (ed) Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. Springer, Dordrecht, pp 23–58, 2010.
- SCHRODER, J.L.; ZHANG, H.L.; GIRMA, K.; RAUN, W.R.; PENN, C.J.; PAYTON, M.E. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 75, p. 957-964, 2011.
- STEVENS, C.J.; DISE, N.B.; GOWING, D.J. Regional trends in soil acidification and exchangeable metal concentrations in relation to acid deposition rates. **Environmental Pollution**, Barking, v. 157, p.313-319, 2009.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 443p., 1994.

- STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. Soil carbon saturation: concept, evidence and evaluation. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.86, p. 19-31, 2007.
- STEWART, C.E.; MOTURI, P.; FOLLETT, R.F.; HALVORSON, A.D. Lignin biochemistry and soil N determine crop residue decomposition and soil priming. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 124, p. 335–351, 2015.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 33, p.141-163, 1982.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; JANTALIA, C.P.; BODDEY, R.M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações Agronômicas**, Campinas, v. 130, p.12-21, 2010.
- USEPA-United States Environmental Protection Agency. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2008. U.S. Environmental Protection Agency, N.W. Washington, 2010.
- WANG, H.; MAGESAN, G. N.; KIMBERLY, M. O.; PAYN, T. W.; WILKS, P. J.; FISCHER, C. R. Environmental and nutritional responses of a *Pinus radiata* plantation to biosolids application. **Plant and Soil**, Dordrecht v. 267, p. 255-262, 2004.
- WANG, C.; WANG, G.; WANG, Y.; RAFIQUE, R.; MA, L.; HU, L.; LUO, Y. Fire alters vegetation and soil microbial community in alpine meadow. **Land Degradation & Development**, New York, v. 27, p. 1379-1390, 2016.
- WEST, T.O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 91, p. 217-232, 2002.
- WIESMEIER, M.; STEFFENS, M.; MUELLER, C. W.; OLBL, A. K.; RESZKOWSKA, A.; PETH, S.; HORN, R.; KOGEL-KNABNER, I. Aggregate stability and physical protection of soil organic carbon in semi-arid steppe soils. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 63, p. 22-31, 2012.
- WRIGHT, A.L.; HONS, F.H. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, p. 507–513, 2004.
- VARGAS-GARCÍA, M.C.; SUAREZ-ESTRELLA, F.; LOPEZ, M.J.; MORENO, J. Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction. **Waste Management**, Oxford, v. 27, p. 1099–1107, 2007.
- VODNIK, D.; VIDEMŠEK, U.; PINTAR, M.; MAČEK, I.; PFANZ, H. The characteristics of soil CO₂ fluxes at a site with natural CO₂ enrichment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 150, p. 32–37, 2009.

- YANG, Y.H.; JI, C.J.; MA, W.H.; WANG, S.F.; WANG, S.P.; HAN, W.X.; MOHAMMAD, A.; ROBINSON, D.; SMITH, P. Significant soil acidification across northern China's Zech, Z., Senesi, N., Guggenberger, G., Kaiser, K., Lehmann, J., Miano, T.M., Miltner, A., Schroth, G. 1997. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 2012.
- ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B. & MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 510-519, 2007.
- ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.
- ZHANG, L.; CHEN, Y.; ZHAO, R.; LI, W. Soil carbon dioxide flux from shelter belts in farm land in temperate arid region, northwest China. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 48, p.24-31, 2012.
- ZIBILSKIE L. M.; BRADFORD J. M. Soil aggregation, aggregate carbon and nitrogen, and moisture retention induced by conservation tillage. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.71, p.793–802, 2007.

1. CAPÍTULO I – QUANTIDADE E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMAS DE MANEJO COM APORTE DIFERENCIADO DE PALHA

RESUMO

A matéria orgânica do solo (MOS) tem sido sugerida como um indicador-chave da qualidade do solo, principalmente em ambientes tropicais, considerando seu dinamismo e influência nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Sistemas de manejo de semeadura direta (SSD) tem sido amplamente utilizado com objetivos além de incremento produtivo, reduzir as taxas de decomposição da MOS e contribuir para o sequestro de C-CO₂ decorrente da utilização de rotações de culturas. O objetivo do trabalho é analisar a influência das rotações de culturas de longa duração em solos conduzidos sob SSD por no mínimo 10 anos e os efeitos nos estoques de C e N e da qualidade da MOS. Dois experimentos foram conduzidos entre 2013 e 2015 em Botucatu – SP, com o cultivo das espécies no outono-inverno: i) triticale e girassol no experimento em Nitossolo, e ii) Brachiaria, sorgo granífero e brachiaria + sorgo granífero no experimento em Latossolo Vermelho. Na primavera cultivou-se milho, crotalária e sorgo forrageiro em ambos os experimentos. No experimento em Nitossolo houve também um tratamento com pousio na primavera, o qual foi escarificado em média a cada 3 anos. A soja foi cultivada no verão, em área total, em ambos os experimentos. Foram analisados os fluxos de CO₂ das rotações de culturas, assim como os teores de C e N e composição bioquímica dos resíduos vegetais; atributos físicos e estoques de C e N no perfil dos solos foram analisados enquanto que na camada superficial o fracionamento químico da MOS, biomassa microbiana e estabilidade de agregados foram determinados. As rotações de culturas no solo com maior teor de argila influenciaram mais intensamente os atributos analisados. Em relação aos resíduos, as culturas de outono-inverno tiveram características de maior persistência na superfície do solo, enquanto que as plantas de primavera foram importantes pelo alto aporte de N ao solo, principalmente a crotalária. Este tratamento, além do maior aporte de N, destacou-se pelos altos conteúdos de lignina, o que pode ter influenciado nos maiores teores de humina observados. Já o pousio limitou os teores

e estoques de C e N na camada superficial e a estabilidade de agregados, devido principalmente à ausência de cultivo ou baixo aporte de substrato na primavera. Embora estes efeitos não tenham sido observados no rendimento de grãos da soja, este tratamento também foi responsável pelas maiores emissões acumuladas e relativas de CO₂, o que pode ser decorrente dos menores teores de humina na camada superficial. Desta forma, observou-se que as características intrínsecas dos resíduos culturais influenciou diretamente na qualidade da MOS assim como de sua estabilização e emissão de C-CO₂.

Palavras-chave: qualidade de resíduos, rotação de culturas, sistema de semeadura direta, humificação da matéria orgânica do solo.

1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de culturas de cobertura no sistema de semeadura direta (SSD) normalmente aumenta a conservação dos estoques de C e N (Urquiarga et al., 2010) A partir disto, há uma maior oferta de N, principalmente quando rotacionados com plantas leguminosas, sendo inclusive mais importantes que a adição de N mineral (Zanatta et al., 2007; Rigon et al., 2018).

No entanto, limitações são verificadas em regiões de clima com limitação hídrica como no Cerrado, o que dificulta a escolha de espécies que possibilitem uma cobertura rápida do solo e também uma produção de resíduos culturais com capacidade de permanecer na superfície por longo período (Jantalia et al., 2007). Característica essas que tem sido atribuída às plantas com resíduos de alta relação C N, tais como normalmente são verificadas nas gramíneas (Delgado et al., 2007; De Gryze et al., 2009). No entanto, posterior ao seu cultivo pode ocorrer certa deficiência de N pelo processo de imobilização momentâneo induzida pela biomassa microbiana. A partir desta premissa, as rotações de primavera foram estabelecidas procurando suprir qualquer demanda e ciclagem de nutrientes em período curto de tempo, cerca de 50 dias antecedendo a cultura de grãos cultivada no verão.

Além de propiciar sustentabilidade ao SSD, o cultivo de plantas de cobertura pode ser uma alternativa viável para mitigar as emissões de gases de efeito estufa, seja pela menor necessidade de N inorgânico, ou de nutrientes pela ciclagem dos resíduos (Amado, 2001). Mesmo que o processo de mineralização de resíduos na superfície do solo possibilite uma maior emissão direta de CO₂, muitas vezes os

benefícios oriundos das plantas de cobertura nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo proporcionam maiores rendimento de grãos, resultando numa menor emissão relativa de CO₂, o que faz importante avaliar a emissão de gases relacionada à produção de grãos (Eriksen, 2005).

As possíveis alterações nos atributos físicos, químicos e/ou biológicos do solo quando cultivado sob diferentes plantas de cobertura são devidos às características intrínsecas dos resíduos culturais em sistemas de rotação, ou seja, a sua qualidade verificada pelos teores de C, N, hemicelulose, celulose e lignina. Estas composições influenciam diretamente nas propriedades e taxas de mineralização dos resíduos, ciclagem de nutrientes, na proteção física da superfície do solo, além da humificação da MOS. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a influência da quantidade e da qualidade dos resíduos culturais ofertados ao solo por diferentes sistemas de manejo conduzidos em longo prazo no estoque de C e N do solo e na qualidade da matéria orgânica.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização das áreas experimentais

Os experimentos foram realizados nas safras de 2013 a 2015 em áreas manejadas sob sistema de semeadura direta (SSD) por no mínimo 10 anos, na Fazenda Experimental Lageado da FCA/Unesp, em Botucatu-SP. A localização geográfica das áreas está definida pelas seguintes coordenadas: latitude 22°49'S, longitude 48°25' W e altitude de 786 m. Os solos das áreas são de textura argilosa de relevo suave ondulado, classificados como Nitossolo Vermelho distroférico estruturado e Latossolo Vermelho-Amarelo estruturado (EMBRAPA, 2006), com a análise granulométrica apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica do solo das áreas experimentais (Botucatu, 2017)

Camada (cm)	-----g kg ⁻¹ -----					
	Areia	Argila	Silte (<0.053)	Areia	Argila	Silte (<0.053)
	Nitossolo			Latossolo		
0-10	107	655	238	500	405	95
10-20	100	655	245	475	455	70
20-40	84	705	211	413	505	82
40-60	66	730	204	375	505	120

Conforme classificação de Koppen, o clima abrangente é do tipo CWa, (mesotérmico com inverno seco). A estação seca é bem definida e ocorre entre os meses de maio a setembro. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.400 mm, distribuídos principalmente outubro a abril. As temperaturas mínimas e máximas e precipitações pluviométricas diárias referentes ao período de condução dos experimentos são apresentadas na figura 1, conforme estação agrometeorológica da UNESP-FCA, distante aproximadamente 2 e 3 Km das áreas experimentais.

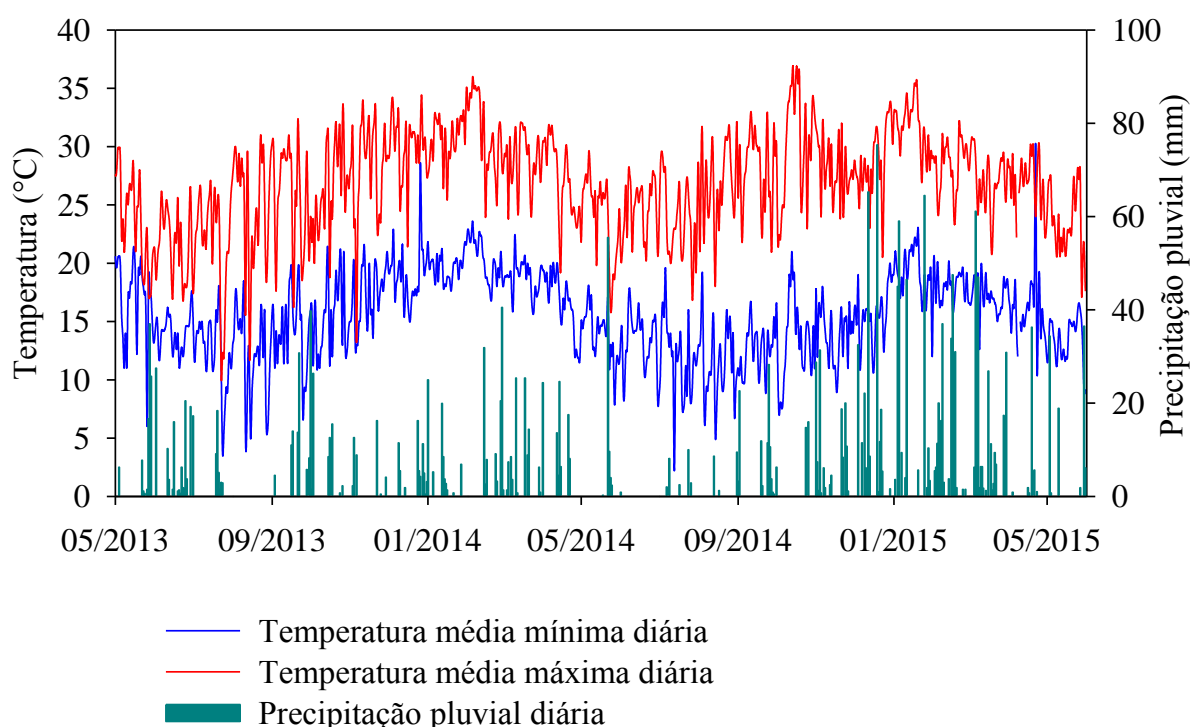


Figura 1. Dados climáticos durante a condução do experimento

1.2.2 Histórico e Delineamento experimental

A área do experimento em Nitossolo foi conduzida em SSD entre os anos de 1997 e 2002 com a rotação soja/aveia-preta/milho/triticale. A partir de 2003 iniciou-se um experimento com diferentes rotações de culturas envolvendo plantas de cobertura até então. O triticale (*X Triticosecale* Wittmack) e o girassol (*Helianthus annuus* L.) são cultivados no outono-inverno. Após a colheita da safra de outono-inverno e com início das primeiras chuvas de primavera, são cultivadas as espécies de cobertura milho (*Pennisetum glaucum* L.), sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.), para produção de palhada,

antecedendo a soja no verão (*Glycine max* L. (Merril)). Há também um tratamento que envolve o pousio na primavera, ou seja, com ausência do cultivo de plantas de cobertura, no qual foi procedida a escarificação em 2003, 2009, 2011 e em 25/10/2013 durante o experimento.

A área do experimento em Latossolo foi conduzida entre os anos de 2001 e 2005 em SSD, com a rotação soja/aveia-preta. A partir de 2006 iniciou-se um experimento com diferentes rotações culturas envolvendo plantas de cobertura e consórcio entre plantas em SSD. Deste então é cultivado o sorgo granífero (*Sorghum vulgare*), a braquiária (*Brachiaria rizuziensis*) e o consórcio entre ambos no outono. Na primavera são cultivadas as espécies de cobertura: milheto (*Pennisetum glaucum* L.) crotalária juncea (*Crotalaria juncea* L.) e sorgo forrageiro, antecedendo a soja como cultura de verão (*Glycine max* (L.) Merrill). O delineamento experimental é em esquema de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições.

O delineamento experimental estabelecido é em esquema de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram consideradas parcelas as plantas cultivadas durante o outono-inverno, enquanto que as subparcelas as plantas de primavera.

1.2.3 Condução das áreas experimentais

3.2.3.1 Semeadura e cultivo das plantas de primavera de 2013

Após a colheita das espécies de outono-inverno (2013), realizou-se a semeadura das plantas de primavera em 20/09/2013, em ambas as áreas experimentais por meio de semeadora-adubadora de fluxo contínuo desenvolvida para semeadura direta (Personale-Drill, Semeato[®]) sem adubação e no espaçamento de 0,17 m entre linhas. Foram utilizados 30 kg ha⁻¹ de sementes de milheto cultivar ADR-300; 30 kg ha⁻¹ de sementes de crotalária juncea cultivar IAC-KR1 e 20 kg ha⁻¹ de sementes de sorgo forrageiro cultivar Silotec-20.

Não foi necessário realizar qualquer tratamento fitossanitário nesta época. Em estágio de pré-florescimento das culturas, realizou-se o manejo químico por meio em 06/11/13 por meio da aplicação de Glyphosate (2,5 kg ha⁻¹; 720 g e.a.) em 200 L ha⁻¹ de volume de calda. Em 11/11/13 foram realizadas amostragens de palha sobre o solo com auxílio de dois gabaritos de 0,5 x 0,5 m sendo acondicionadas em sacos e

secas em estufa de aeração forçada a 60° C, mensurando em seguida a massas seca.

No Nitossolo foi procedida a escarificação no tratamento pousio/escarificação em 25/10/2013. Tal operação já havia sido realizada em outros anos como anteriormente mencionado. Também foi realizada a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário e de gesso por meio de espalhador de calcário em área total em 28/10/2013 em cada experimento conforme necessidade da análise de solo da soja na safra anterior (Rigon, 2013).

1.2.3.2 Semeadura e cultivo da soja safra 2013/2014

A cultivar de soja Potencia RR foi semeada no dia 13/11/13 em ambos experimentos por meio da semeadora já descrita, sob espaçamento entre linhas de 0,45 m e população de plantas de 445 mil sementes ha⁻¹. Previamente, as sementes foram tratadas com fungicida Carboxin + Thiran, inseticida Thiamethoxam e inoculante *Bradyrhizobium* sp. Utilizou-se a adubação de base na dose de 50 Kg ha⁻¹ de K₂O e P₂O₅, na forma de cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente.

Apesar de considerável teor de umidade no solo, o desenvolvimento inicial da cultura foi prejudicado em função da primeira precipitação pluviométrica teor ocorrido apenas após 20 dias da semeadura. Além disso, o déficit hídrico perdurou por todo o ciclo, o que acarretou em baixa produtividade da cultura na safra.

O controle de ervas daninhas foi realizado por meio da aplicação de herbicida Glyphosate (2,0 kg ha⁻¹; 720 g e.a.) em 200 L ha⁻¹ de volume de calda no dia 18/12/13. Enquanto que em aplicação subsequente este herbicida combinado com inseticida (Acefato na dose de 1,0 kg ha⁻¹ marca comercial Orthene[®] 750BR), sob o mesmo volume de calda foram aplicados no dia 16/01/14. A aplicação de fungicida preventiva (Pyraclostrobin+Epoxiconazol, na dose de 0,6 L ha⁻¹ nome comercial Opera[®]) foi realizada combinada com ao uso de inseticida em 22/01/14 (Metomil, na dose de 1,5 kg nome comercial Lanatte[®]). Esta combinação foi novamente utilizada em aplicação no dia 06/02/14 com adição de Azoxystrobin+Cyproconazole (na dose de 0,3 L ha⁻¹ Priori Xtra[®]). Aplicações posteriores também foram realizadas de forma combinadas de inseticidas principalmente para o controle da lagarta da soja e tripes em 19/02/14 e em 05/03/14 (Acefato na dose de 1,0 kg ha⁻¹ de Orthene[®] 750BR + Metomil na dose de 2,0 kg Lanatte[®]). Para controle do percevejo da soja e percevejo

marrom foi realizada aplicação de inseticida em 19/03/14 (Tiametoxam na dose de 1,5 kg ha⁻¹ Engeo®). Enquanto que em 01/04/2014 por meio de herbicida (Paraquat, comercial Gramoxone®) as áreas foram dessecadas para proceder a colheita.

Foram colhidas 3 linhas de 6 metros, por meio de colhedora de parcelas da área útil em 07/04/14. O teor de umidade dos grãos foi ajustado para 13% a base úmida e os valores convertidos em kg ha⁻¹. Em 09/04/14 foi colhida o restante da área por meio de colhedora automotriz. Em 10/04/14 procedeu-se a coleta dos resíduos superficiais da soja com auxílio de dois gabaritos de dimensões de 0,5 x 0,5 m.

1.2.3.3 Semeadura e cultivo das plantas de outono-inverno de 2014

A semeadura foi realizada em 25/04/2014, por meio da semeadora já descrita anteriormente. No Nitossolo, o girassol (Catissol) e o triticale (IPR 111) foram semeados com espaçamento de entrelinhas de 0,34 m e 0,17 m, respectivamente. É válido ressaltar que o espaçamento do girassol desde a implantação do experimento (2003) era de 0,54 m, porém principalmente pela deficiência hídrica, e a pouca cobertura do solo e produção de massa, optou-se por reduzir o espaçamento, assegurando uma melhor cobertura. Devido a esta escassez hídrica, também utilizaram-se taxas de semeadura pouco superiores ao normalmente recomendado a estas culturas, de 8 e 165 kg ha⁻¹ ao girassol e triticale, respectivamente.

No Latossolo utilizaram-se os espaçamentos de 0,17 m e 0,34 m para *Brachiaria ruziziensis* e ao sorgo granífero (AG 1080), respectivamente, assim como as taxas de semeadura de 22 e 11 Kg ha⁻¹ de sementes. Para o tratamento de consórcio, foram utilizados os mesmos espaçamentos e quantidades de sementes de ambos. Não foi necessária a realização de qualquer controle de plantas invasoras ou tratamento fitossanitário no Latossolo.

Já no Nitossolo, foi aplicado herbicida Paraquat (1,5 kg ha⁻¹ Gramoxone®) no dia 25/05/2014 em jato dirigido no girassol com auxílio de pulverizador costal, em função da inexistência de herbicidas de folha larga registrado para a cultura. Porém, para o controle eficiente das plantas daninhas realizou-se roquiung em 30/05/2014. Neste dia também foi aplicado formicida a base de Sulfluramida (Mirex®). Em

02/07/2014 foi aplicado inseticida (Lannate®) em área total mas principalmente para o controle principalmente de lagartas do girassol.

A colheita do triticale no Nitossolo e do sorgo granífero no Latossolo foram realizadas por meio de colhedora de parcelas no dia 24/09/2014 em 6,75 m². Em função da reduzida formação do capítulo do girassol, aliado a formação de grãos “chochos” devido à escassez hídrica no florescimento e enchimento de grãos, optou-se por não realizar a colheita. A colheita em área total ocorrera em 29/09/2014 em ambos os experimentos por meio de automotriz. Realizou-se a coleta de palha em seguida como anteriormente descrito, e no dia seguinte procederam-se as dessecações das áreas (Glyphosate, na dose de 3 kg ha⁻¹, Roundup® 720 g e.a.).

1.2.3.4 Semeadura e cultivo das plantas de primavera de 2014

A semeadura foi realizada em 02/10/2014 sob o espaçamento de 0,17 m utilizando a semeadora anteriormente descrita e sem utilizar qualquer adubação. Em ambas as áreas foram utilizadas densidade de semeadura maiores que os anos anteriores, cerca de 40 kg ha⁻¹ de sementes de milho (BRS-1501), 50 kg ha⁻¹ de crotalaria juncea (IAC-KR1) e 25 kg ha⁻¹ de sementes de sorgo forrageiro (BR 700). Mesmo assim, em função da baixa umidade do solo após a semeadura (intensificada pela movimentação da linha de semeadura pela semeadora) e a escassez de precipitação pluviométrica nos dias seguintes a germinação foi muito prejudicada e praticamente inexistente. Desta forma, procedeu-se a ressemeadura das espécies nas mesmas condições e taxas em 22/10/2014. Desta vez a umidade do solo era significativamente baixa. Entretanto, na semana seguinte ocorreram precipitações pluviais consideráveis o que possibilitou a germinação e estande de plantas ideal das culturas. Não foi realizado tratamento fitossanitário durante esta safra. Foi realizada coleta de palha como descrito anteriormente e a dessecação (Glyphosate, na dose de 4 kg ha⁻¹, Roundup® 720 g e.a.) em 30/11/2014.

1.2.3.5 Semeadura e cultivo da soja safra 2014/2015

A soja foi semeada em 02/12/2014 (BMX 1269® RSF PRO) por meio da semeadora já descrita anteriormente. As sementes foram tratadas com fungicida (Carboxin+Thiran, Cruiser® 350 FS, na dose de 200 mL 100 kg⁻¹ de sementes), inseticida (Thiamethoxam, Vitavax-Thiran 200 SC®, na dose de 300 mL 100 kg⁻¹ de

sementes) e inoculante *Bradyrhizobium japonicum* (dose 100 mL 50 kg⁻¹ de sementes). Foram utilizadas as mesmas quantidades de adubações da safra anterior, ou seja, 350 kg ha⁻¹ do formulado 0-20-20 e a mesma densidade de semeadura. O controle de plantas daninhas foi realizado em 10/01/2015 (Glyphosate, Roundup WG®, na dose de 2 kg ha⁻¹). Foram realizadas aplicações de defensivos em 30/01/2016 por meio de inseticida (Lambda-cialotrina+Thiamethoxam, produto comercial Platinum Neo®, na dose de 200 mL ha⁻¹) e fungicida (Pyraclostrobin+Epoxiconazol, produto comercial Opera®, na dose de 0,8 L ha⁻¹). Em 05/02/2016 foram aplicados em combinação de inseticida (Metomil, nome comercial Lanatte®, dose 1,5 kg ha⁻¹) e fungicida (Azoxystrobin+Cyproconazole, na dose de 0,3 L ha⁻¹ Priori Xtra®). Em 20/02/2016 foi aplicado unicamente fungicida (Trifloxistrobina +Protioconazole, nome comercial Fox® na dose de 0,4 L ha⁻¹). Em seguida, foram utilizadas as combinações de fungicida (Azoxystrobin+Cyproconazole (na dose de 0,3 L ha⁻¹ Priori Xtra®) com inseticida (Metomil, nome comercial Lanatte®, dose 1,5 kg ha⁻¹+ Clorantraniliprole, produto comercial Premio, na dose de 50 mL ha⁻¹). Em 15/03/2015 foi realizada a aplicação de inseticida (Tiametoxam na dose de 1,5 kg ha⁻¹ Engeo®). Não foi necessário realizar a dessecação das áreas para colheita.

1.2.4 Avaliações

1.2.4.1 Resíduos culturais

Foram amostrados os resíduos culturais das plantas de primavera de 2013 (11/11/2013), da soja safra 2013/2014 (10/04/14), de outono-inverno 2014 (30/09/2014), de primavera 2014 (31/11/14) e da soja safra 2014/2015 (10/04/15). As coletas foram procedidas por meio um quadro de amostragem com dimensões de 0,5 m x 0,5 m (0,25 m²), sendo acondicionadas em sacos de papel, e secos em estufa de aeração forçada a 55° C até massa constante. Neste momento, procedeu-se a mensuração da massa de matéria seca dos resíduos. Posteriormente, as amostras foram moídas em moinhos elétricos tipo “Willey”, e peneiradas (malha de 1 mm), e acondicionadas em sacos de papel e armazenadas. Teve-se o cuidado de evitar a sub-amostragem no processo de moagem da palha, pois estas consistem de resíduos de vários cultivos em sucessão, o que poderia selecionar diferentes tamanhos ou massa e conseqüentemente as espécies dos resíduos de plantas,

alterando assim as conseqüentes análises de qualidade dos resíduos. Após o peneiramento as amostras foram homogeneizadas e neste momento sim retirou-se sub-amostras, pois parte foram utilizadas para a análise bromatológica (hemicelulose, celulose e lignina) e outra fração para a análise dos teores de C e N.

1.2.4.1.1. Teores de Hemicelulose, Celulose e Lignina dos resíduos culturais

Foi utilizado o método proposto por Van Soest (1963) e adaptado (Silva and Queiroz, 2002) ao método *Filter Bag* (Fiber Analyzer-Ankom220, Ankom, 2000). Conforme autores, tal método reduz significativamente a quantidade e custos de reagentes utilizados, além dos resultados serem semelhantes ao método tradicional.

O processo está baseado na obtenção dos componentes solúveis em reagentes específicos, conhecidos como detergente neutro e detergente ácido dependendo da diferença da solubilidade dos componentes da célula vegetal em determinado pH. Denomina-se fibra em detergente neutro (FDN) ou parede celular, os resíduos obtidos após a extração do conteúdo celular com solução de sulfito láurico de sódio e EDTA em pH 7,0, em ebulição, recuperando celulose, hemicelulose e lignina (Lana, 2005, Silva e Queiroz, 2002, Souza et al., 1999). Enquanto que a fibra em detergente ácido (FDA) é o resíduo obtido após a extração sob ebulição, dos compostos solúveis, com solução de ácido sulfúrico (1 N) e brometo cetiltrimetil amônia, recuperando celulose e lignina. O fracionamento dos constituintes da parede celular é finalizado a partir da solubilização da lignina, com H₂SO₄ a 72%.

Precedendo as análises, por meio de máquina seladora, foram confeccionados pequenos sacos (5 x 7 cm) utilizando tecido-não-tecido (TNT) gramatura de 100 g m⁻². Em seguida foram secos em estufa, bem como as amostras dos resíduos para verificar a umidade correspondente. Após mensurada a massa dos sacos, adicionou-se entre 0,35 à 0,5 g de amostra dos resíduos. As amostras foram realizadas em duplicata para melhor acurácia dos resultados.

A manipulação do determinador de fibra foi feita conforme recomendação do fabricante, que basicamente baseia-se na digestão dos materiais contidos nos sacos, em solução de FDN ou FDA, em meio fechado sob aquecimento (100°C) e agitação, por aproximadamente 60 minutos. Desta forma, a cada adição de reagentes (FDN e FDA), os sacos foram retirados e procedidos 3 enxagues com água fervente durante cerca de 5 minutos cada e após imersos em Cetona

concentrada pelo mesmo período. Desta forma foram retiradas quaisquer concentrações de ceras e detergente que poderia influenciar na massa das amostras. Em seguida os sacos foram acondicionados em estufa de ar forçado a 65°C por 24 horas. Posteriormente foram mensuradas a massa. Desta forma obteve-se os valores da amostra + saco e foi possível calcular o FDN por meio da equação 1:

$$\%FDN = \frac{(m3 - (m1 \times B)) \times 100}{m2} \quad (1)$$

onde: m3 = massa após o processo de extração; m2= massa da amostra; m1 = tara do saco; B = massa do saco sem amostra para correção.

Como mencionado, de forma sequencial foi realizada a digestão em solução de FDA por meio da equação 2:

$$\%FDA = \frac{(m3 - (m1 \times B)) \times 100}{m2} \quad (2)$$

onde: m3 = massa após o processo de extração; m2= massa da amostra; m1 = tara do saco; B = massa do saco sem amostra para correção.

Basicamente, o FDN foi usado para o extravasamento de eletrólitos e pectinas que podem alterar a massa das amostras. A partir da diferença entre FDN e FDA obteve-se o conteúdo de Hemicelulose. O processo seguinte foi a adição de H₂SO₄ a 72% seguido dos enxagues com água e cetona descritos. Por meio da diferença, obteve-se-se os teores de lignina. Posteriormente, as amostras foram submetidas à mufla a 550°C por período de 3 horas. Sendo o teor de celulose correspondente à parte do resíduo que se perde com a incineração, obtido por diferença de massa. O resíduo resultante da incineração que permanece corresponde à cinza residual, que contém sílica.

1.2.4.1.2 Massa de matéria seca, relações C N, teores e acúmulo de C e N dos resíduos culturais

Na outra fração das amostras foram determinados os teores de C e N-total por meio de analisador elementar automático (Modelo TruSpec™ CHNS, da LECO®) (SWIFT, 1996). A partir destes teores e da massa de matéria seca, obteve-se a relação C/N e o acúmulo de C e N dos resíduos culturais na superfície do solo após o seu manejo.

1.2.5 Produtividade de grãos da Soja

Ambas as safras da cultura da soja foram colhidas no dia 07/04 de 2014 e 2015, por meio de colhedora de parcelas em área de 15 m², sendo extrapolado o rendimento em kg ha⁻¹ (após correção da umidade para 13% à base úmida). Nos dias subsequentes, foram procedidas as colheitas das áreas totais dos experimentos por meio de colhedora convencional.

1.2.6 Coleta e análise de Solo

Foram realizadas 4 amostragens de solo durante o experimento, sendo realizadas no cultivo i) das plantas de primavera de 2013 (21 à 25/10/2013); ii) após a colheita da soja 2013/2014 (08/05/2014); iii) das plantas de primavera de 2014 (17/11/2014), iv) após a colheita da soja 2014/2015 (28 à 30/04/2015), estabelecendo o final do experimento.

As amostragens iniciais e finais foram coletadas nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, para a determinação dos teores de C e N do solo. Enquanto que na camada superficial uma sub-amostra foi retirada para determinar os teores de C e N da biomassa microbiana. Esta análise, a propósito, foi o único intuito de se ter procedido as amostragens nas camadas superficiais do solo (0-10 cm) de outono-inverno de 2014 (ii) e de primavera de 2014 (iii). Durante as coletas de solo, estas amostras (sub-amostras no caso das coletas principais) foram acondicionadas em caixas de poliestireno com gelo contidas e acondicionadas sob refrigeração por no máximo 2 meses antes da análise laboratorial. Antes das sub-amostragens efetuou-se a homogeneização, e o restante acondicionadas em sacos plásticos e posteriormente secas ao ar, destorroadas e peneiradas sob malha de 2 mm. Posteriormente, as amostras foram novamente divididas sendo parte moídas em moinho de bolas, as quais foram submetidos a análise dos teores de C e N, enquanto que a outra parte foi utilizada para o fracionamento físico e químico, assim como a análise química do solo

1.2.6.1 Teores de C N da Biomassa microbiana

As análises foram conduzidas seguindo-se o método de irradiação-extração (Islam; Weil, 1998; Medonça; Matos, 2005), no Laboratório de Relações Solo-Planta da FCA/UNESP, Botucatu, SP.

Foram utilizadas as 4 amostragens de solo das camadas superficiais para determinar os teores de C e N da biomassa microbiana. Foi dada prioridade para as análises laboratorial destas. Com exceção do tempo de exposição à irradiação das amostras de Latossolo, em que foi adotado o método de Ferreira et al. (1999), todos os procedimentos de análise seguiram o método de Islam e Weil (1998) adaptado por Mendonça e Matos (2005). As análises foram conduzidas em duplicatas.

Foi determinada a umidade do solo em dias antecedendo a análise. Atingiu-se a capacidade de campo de 80 e 75% ao Nitossolo e Latossolo, respectivamente, em 20 g de solo equivalente a solo seco, procedendo então a adição de água e consequente homogeneização das amostras e mantidas em repouso (Silva et al. 2007). No dia seguinte foram mensuradas quatro sub-amostras de 23,96 e 22,4 gramas para o solo Nitossolo e Latossolo, respectivamente em potes herméticos (150 ml) com tampa. Parte das amostras foram submetidas a irradiação por meio da exposição ao micro-ondas, previamente calibrado. Os períodos de exposição à radiação foram de 32 s e 130 segundos ao Nitossolo e Latossolo, respectivamente, atingindo-se a faixa entre 80 a 88°C, sendo a faixa em que ocorre o extravasamento de eletrólitos celular da biomassa microbiana sem a degradação do C do solo (Islam e Weil, 1998).

Posteriormente, adicionou-se 80 ml da solução de K_2SO_4 (0,5 M) enquanto que as não irradiadas foram mantidas em repouso (Gonçalves et al., 2002). Em seguida, todas as amostras (irradiadas e não-irradiadas) foram submetidas à agitação horizontal a 220 rpm por 30 minutos, seguidas de repouso por 30 minutos para a sedimentação do solo e facilitar a filtragem dos extratos. Para tanto, utilizou-se papel filtro quantitativo. Após a filtragem, foram utilizados 10 mL de alíquota para a determinação do C da biomassa microbiana (C_{BMS}) por meio da oxidação de dicromato (Mendonça e Matos, 2005). Adicionou-se 10 ml de H_2SO_4 e 50 ml de H_2O deionizada e indicador ferroína, sendo titulada com $(NH_4)_2(SO_4)_2$ (0,066 M). No dia seguinte, uma alíquota de 10 mL do extrato foi utilizada para a determinação do N da biomassa microbiana (N_{BMS}) pelo método de Kjeldahl (Mendonça e Matos, 2005).

Os teores de C_{BMS} e N_{BMS} foram calculados a partir das equações 3 e 4:

$$C_{BMS} = \frac{C_I - C_{NI}}{K_C} \quad (3)$$

Onde: C_{BMS} = Carbono da biomassa microbiana (mg kg^{-1}) de solo; C_I = C recuperado na amostra irradiada; C_{NI} = C recuperado na amostra não irradiada; K_C = fator de correção correspondendo a eficiência do extrator.

No Nitossolo utilizou-se o fator de correção de 0,213 recomendado por Islam e Weil (1999), enquanto que para o Latossolo o coeficiente foi de 0,33 recomendado por Sparling e West (1988) e adotado por Ferreira et al. (1999).

$$N_{BMS} = \frac{N_I - N_{NI}}{K_n} \quad (4)$$

Onde: N_{BMS} = Nitrogênio da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1}); N_I = N recuperada da amostra irradiada; N_{NI} = N recuperado da amostra não irradiada; K_n = fator de correção que representa a eficiência do extrator em extrair o N da biomassa microbiana do solo. Em função de não haver um valor estabelecido para o método de irradiação-extração, utilizou-se o valor proposto por Brookes et al. (1985) para o método de fumigação-extração de 0,54.

1.2.6.2 Coleta e análise das amostras indeformadas de solo

Amostras indeformadas de solo foram coletadas após a colheita da soja safra 2014/2015 entre 10 e 14/04/2015 por meio do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 40 cm de largura, 50 cm de comprimento e 80 cm de profundidade com auxílio de escavadeira compacta (Bobcat®). No centro das camadas de 0-10, 10-20, 30-40, 40-60, 60-80 cm, foram retirados os anéis volumétricos (5 cm de altura por 4,8 cm de diâmetro). As amostras foram secas em estufa de circulação forçada a 105°C por 48 horas obtendo-se a massa de solo seco. Obteve-se a densidade do solo (D_s) por meio do quociente entre a massa das amostras secas a 105°C e o volume do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986).

1.2.6.2.1 Estoques de C e N do Solo

Por meio do analisador elementar CHNS (TruSpec™, LECO®), locado no Laboratório de Relações Solo-Planta da FCA/UNESP, Botucatu, SP, as amostras de solo (i e iv) das profundidades de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm foram analisadas quanto aos teores de C e N totais. Utilizou-se os valores de densidades obtidos pela

amostragem indeformada para calcular os os estoques de C e N do solo em cada camada e no perfil amostrado.

1.2.6.2.2 Fracionamento Físico da MOS do Solo

Nas amostras de solo (i e iv) das profundidades de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm realizou-se, no Laboratório de Relações Solo-Planta da FCA/UNESP, Botucatu, SP, o fracionamento físico da MOS conforme método granulométrico adaptado de Cambardella e Elliott (1992). O princípio do método consiste em separar o carbono orgânico do solo em duas frações: carbono orgânico particulado (COP), menos decomposto e mais recentemente depositado no solo, e carbono associado a minerais (COM), mais recalcitrante e humificado. Pesou-se 20 g de solo e adicionou-se 80 mL de $(\text{NaPO}_3)_6$ (5 g L^{-1}). As amostras foram agitadas por cerca de 15 horas e passadas em peneira de malha com abertura de 0,053 mm (270 Mesh) com o auxílio de jato de água. O material particulado retido na peneira, ou fração particulada (FP), foi transferido para potes de alumínio, com auxílio de jatos de água, e seco em estufa de circulação de ar forçada a 50°C até atingir massa constante.

Após a secagem, o material foi pesado, determinando-se assim a massa da fração particulada (MFP), moído e homogeneizado com auxílio de um bastão de vidro, e submetido à determinação de C em analisador elementar, obtendo-se o teor de carbono da fração particulada do solo (CFP), sendo possível calcular o teor de carbono orgânico particulado (COP) do solo, de acordo com a equação 5:

$$COP = \frac{CFP \cdot MFP}{P_s} \quad (5)$$

Onde: COP = Carbono orgânico particulado do solo (g kg^{-1}); CFP = Carbono da fração particulada (g kg^{-1}); MFP = massa da fração particulada (g); P_s = massa da amostra inicial do solo (g).

Enquanto que o teor de Carbono associado a minerais (COM) foi calculado pela diferença entre o carbono orgânico total e o carbono orgânico particulado (equação 6):

$$COM = COT - COP \quad (6)$$

Onde: COM = Carbono orgânico associado a minerais no solo (g kg^{-1}); COT = Carbono orgânico total do solo, (g kg^{-1}); COP = Carbono orgânico particulado do solo (g kg^{-1}).

1.2.6.2.3 Fracionamento Químico da MOS

Nas amostras da superfície do solo (i e iv) foram determinados os teores de C das frações ácido fúlvico, húmico e humina. A metodologia utilizada foi proposta por Benites et al. (2003) como um método que reduz a utilização de reagentes e custos.

Utilizou-se 2 gramas de solo passados em peneira de grade de 2 mm, que foram transferidas para tubo centrífuga de 50 mL com tampa e adicionados 20 ml de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$). Procedeu-se a agitação manual e repouso por 24 horas. No dia seguinte, centrifugou-se a 5000 rpm por 30 minutos e reservou-se cuidadosamente o sobrenadante em copo plástico descartável. Em seguida, adicionou-se novamente 20 mL da solução de NaOH agitando manualmente até o desprendimento total do precipitado, deixando em repouso por 1 hora. Em seguida, foram centrifugados novamente (5000 rpm à 30 min) e o sobrenadante foi recolhido juntamente com o previamente reservado. Estas amostras continham pH alcalino em torno de 13. Em seguida, cada amostra foi ajustada a pH 1,0 (+ 0,5%) com auxílio de pHmetro por meio de H_2SO_4 concentrado. As amostras foram deixadas em repouso por 18 horas e procedeu-se a filtragem do precipitado em filtro de membrana de éster $0,45 \mu\text{m}$ (HAWP04700, Millipore®) acoplado ao porta filtro tipo sterifil em polisulfona de 250 ml (XX1104700, Millipore®) e bomba a vácuo.

O filtrado recolhido foi aferido ao volume de 50 mL em balão volumétrico com adição de água destilada, correspondendo assim à fração ácidos fúlvicos (Figura 2). Enquanto que a porção sólida retida no filtro foi adicionado NaOH até a dissolução completa e filtrado, aferindo-se o balão volumétrico de 50 mL, compreendendo a fração de ácidos húmicos.



Figura 2. Detalhe dos extratos ácidos fúlvicos (esquerda) e ácidos húmicos (direita) após o processo de filtragem.

Para análise, alíquota de 5 mL da solução de ácido fúlvico, assim como se procede para a acido húmico, adicionou-se 1 mL de $K_2Cr_2O_7$ ($0,042 \text{ mol L}^{-1}$) e 5mL de H_2SO_4 concentrado a cada amostra e em quatro tubos contendo 5mL de H_2O destilada (brancos). Os tubos foram acondicionados ao bloco digestor preaquecido à 150°C por 30 minutos, transferindo-os para frascos Ernlennmeyer de 125 mL. Para correção da normalidade do sulfato ferroso amoniacal foram utilizadas provas em branco sem o processo de aquecimento. Adicionou-se 3 gotas de indicador ferroin e as amostras foram tituladas com sulfato ferroso amoniacal ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), obtidos por meio da equação 7:

$$C_{ac.fulvico \text{ ou } húmico} = \frac{(V_{baq} - V_{am}) * NSFACorr \cdot \frac{12}{4} \cdot \frac{50}{aliquota(ml)} \cdot 1}{massa \text{ da amostra (g)}} \quad (7)$$

Onde: C da fração ácido fúlvico ou húmico = mg C na forma de ácido húmico (ou fúlvico) por grama de solo; V_{baq} = volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido; V_{am} == volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra; NSFACorr - Normalidade do SFA.

A fração humina foi obtida pela digestão das amostras precipitadas. Adicionou-se 5 mL de adicionando $K_2Cr_2O_7$ ($0,1667 \text{ mol L}^{-1}$) e 10 mL de H_2SO_4 concentrado e foram acondicionados em bloco digestor pré aquecidos a 150°C por 30 minutos. Após as amostras foram transferidas para frascos Erlemeyer de 125 mL e adicionados a ferroin como indicador. Titulou-se com sulfato ferroso amoniacal ($0,25 \text{ mol L}^{-1}$), obtendo-se o teor de C da fração por meio da equação:

$$C_{humina} = \frac{(V_{baq} - V_{am}) NSFACorr x \frac{12}{4}}{massa \text{ da amostra (g)}} \quad (8)$$

Onde: C humina= mg C na forma de Humina; V_{baq} - Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido; V_{am} - Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra; NSFACorr - Normalidade do SFA corrigida

1.2.7 Fluxo de CO_2

Foram instalados colares de PVC com 12 cm de altura e 20 cm de diâmetro, com bordo inferior aprofundados a 3 cm no solo. Estas bases foram instaladas nas linhas de semeadura e permaneceram desde então até o momento da colheita ou manejo das culturas conforme a estação de cultivo. É válido enfatizar que as plantas emergidas foram retiradas do interior das bases para evitar diferenças no fluxo de

CO₂, uma vez que o volume da câmara de medição é fixo diferente de cada espécie cultivada. Medidas com ausência da palha não foram realizadas.

As determinações do fluxo de CO₂ foram realizadas por meio do analisador portátil LI-8100A (Instruction Manual–LICOR, 2007). O aparelho monitora a cada segundo as variações da concentração de CO₂ no interior da câmara por espectroscopia de absorção óptica no infravermelho. Desta forma, foi configurado como leitura de 120 s, sendo 15 s para “limpeza” ou pré-purga e 15 s para pós-purga, resultando pela automática regressão o fluxo de CO₂ em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, transformados posteriormente em $\text{g m}^2 \text{h}^{-1}$. Durante a leitura era determinado a temperatura e umidade volumétrica do solo a 5 cm de profundidade por meio de TDR (Time Domain Reflectometry) 5TM[®] (Decagon Devices).

As determinações foram realizadas aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja de 2013/2014; das culturas de outono-inverno de 2014; das culturas de primavera de 2014; e da semeadura da soja de 2014/2015. As leituras foram realizadas no período da manhã procedidas primeiramente no Nitossolo e após então no Latossolo.

Por meio da integração da área sob a curva dos picos de emissão de cada dia foram obtidas as emissões acumuladas em cada safra com auxílio do software Origin 8.6[®] (Originlab, 2011). Os dados foram convertidos em kg ha^{-1} de equivalente carbono (C-CO₂). Também foram calculados a emissão relativa de C-CO₂ para cada kg de soja produzidos, expressos em $\text{g C-CO}_2 \text{kg}^{-1}$ de soja.

1.2.8 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste t, no nível de 5 % de probabilidade de erro.

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Resíduos culturais

1.3.1.1 Culturas de Primavera de 2013

Dentre as variáveis, com exceção aos teores de C, observou-se efeito das culturas de primavera na quantidade e na qualidade da palha na superfície do solo após o seu manejo químico e estes resultados ocorreram em ambos os

experimentos. No caso do Nitossolo, apesar da ausência de cultivo na primavera, o tratamento pousio compreendeu de no mínimo 50% da quantidade dos resíduos culturais em relação às demais culturas (Tabela 2). Enquanto que a diferença entre ao acúmulo de N representou no mínimo 33% da quantidade acumulada de N por meio do pousio em relação às demais culturas de primavera. O destaque entre as culturas de primavera foi a crotalária, onde o teor e o acúmulo de N foram de 15 g kg⁻¹ e 59 kg ha⁻¹ sendo 30 e 20% superiores respectivamente às demais culturas (não considerando a escarificação).

Tabela 2. Características dos resíduos culturais das plantas de primavera 2013 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo ⁽¹⁾	Palha Mg ha ⁻¹	teor N ----g kg ⁻¹ ----	teor C	†ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	C/N	Hemi	Cel	Lig
-----%-----									
Outono-inverno									
Girassol	3,64	12,6 ^{*b}	429	48,1 ^b	1,56	38 ^a	17	30	8
Triticale	3,81	9,95 ^a	431	38,5 ^a	1,63	51 ^b	22	36	10
DMS	0,5	1,32	24	6,9	0,15	10	6,6	9,2	5,5
Primavera									
Milheto	4,22 ^b	11,78 ^b	434	49,7 ^{bc}	1,83 ^b	39 ^a	23 ^b	39 ^b	10 ^{ab}
Sorgo	3,93 ^b	11,89 ^b	427	47,6 ^b	1,68 ^b	38 ^a	23 ^b	38 ^b	11 ^b
Crotalária	3,93 ^b	15,14 ^c	430	58,9 ^c	1,68 ^b	29 ^a	20 ^a	33 ^a	9 ^{ab}
Escar	2,79 ^a	6,38 ^a	430	17,1 ^a	1,20 ^a	72 ^b	20 ^a	32 ^a	8 ^a
DMS	0,60	1,87	40,00	10,6	0,31	11	1,4	3,7	2,7
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,36	<0,01	0,77	0,02	0,27	0,02	0,57	0,61	0,37
Primavera	<0,01	<0,01	0,98	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,05
Out/Inv x Prim	0,06	0,04	0,89	0,01	0,24	0,15	0,10	0,49	0,71
CV Out/Inv	12,00	10,40	5,04	14,34	8,48	20,11	27,38	23,01	28,92
CV Prim	15,4	15,80	8,94	23,32	18,74	23,47	6,54	10,65	17,21
Média geral	3,72	11,30	430	43,39	1,61	44,65	22,14	36,74	9,70

*Médias seguidas por letras distintas na coluna diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac.N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

As diferenças não foram restritas às plantas de primavera, pois as rotações que precederam tal cultivo (outono-inverno) distinguiram entre si quanto aos teores e

acúmulo de N na palha, compreendendo valores 21% superiores no girassol em relação ao triticale, ocorrendo interação significativa entre as combinações de cultivos de outono-inverno e primavera (Tabela 3). A relação C N dos resíduos do girassol foram 25% menores em relação aos resíduos de triticale. Além das diferenças já descritas, com milho e sorgo cultivados após o girassol, os valores foram maiores que em cultivos precedidos pelo triticale.

Tabela 3. Interações entre plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera 2013 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Outono/Inverno		teor de N (g kg ⁻¹)			
	Crotalária	Escarificação	Milheto	Sorgo	
Girassol	7,44 *A	14,97 B	13,99 bB	14,20 bB	
Triticale	5,33 A	15,31 C	9,57 aB	9,58 aB	
DMS			2,25		
Outono/Inverno		acúmulo de N (kg ha ⁻¹)			
	Crotalária	Escarificação	Milheto	Sorgo	
Girassol	55,7 B	17,2 A	59,4 bB	60,2 bB	
Triticale	62,1 C	16,9 A	39,9 aB	35,0 aB	
DMS			12,4		

*Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No Latossolo, as diferenças entre a crotalária e as culturas do sorgo forrageiro e do milho, no que diz respeito ao teor e acúmulo de N, foram ainda maiores do que as obtidas Nitossolo (Tabela 4). O teor e acúmulo de N pela crotalária foram respectivamente de 26 g kg⁻¹ e 110 kg ha⁻¹, que correspondem à, aproximadamente, 50% do observado no experimento em Nitossolo por esta cultura, assim como a diferença entre os cultivos do sorgo forrageiro e milho do Latossolo (52,8 e 52,1 kg N ha⁻¹, respectivamente).

Tabela 4. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de Primavera de 2013 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Cultivos	Palha Mg ha ⁻¹	teor N ---g kg ⁻¹ ---	teor C kg ha ⁻¹	†ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	C/N	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono-Inverno									
Brach	3,92	17,1	408	67	1,59	24,0	24	31	9,1
Sorgo G,	3,65	20,5	454	78	1,66	27	20	32	9,7
Brach+Sorgo G,	3,85	17,6	440	69	1,69	27	22	30	9,6
DMS	1,12	9,4	60	42	0,39	5	4,6	2,7	2,8
Primavera									
Milheto	3,65 ^{*a}	14,2 ^a	443	52,1 ^a	1,61 ^{ab}	31 ^b	24 ^b	33 ^b	9,0
Sorgo F,	3,57 ^a	14,8 ^a	423	52,8 ^a	1,50 ^a	29 ^b	22 ^{ab}	29 ^a	9,0
Crotalária	4,19 ^b	26,1 ^b	436	110,0 ^b	1,82 ^b	18 ^a	20 ^a	31 ^{ab}	10,4
DMS	0,46	6,1	33	29	0,22	4	3,4	2,8	1,8
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,8	0,59	0,2	0,77	0,78	0,41	0,19	0,26	0,9
Prim	0,02	<0,01	0,45	<0,01	0,02	<0,01	0,04	0,03	0,18
Out/Inv x Prim	0,14	0,38	0,99	0,52	0,23	0,42	0,07	0,22	0,35
CV Out/Inv	22,5	29,1	10,6	24,7	18,4	14,4	21,1	8,8	19,8
CV Prim	11,8	22,4	7,5	19,5	13,2	14,1	18,1	10,6	22,2
Média geral	3,8	18,4	434	71,5	1,64	26	22	31	9,5

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac.N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

Em ambos os experimentos houve diferença na composição bioquímica dos resíduos, nos quais os teores de hemicelulose e celulose foram menores na crotalária, não havendo similaridade entre os resultados de lignina. Para esse componente avaliado, apenas no Nitossolo a leguminosa apresentou menor teor.

1.3.1.2 Cultura da soja safra 2013/2014

No Nitossolo apenas a composição bioquímica das plantas foram distintas, onde o girassol resultou nos menores teores de hemicelulose e celulose, porém, com teor 20% maior de lignina em relação ao triticale. Entre as plantas de primavera, somente sob a escarificação/pousio foi observado menores teores de lignina

comparado aos demais resíduos (Tabela 5). Outro efeito observado foi decorrente do cultivo do sorgo, no qual observou-se um acúmulo de no mínimo 13% superior de C adicionado ao solo em relação aos demais cultivos de primavera.

Tabela 5. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra 2013/2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo ⁽¹⁾	Palha Mg ha ⁻¹	teor N --g kg ⁻¹ --	teor C kg ha ⁻¹	†ac.N kg ha ⁻¹	ac.C ---Mg ha ⁻¹ --	Prod	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono – inverno									
Girassol	3,71	14,4	396	53,3	1,47	1,58	17 ^{*a}	26 ^a	11 ^b
Triticale	4,1	12,1	408	49,4	1,67	1,82	19 ^b	28 ^b	9 ^a
DMS	0,43	3,8	19,5	12,8	0,26	0,31	1	2	2
Primavera									
Milheto	3,91	12,7	400	48,9	1,56 ^{ab}	1,49 ^a	19	27	10 ^b
Sorgo	4,28	12,4	413	53,1	1,77 ^b	1,70 ^{ab}	19	28	11 ^b
Crotalária	3,83	13,4	393	51,0	1,50 ^a	1,87 ^b	18	26	9 ^{ab}
Escarif	3,61	14,2	401	52,3	1,46 ^a	1,75 ^b	17	26	8 ^a
DMS	0,52	2,6	26	12,4	0,21	0,22	1	3	2
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,06	0,14	0,13	0,4	0,08	0,09	0,01	0,04	0,04
Prim	0,09	0,49	0,47	0,9	0,03	0,01	0,09	0,19	0,03
Out/Inv x Prim	0,89	0,66	0,75	0,62	0,97	0,81	0,92	0,48	0,34
CV Out/Inv	9,81	21,5	4,3	22,1	14,7	16,4	5,28	7,5	19,1
CV Prim	12,8	19,2	6,2	22,9	13,3	12,2	7,9	10,2	16,5
Média geral	3,91	13,2	402	51,3	1,57	1,7	18,3	27	9,9

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac.N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

No Latossolo, apenas o teor de N dos tecidos das plantas de outono-inverno foram diferenciados (Tabela 6), tendo os cultivos solteiros os maiores teores em relação ao consorciado entre brachiaria e sorgo granífero.

Tabela 6. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra 2013/2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Culturas	Palha Mg ha ⁻¹	teor N --g kg ⁻¹ --	teor C kg ha ⁻¹	†ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	Prod	Hemi	Cel	Lig
							-----%-----		
Outono-Inverno									
Brachi	4,4	18,5 ^{*b}	439	83,5	1,94	2,04	18	27	11
Sorgo G.	4,5	17,8 ^b	431	80,7	1,95	1,98	19	27	10
Brach+Sorgo G.	4,4	15,8 ^a	425	68,9	1,87	2,09	20	29	9,5
DMS	0,72	1,9	27	20,1	0,36	0,26	2,1	6,2	2,1
Primavera									
Milheto	4,76	16,9	435	80,9	2,08	1,97	19	26	10,3
Sorgo F,	4,29	16,5	422	71,5	1,78	2,03	19	30	10,9
Crotalária	4,3	18,7	438	80,7	1,89	2,11	19	27	9,5
DMS	0,52	2,2	25	15,9	0,24	0,27	1,6	3,7	1,3
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,94	0,03	0,51	0,24	0,83	0,11	0,29	0,61	0,29
Prim	0,12	0,11	0,4	0,38	0,06	0,54	0,65	0,18	0,12
Out/In xPrim	0,06	0,78	0,15	0,31	0,08	0,25	0,04	0,42	0,69
CV Out/Inv	16,2	10,9	6,3	25,9	18,8	13,1	11,2	22	20,7
CV Prim	13,7	14,5	6,9	23,9	14,8	15,3	10,2	15,8	15,3
Média geral	4,45	17,4	431	77,7	1,92	2,04	19,1	28	10

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac.N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

1.3.1.3 Culturas de outono-inverno de 2014

As próprias culturas de outono-inverno diferenciaram-se entre si quanto às características químicas dos resíduos das plantas, o que era esperado. Embora o triticale tenha produzido quantidade de palha cerca de 1 Mg superior ao girassol, os efeitos foram observados principalmente pela diferença entre a composição bioquímica e teores de N dos resíduos (Tabela 7). O cultivo do girassol resultou em teor de N 43% superior em relação ao triticale (13,3 e 7,6 g kg⁻¹, para girassol e triticale, respectivamente). A partir disto, a relação C N observada nos resíduos do girassol foi praticamente a metade do obtido no triticale (34 e 67, respectivamente). Além disso, como ocorreu nos resíduos após a colheita da soja, os teores de hemicelulose e celulose do girassol foram menores em relação ao triticale, enquanto que teores de lignina foram maiores.

Tabela 7. Características químicas dos resíduos culturais das culturas de outono-inverno de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo	Palha Mg ha ⁻¹	teor N g kg ⁻¹	teor C g kg ⁻¹	†ac. N kg ha ⁻¹	ac. C Mg ha ⁻¹	C/N	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono-Inverno									
Girassol	3,41	13,3 ^{*b}	443 ^a	45	1,52	34 ^a	15 ^a	31 ^a	8 ^b
Triticale	4,36	7,6 ^a	476 ^b	34	2,08	67 ^b	28 ^b	38 ^b	5 ^a
DMS	1,53	1,8	26	22	0,80	21	3	4	1,5
Primavera									
Milheto	3,60	11,0	454	39	1,65	47 ^{ab}	20	33	7
Sorgo	3,70	11,6	464	41	1,74	44 ^a	21	33	7
Crotalária	4,70	9,7	461	45	2,17	53 ^b	21	35	7
Escarif	3,56	9,4	459	34	1,65	56 ^b	23	37	6
DMS	1,22	1,9	29	15	0,90	9,1	2,4	5,4	2
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,14	<0,01	0,02	0,22	0,11	0,01	<0,01	0,01	0,01
Prim	0,21	0,06	0,9	0,54	0,22	0,04	0,11	0,36	0,99
Out/Inv x Prim	0,89	0,81	0,15	0,85	0,98	0,32	0,28	0,98	0,72
CV Out/Inv	25,1	15,3	5	28,9	19,4	26,51	12,4	10	21
CV Prim	19,9	16,1	6,1	25,7	21,3	17,13	10,6	15	29
Média geral	3,89	10,4	459	40,1	1,81	50,4	21,3	35	6,6

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac. N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

Também foram observados efeitos na relação C N em função dos cultivos de primavera, onde o milho e o sorgo resultaram nos menores valores comparados a crotalária e escarificação, decorrente dos menores teores de N destes tratamentos.

No Latossolo, a brachiaria destacou-se em sistema solteiro com maior teor de C e N (Tabela 8), acumulando praticamente o dobro que o sorgo granífero, assim como no consórcio entre ambas. A relação C N dos resíduos da brachiaria na superfície após o manejo químico foi 1/3 do observado para o sorgo granífero (22 e 61, respectivamente). Houve também distinção quanto aos teores dos componentes bioquímicos, havendo na brachiaria solteira uma menor proporção de hemicelulose e celulose, mas maior teor de lignina, sem diferir do sorgo.

Tabela 8. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de outono-inverno de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo	Palha Mg ha ⁻¹	teor N ---g kg ⁻¹ ---	teor C	†ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	C/N	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono-Inverno									
Brachi	3,89	20,6 ^{*b}	457 ^a	79,9 ^b	1,82	22 ^a	27 ^a	24 ^a	4,4 ^b
Sorgo G,	4,59	8,4 ^a	483 ^b	37,7 ^a	2,22	61 ^c	32 ^b	31 ^b	4,1 ^b
Brach+Sorgo G,	3,89	10,5 ^a	468 ^{ab}	40,2 ^a	1,77	47 ^b	34 ^b	30 ^b	2,8 ^a
DMS	0,93	2,5	19	17,8	0,48	5,8	2,7	2,1	1,0
Primavera									
Milheto	3,70 ^a	13,7	466	49,7	1,72 ^a	40	32	28	3,4
Sorgo F.	4,49 ^b	12,5	467	54,6	2,10 ^b	46	31	29	3,7
Crotalária	4,18 ^{ab}	13,3	475	53,5	1,99 ^b	44	31	28	4,2
DMS	0,52	1,9	18	9	0,26	9,2	1,5	1,7	0,9
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,18	<0,01	0,04	<0,01	0,11	<0,01	0	<0,01	0,02
Prim	0,01	0,45	0,56	0,51	0,02	0,49	0,11	0,46	0,18
Out/In xPrim	0,09	0,53	0,62	0,49	0,11	0,47	0,23	0,07	0,20
CV Out/Inv	22,6	18,9	4,07	23,9	24,7	14,7	8,8	7,0	17,0
CV Prim	14,8	16,8	4,54	18,1	15,9	21,7	5,6	6,8	18,4
Média geral	4,1	13,2	470	52,6	1,9	43	31	28	3,8

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac. N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

1.3.1.4 Culturas de Primavera de 2014

Os teores e os acúmulos de N nos resíduos da safra de primavera foram amplamente distintos. A crotalária em ambos os experimentos apresentou os maiores valores. No Nitossolo os teores de N, assim como os valores acumulados de N foram cerca de 30% superiores em relação ao milho e ao sorgo. Enquanto que a diferença representou, respectivamente, aos teores e acumulado de N 425 e 579% em relação aos obtidos no tratamento escarificação/pousio (Tabela 9).

Tabela 9. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Culturas	Palha Mg ha ⁻¹	teor N g kg ⁻¹	teor C g kg ⁻¹	†ac. N kg ha ⁻¹	ac. C Mg ha ⁻¹	C/N	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono-Inverno									
Girassol	2,42	21,5 ^{*b}	444	53,5	1,07	28 ^a	23	27	4,9
Triticale	3,14	16,2 ^a	438	52,8	1,39	37 ^b	26	30	4,6
DMS	1,24	3,3	19,4	24,9	0,59	6	5,1	5,6	1,6
Primavera									
Milheto	3,12	20,1 ^b	437	58,6 ^b	1,37	24 ^b	28 ^b	28 ^a	2,1 ^a
Sorgo	2,92	20,8 ^b	457	56,3 ^b	1,34	24 ^b	25 ^{ab}	24 ^a	2,5 ^a
Crotalária	2,95	28,1 ^c	436	82,8 ^c	1,28	16 ^a	21 ^a	26 ^a	5,4 ^b
Escarificação	2,12	6,6 ^a	436	14,3 ^a	0,93	67 ^c	24 ^{ab}	37 ^b	9,2 ^c
DMS	1,12	4,15	24,7	17,3	0,51	7,2	5,1	5,4	2
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,16	0,01	0,39	0,9	0,18	0,01	0,09	0,19	0,50
Prim	0,26	<0,01	0,19	<0,01	0,29	<0,01	0,04	<0,01	<0,01
Out/InxPrim	0,62	0,01	0,55	0,71	0,71	0,17	0,53	0,41	0,13
CV Out/Inv	29,8	15,6	3,9	21,7	22,4	16,3	18,2	17,4	20,4
CV Prim	27,3	20,8	5,3	11,1	19,6	21	20	17	20
Média geral	2,78	18,9	441	53	1,23	32,8	25	29	4,8

*Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha⁽²⁾ diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac. N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

Os teores de N e relação C N das plantas de outono-inverno também foram influenciados pelos resíduos de primavera de 2014 (Tabela 9). Considerando os teores significativamente maiores dos resíduos de primavera, pode-se afirmar que estes resultados são decorrentes da diferença observada na safra anterior pelas plantas de outono-inverno, aliado aos resíduos de primavera depositados após o seu manejo.

Houve interações nos teores de N dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Nitossolo (Tabela 10). Observa-se que o milho e sorgo quando cultivados após o girassol resultaram em maiores teores de N ($p < 0,05$) comparado quando estas foram cultivadas após o triticale.

Tabela 10. Interações entre as plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo	teor de N (g kg ⁻¹)			
	Crotalária	Escarificação	Milheto	Sorgo
Girassol	27,6 B	7,6 A	24,1 bB	26,9 bB
Triticale	28,5 C	5,7 A	16,2 aB	14,7 aB
DMS	5,2			

*Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha e minúscula na coluna diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No Latossolo as diferenças da crotalária em relação ao milho e sorgo forrageiro foram ainda maiores, com praticamente o dobro dos teores e acúmulos de N (Tabela 11). Os valores acumulados de N por esta cultura foram próximos entre os experimentos, com 82,8 e 87,8 kg N ha⁻¹ nos experimentos em Nitossolo e Latossolo, respectivamente. Dentre os componentes relacionados ao comportamento de mineralização ou persistência dos resíduos na superfície do solo, ou seja, a sua composição bioquímica, novamente a crotalária foi responsável pelos menores teores de hemicelulose e celulose, em relação aos demais cultivos, em ambos os experimentos, e com composição de lignina de praticamente o dobro dos demais cultivos (exceto em relação ao pousio, no caso do Nitossolo).

Tabela 11. Características químicas dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Cultivos	Palha	teor N	teor C	†ac.N	ac. C	C/N	Hemi	Cel	Lig
	Mg ha ⁻¹	---g kg ⁻¹ ---	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹		-----%-----		
Outono-Inverno									
Brachiaria	3,61	19,1	421	69,7 ^{*b}	1,51	23 ^a	26	26	4,7
Sorgo G,	2,91	16,8	428	49,7 ^a	1,24	31 ^b	26	27	3,4
Brach+Sorgo G,	2,77	18,1	414	49,5 ^a	1,15	26 ^{ab}	26	26	3,4
DMS	0,73	2,6	24	11,6	0,35	5,7	1,9	2,5	1,9
Primavera									
Milheto	2,48 ^a	15,1 ^a	416	36,9 ^a	1,02 ^a	28 ^b	27 ^b	26 ^a	2,5 ^a
Sorgo F,	3,29 ^b	13,2 ^a	424	44,2 ^a	1,39 ^b	35 ^c	29 ^b	28 ^b	3,5 ^b
Crotalária	3,51 ^b	25,9 ^b	424	87,8 ^b	1,48 ^b	17 ^a	22 ^a	25 ^a	5,5 ^c
DMS	0,77	2,4	18	9,4	0,3	5,4	2,2	2,1	0,8
Probabilidade de F									
Out/Inv	0,06	0,18	0,43	<0,01	0,11	0,04	0,97	0,32	0,25
Prim	0,03	<0,01	0,58	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Out/In xPrim	0,35	0,04	0,59	0,03	0,27	<0,01	0,81	0,57	0,34
CV Out/Inv	23,6	14,3	5,83	20,6	27,3	21,6	7,6	9,6	29,7
CV Prim	19,1	15,7	5,2	19,4	26,5	23,8	9,8	9,3	16,2
Média geral	3,09	18	421	56,3	1,3	26,7	26	26	3,8

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †ac.N e ac. C correspondem, respectivamente, as quantidades acumuladas de N e C nos resíduos.

De forma semelhante ao que ocorrera ao Nitossolo, no Latossolo foram verificadas interações entre as plantas de outono-inverno e primavera nos resíduos de primavera de 2014 (Tabela 12). Observa-se que o sorgo forrageiro teve os menores teores de N ($p < 0,05$) quando cultivado após o sorgo granífero em comparação ao cultivo com a brachiaria em consórcio ou solteiro. Este resultado também foi observado quanto aos valores acumulados e a relação C N.

Tabela 12. Interações entre as plantas de outono-inverno e de primavera dos resíduos culturais das plantas de primavera de 2014 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Cultivo	teor de N (g kg^{-1})		
	Crotalária	Milheto	Sorgo
Brachiaria	25,0 *B	16,0 A	16,1 bA
Sorgo Granífero	25,0 C	16,1 B	9,6 aA
Brachiaria+Sorgo	27,6 B	12,9 A	13,8 bA
DMS		4,00	
Cultivo	acúmulo de N (kg ha^{-1})		
	Crotalária	Milheto	Sorgo
Brachiaria	101,7 bB	46,1 A	61,2 cA
Sorgo Granífero	90,5 bB	31,9 A	26,7 aA
Brachiaria+Sorgo	71,1 aB	32,6 A	44,8 bA
DMS		16,3	
Cultivo	Relação C N		
	Crotalária	Milheto	Sorgo
Brachiaria	17	26	25,8 a
Sorgo Granífero	17 A	26 B	48,6 bC
Brachiaria+Sorgo	15 A	31,8 B	30,8 aB
DMS		9,00	

*Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.1.5 Cultura da soja safra 2014/2015

Após a colheita da soja, foi observado que os resíduos da crotalária, em ambos os experimentos, assim como a brachiaria no Latossolo, resultaram nos menores acúmulos e teores de N em relação aos demais cultivos (Tabela 13 e 14).

Tabela 13. Características químicas dos resíduos culturais da Soja safra 2014/2015 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Culturas	Palha Mg ha ⁻¹	teor N ----g kg ⁻¹ ----	teor C	ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	Hemi	Cel %	Lig
Outono-Inverno								
Girassol	3,90	16,2	454	63	1,78	17	28	13
Triticale	4,01	15,2	446	60	1,82	20	33	10
DMS	1,05	2,5	24	21	0,39	8,6	17	16
Primavera								
Milheto	3,22	16,5 ^{bc}	435 ^a	53	1,40 ^a	17	28	10
Sorgo	4,19	15,0 ^{ab}	454 ^{ab}	63	1,90 ^{ab}	20	30	10
Crotalária	4,79	13,5 ^a	470 ^b	63	2,30 ^b	18	33	11
Escarif	3,63	17,7 ^c	442 ^a	66	1,60 ^a	19	28	17
DMS	1,41	2,3	21	20	0,65	5	9	14
Probabilidade de F								
Out/Inv	0,75	0,26	0,36	0,67	0,79	0,3	0,51	0,67
Prim	0,14	<0,01	0,01	0,56	0,04	0,81	0,62	0,65
Out/InvxPrim	0,96	0,53	0,81	0,68	0,93	0,4	0,31	0,52
CV Out/Inv	23,5	13,9	4,84	20,5	19,5	21	22,0	34
CV Prim	24,0	13,8	4,56	21,2	24,5	23	18,0	31
Média geral	3,9	15,7	450	61	1,8	18	29,8	12

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14. Características químicas dos resíduos culturais da soja safra de 2014/2015 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Culturas	Palha Mg ha ⁻¹	teor N ----g kg ⁻¹ ----	teor C kg ha ⁻¹	ac.N kg ha ⁻¹	ac.C Mg ha ⁻¹	Hemi -----%-----	Cel	Lig
Outono-Inverno								
Brachi	4,32	12,0 ^{*a}	451	51,6	1,95	17,5	34,3 ^b	10,3
Sorgo G.	3,73	14,4 ^b	445	53,5	1,65	16,7	27,3 ^a	11,9
Brach+Sorgo G.	3,48	14,0 ^a	445	49,2	1,56	17,4	32,3 ^b	10,3
DMS	1,43	0,8	48	19,5	0,69	1,4	5,0	6,0
Primavera								
Milheto	3,91	16,1 ^b	444	64,2 ^b	1,73	17,6	27,0 ^a	13,2
Sorgo F.	3,85	12,6 ^a	455	46,1 ^a	1,76	17,2	33,3 ^b	9,2
Crotalária	3,77	11,6 ^a	441	44,0 ^a	1,66	16,9	33,7 ^b	10,1
DMS	0,99	2,6	19	16,5	0,44	1,5	4,7	5,3
Probabilidade de F								
Out/Inv	0,39	<0,01	0,94	0,86	0,4	0,44	0,03	0,76
Prim	0,96	0,004	0,3	0,03	0,9	0,66	0,01	0,28
Out/In xPrim	0,81	0,17	0,54	0,51	0,78	0,59	0,57	0,48
CV Out/Inv	27,3	6,35	10,9	25,5	20,5	8,4	16	25,5
CV Prim	20,1	22,8	4,9	18,4	18,4	10,5	17,5	27,3
Média geral	3,84	13,5	447	51,4	1,72	17,3	31,3	10,8

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.2 C e N da Biomassa Microbiana

1.3.2.1 Coleta de solo da safra de primavera de 2013

Apesar de não distintos estatisticamente, os teores de N da biomassa microbiana (N_{BMS}) da primeira coleta de solo (antes da escarificação) foram sensivelmente reduzidos ($p < 0.1$) sob o cultivo pousio/escarificação na primavera, enquanto que o C_{BMS} não teve qualquer redução por meio deste tratamento (Tabela 15). No Latossolo mesmo que também não houvera diferença estatística, há de enfatizar que por meio do sorgo granífero e forrageiro os teores de N_{BMS} foram moderadamente superiores aos demais ($p < 0.1$) (Tabela 16). Mesmo assim, os valores de biomassa microbiana podem ser considerados baixos quando comparados aos observados no Nitossolo, principalmente de C_{BMS} , atingindo praticamente a metade dos valores observados em todas as determinações.

Influências das rotações de culturas nas relações C_{BMS}/COT e N_{BMS}/NT eram esperadas, porém, não foram confirmadas na coleta de solo de primavera de 2013.

1.3.2.2 Coleta de solo da safra de outono-inverno de 2014

Em solo cultivado com crotalária os teores de C_{BMS} e N_{BMS} foram moderadamente superiores em relação aos demais tratamentos de primavera, sendo a maior diferença, em ambos os casos, em relação ao sorgo forrageiro, correspondendo a cerca de 30%, embora não estatisticamente distintos (Tabela 15). Este resultado também foi observado no Latossolo, principalmente quanto aos teores de N_{BMS} . O cultivo da crotalária foi responsável pelo maior teor de N_{BMS} ($p < 0,05$; $13,2 \text{ mg N kg}^{-1}$), 213% superior ao teor observado com o sorgo forrageiro (Tabela 16).

Tabela 15. Teores de C e N da biomassa microbiana do solo (C_{BMS} e N_{BMS}) no Nitossolo na camada de 0-10 cm nas safras analisadas (Botucatu, 2017).

Culturas	‡Primavera 13		Soja 13/14		Primavera 14		Soja 14/15	
	C	N	C	N	C	N	C	N
mg kg ⁻¹								
Outono-Inverno								
Girassol	338	14,9	338	16,7	272	15,8 ^a	306	20,8
Triticale	348	15,4	345	14,8	302	30,4 ^b	348	23,9
DMS	83	6,8	82	10,2	147	5,5	185	9,4
Primavera								
Milheto	384	17,9	324	16,1	269	22,2	349	19,9
Sorgo	329	16,7	291	13,4	290	19,6	331	24,2
Crotalária	325	15,6	428	18,4	286	30,0	390	26,2
Escarificação	333	10,6	323	15,4	302	20,5	237	19,1
DMS	83	6,2	105	4,8	58	12,7	125	6
Probabilidade de F								
F Out/Inv	0,71	0,84	0,79	0,59	0,56	0,003	0,51	0,37
F Prim	0,42	0,1	0,07	0,23	0,7	0,33	0,1	0,06
F Out/Inv x Prim	0,41	0,5	0,45	0,11	0,53	0,37	0,29	0,91
CV Out/Inv	21,6	30	21,4	27,4	25,6	21,3	30,4	27,5
CV Prim	23,1	29,1	29,5	29,4	19,2	32,4	26,3	25,5
Média geral	343	15	341	16	287	23,1	327	22,0

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. ‡Primavera 13, Soja 13/14, Primavera 14 e Soja 14/15

correspondem respectivamente, as coletas de solo realizadas no cultivo das plantas de primavera de 2013, após a colheita da soja de 2014/2015, das plantas de primavera de 2014 e após a colheita da soja de 2014/2015.

Tabela 16. Teores de C e N da biomassa microbiana do solo (C_{BMS} e N_{BMS}) no Latossolo na camada de 0-10 cm nas safras analisadas (Botucatu, 2017).

Culturas	‡Primavera 13		Soja 13/14		Primavera 14		Soja 14/15	
	C_{BMS}	N_{BMS}	C_{BMS}	N_{BMS}	C_{BMS}	N_{BMS}	C_{BMS}	N_{BMS}
mg kg⁻¹								
Outono-Inverno								
Brachiaria	172	8,5	159	9,1	170 ^b	17,3 ^{†b}	181	20,8
Sorgo G.	161	12,1	166	9,6	131 ^a	10,4 ^a	158	20,3
Brachi+Sorgo	197	9,6	172	10,1	119 ^a	22,4 ^c	199	25,7
DMS	87	5,7	46	1,81	13	3,1	99	5,5
Primavera								
Milheto	163	7,6	155	9,4 ^{ab}	113 ^a	13,5 ^a	177	22
Sorgo F.	177	14,2	161	6,2 ^a	145 ^b	22,8 ^b	177	21
Crotalária	189	8,4	181	13,2 ^b	162 ^b	13,7 ^a	184	24
DMS	58	6,5	52	5,4	23,2	5,7	47	6
Probabilidade de F								
Out/Inv	0,61	0,36	0,79	0,49	0,04	0,03	0,62	0,09
F Prim	0,65	0,09	0,56	0,04	0,02	0,04	0,93	0,69
Out/Inv x Prim	0,61	0,21	0,52	0,07	0,08	0,11	0,26	0,53
CV Out/Inv	29,4	26,4	28,0	18,9	9,20	18,3	35,30	24,9
CV Prim	38,5	35,3	26,6	35,9	19,3	24,9	30,90	25,9
Média geral	176	10,1	165	9,6	140	16,7	179	22,3

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. †Primavera 13, Soja 13/14, Primavera 14 e Soja 14/15 correspondem respectivamente, as coletas de solo realizadas no cultivo das plantas de primavera de 2013, após a colheita da soja de 2014/2015, das plantas de primavera de 2014 e após a colheita da soja de 2014/2015.

1.3.2.3 Coleta de solo da safra de Primavera de 2014

Nessa época de amostragem, apesar das menores médias dentre as safras, a biomassa microbiana em ambos os experimentos foi influenciada pelas culturas de outono-inverno. No Nitossolo curiosamente o cultivo do triticales resultou em valores de N_{BMS} 100% superiores aos observados com o girassol (15,8 e 30,4 mg N kg⁻¹, respectivamente). Enquanto que no Latossolo, a utilização do sorgo granífero foi

responsável pelos menores teores tanto de C_{BMS} como de N_{BMS} (Tabela 16). No entanto, um resultado singular foi observado dentre as culturas de primavera, no qual o cultivo do sorgo forrageiro resultou no maior teor N_{BMS} , mesmo não sendo responsável pelos maiores teores de N na palha como discutido anteriormente.

1.3.2.4 Coleta de solo da safra de soja de 2014/2015

Apesar de não significativo, novamente a crotalária teve tendência de superioridade na biomassa microbiana principalmente no Nitossolo ($p=0,06$), embora não tenha sido verificada diferença significativa.

1.3.3 Estoques de C e N no Nitossolo

1.3.3.1 Iniciais (Safra de primavera de 2013/2014)

As rotações de culturas implantadas desde 2003 em SSD apresentaram efeitos moderados nos estoques de C na camada superficial ($p<0,1$). A ausência de cultivo na primavera parece ter limitado os estoques de C na camada superficial (Tabela 17). Quando comparado aos estoques na crotalária observa-se que a diferença aproximou-se a 4 Mg C ha^{-1} . Entretanto, na camada de 20-40 houve um efeito inverso, no qual observou-se que este tratamento (escarificação/pousio) foi responsável pelo maior estoque de C ($p<0,1$), principalmente quando comparado ao milho e sorgo (diferença de 3.7 Mg ha^{-1}), embora o estoque de C da crotalária não tenha sido diferenciado deste tratamento. De qualquer maneira, os estoques foram indiferentes no perfil do solo, mas sensivelmente superiores com a crotalária e escarificação na comparação entre os tratamentos de primavera, e com o triticale como cultivo de outono-inverno.

Tabela 17. Estoques de Carbono no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	Carbono (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Girassol	29,0	23,6	35,2	33,0	120,8
Triticale	29,2	23,7	37,5	36,0	126,5
DMS	1,8	1,0	3,1	3,2	5,8
Primavera					
Milheto	28,9 ^{ab}	22,6	35,0 ^a	36,0	122,9
Sorgo	29,3 ^{ab}	23,5	35,0 ^a	34,4	122,4
Crotalária	30,9 ^b	24,9	36,5 ^{ab}	32,9	125,2
Escarificação	27,2 ^a	23,6	38,7 ^b	34,7	124,2
DMS	2,71	2,24	3,25	3,96	8,9
Probabilidade de F					
F Out/Inv	0,8	0,8	0,1	0,08	0,08
F Prim	0,06	0,24	0,07	0,44	0,91
F Out/Inv x Prim	0,86	0,62	0,32	0,57	0,41
CV Out/Inv	5,53	3,82	7,74	8,40	4,20
CV Prim	8,88	9,04	8,52	10,94	6,90
Média geral	29,1	23,6	36,4	34,55	123,7

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro

Em relação aos estoques de N, o comportamento foi semelhante (Tabela 18). Na camada superficial, a crotalária foi responsável pelo maior estoque de N (2,83 Mg ha⁻¹), enquanto que a escarificação o menor (2,56 Mg ha⁻¹). Na camada de 20-40 cm o resultado com N foi semelhante ao obtido com C, ou seja, com maiores estoques com o tratamento com escarificação (4,08; $p=0.06$), 11% superior ao obtido com o milho.

Tabela 18. Estoques de Nitrogênio no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta de solo de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Girassol	2,7	2,35	3,75	3,15	11,9
Triticale	2,7	2,36	3,90	3,32	12,3
DMS	0,14	0,09	0,25	0,33	0,6
Primavera					
Milheto	2,73 ^{*ab}	2,27	3,65 ^a	3,15	11,8
Sorgo	2,65 ^{ab}	2,34	3,73 ^a	3,16	11,9
Crotalária	2,83 ^b	2,45	3,83 ^{ab}	3,29	12,4
Escarificação	2,56 ^a	2,36	4,08 ^b	3,33	12,3
DMS	0,22	0,21	0,33	0,30	0,7
Probabilidade de F					
F Out/Inv	0,84	0,80	0,15	0,2	0,19
F Prim	0,10	0,39	0,06	0,51	0,27
F Out/Inv x Prim	0,91	0,67	0,51	0,21	0,31
CV Out/Inv	4,77	3,35	5,82	9,11	4,4
CV Prim	7,80	8,76	8,19	8,87	6,01
Média geral	2,70	2,36	3,82	3,24	12,12

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.3.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Observou-se uma tendência de comportamento similar aos estoques de C e N de 2013/2014, principalmente em relação à camada superficial por meio dos tratamentos contrastantes da crotalária e escarificação/pousio. As diferenças entre estes tratamentos praticamente foram as mesmas em ambos os estoques, porém no caso do C foram moderadamente menores (Tabelas 19 e 20). Novamente houve o comportamento inverso na camada de 20-40 cm ($p < 0,1$), na qual a escarificação teve maior estoque de C ($p < 0,1$) e N, principalmente em relação a crotalária e milho e moderado ao sorgo forrageiro.

Tabela 19. Estoques de Carbono no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta após a colheita da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	Carbono (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Girassol	28,2	22,2	38,2	32,5	121,2
Triticale	28,7	22,8	36,4	34,2	122,2
DMS	2,74	2,9	6,77	4,0	11,1
Primavera					
Milheto	29,0	22,1	34,9	33,1	119,1
Sorgo	28,3	21,9	40,4	35,2	125,7
Crotalária	30,1	23,2	35,3	33,2	121,8
Escarificação	26,3	22,9	38,7	32,1	120,1
DMS	3,4	2,4	4,7	3,2	6,71
Probabilidade de F					
F Out/Inv	0,65	0,59	0,47	0,27	0,81
F Prim	0,15	0,59	0,07	0,26	0,21
F Out/Inv x Prim	0,36	0,55	0,09	0,48	0,68
CV Out/Inv	8,58	11,7	16,10	10,60	8,14
CV Prim	11,30	10,1	12,20	9,10	5,25
Média geral	28,50	22,5	37,30	33,40	121,7

Tabela 20. Estoques de Nitrogênio no Nitossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil na coleta após a colheita da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Girassol	2,63	2,31	3,90	3,03	12,20
Triticale	2,63	2,35	4,22	3,20	12,10
DMS	0,17	0,23	0,84	0,66	1,74
Primavera					
Milheto	2,67	2,30	3,70	3,00	11,70
Sorgo	2,66	2,27	4,12	3,15	12,22
Crotalária	2,72	2,37	4,18	3,15	12,43
Escarificação	2,47	2,37	4,22	3,15	12,22
DMS	0,25	0,19	0,69	0,32	0,87
Probabilidade de F					
F Out/Inv	0,92	0,60	0,31	0,48	0,84
F Prim	0,19	0,63	0,39	0,70	0,37
F Out/Inv x Prim	0,19	0,43	0,79	0,28	0,96
CV Out/Inv	5,95	8,77	18,50	18,90	12,70
CV Prim	9,01	7,97	16,20	9,80	6,89
Média geral	2,63	2,33	4,06	3,10	12,10

1.3.4 Estoques de C e N no Latossolo

1.3.4.1 Iniciais (Safr de primavera de 2013/2014)

O cultivo consorciado entre a brachiaria e sorgo granífero no outono-inverno resultaram no menor estoque de C nas camadas de 10-20 e 20-40 cm (Tabela 21). Enquanto que a brachiaria em sistema solteiro destacou-se quanto aos estoques de C no perfil, superando em aproximadamente 3 Mg C ha⁻¹ os demais tratamentos. Entre as plantas de primavera, somente houve efeito na camada mais profunda analisada (40-60 cm), com o milho resultando em maior estoque de C em relação ao sorgo forrageiro.

Tabela 21. Estoques de Carbono no Latossolo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, e no acumulado do perfil, na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	Carbono (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Brachiaria	22,2	18,2 ^{*b}	31,1 ^b	32,0	103,6
Sorgo Granífero	22,1	17,2 ^{ab}	30,6 ^b	30,6	100,6
Brachiaria+Sorgo	23,1	16,8 ^a	29,5 ^a	30,9	100,4
DMS	1,8	1,3	0,8	1,7	3,7
Primavera					
Milheto	22,1	17,2	30,6	32,6 ^b	102,6
Sorgo Forrageiro	22,9	18,0	30,5	29,4 ^a	100,8
Crotalária	22,3	17,1	30,1	31,4 ^{ab}	101,1
DMS	1,7	1,5	1,8	2,5	5,0
Probabilidade de F					
Out-Inv	0,40	0,10	0,01	0,24	0,14
Prim	0,62	0,43	0,82	0,04	0,73
Out/Inv x Prim	0,73	0,49	0,21	0,15	0,26
CV Out/Inv	8,15	7,70	2,77	5,74	3,69
CV Prim	9,15	10,54	6,92	9,37	5,77
Média geral	22,40	17,45	30,44	31,10	101,54

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação ao estoque de N, não foram verificados efeitos entre os cultivos na coleta de primavera de 2013 (Tabela 22).

Tabela 22. Estoques de Nitrogênio no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Brachiaria	1,37	1,12	1,76	1,39	5,66
Sorgo Granífero	1,31	1,08	1,93	1,53	5,87
Brachiaria+Sorgo	1,39	1,06	1,58	1,35	5,39
DMS	0,37	0,30	0,66	0,57	1,84
Primavera					
Milheto	1,40	1,07	1,79	1,43	5,71
Sorgo Forrageiro	1,32	1,09	1,85	1,44	5,71
Crotalária	1,36	1,10	1,63	1,40	5,49
DMS	0,18	0,12	0,21	0,09	0,44
Probabilidade de F					
F Outono/Inverno	0,87	0,53	0,47	0,73	0,81
F Primavera	0,65	0,87	0,11	0,68	0,50
F Out/Inv x Prim	0,82	0,91	0,13	0,70	0,10
CV Outono/Inverno (%)	17,10	17,70	21,30	20,10	22,70
CV Primavera (%)	15,60	12,80	14,00	7,70	9,10
Média geral	1,36	1,09	1,75	1,42	5,64

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.4.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Novamente a brachiaria em sistema solteiro proporcionou maior estoque de C na camada 20-40 cm em relação ao cultivo consorciado com o sorgo forrageiro (Tabela 23), embora nesta avaliação não tenha sido observada diferença na camada 10-20 entre estes tratamentos como observado na coleta de 2013 (Tabela 21). No entanto, a similaridade com a coleta anterior também foi verificada no perfil analisado (0-60 cm), onde a brachiaria proporcionou um estoque de C superior em 5 Mg ha⁻¹ em relação ao cultivo consorciado.

Tabela 23. Estoques de Carbono no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	Carbono (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Brachiaria	25,9	17,8	32,1 ^{*b}	31,0	106,9 ^b
Sorgo Granífero	24,4	17,7	30,9 ^{ab}	31,2	104,2 ^{ab}
Brachiaria+Sorgo	25,7	17,5	29,4 ^a	29,2	101,8 ^a
DMS	2,2	1,1	1,4	3,7	3,3
Primavera					
Milheto	25,4	17,9	30,7	31,5	105,6
Sorgo Forrageiro	25,4	18,1	31,6	29,1	104,3
Crotalária	25,2	16,9	30,0	30,7	103,0
DMS	2,3	1,3	2,51	3,3	6,2
Probabilidade de F					
F Outono/Inverno	0,27	0,82	0,01	0,44	0,02
F Primavera	0,97	0,15	0,41	0,31	0,65
F Out/Inv x Prim	0,35	0,77	0,90	0,73	0,74
CV Outono/Inverno (%)	8,60	6,02	4,84	12,32	3,20
CV Primavera (%)	10,70	8,80	9,55	12,76	6,97
Média geral	25,30	17,75	30,76	30,40	104,3

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Outro comportamento semelhante entre as coletas de solo foi a indiferença entre os cultivos quanto aos estoques de N, exceto na camada 40-60 cm (Tabela 24). Nesta camada a brachiaria destacou-se novamente com o maior estoque (2,57 Mg ha⁻¹) em relação ao cultivo consorciado com o sorgo (2,06 Mg ha⁻¹), representando uma diferença de, aproximadamente, 25%, embora esta superioridade não tenha transcorrido no perfil do solo.

Os efeitos observados por meio da crotalária como cultura de primavera no experimento em Nitossolo também eram esperados no Latossolo, porém não ocorreram.

Tabela 24. Estoques de Nitrogênio no Latossolo nas camadas de 0-10,10-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade e no acumulado do perfil na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Cultivo	Nitrogênio (Mg ha ⁻¹)				
	0-10 cm	10-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-60 cm
Outono-Inverno					
Brachiaria	2,07	1,62	2,64	2,57 ^{*b}	8,92
Sorgo Granífero	1,96	1,62	2,68	2,52 ^{ab}	8,78
Brachiaria+Sorgo	1,92	1,53	2,60	2,06 ^a	8,12
DMS	0,34	0,27	0,88	0,49	1,15
Primavera					
Milheto	2,06	1,63	2,55	2,37	8,62
Sorgo Forrageiro	1,91	1,64	2,89	2,41	8,86
Crotalária	1,98	1,50	2,48	2,38	8,34
DMS	0,26	0,22	0,72	0,26	1,02
Probabilidade de F					
F Outono/Inverno	0,54	0,66	0,97	0,08	0,27
F Primavera	0,51	0,31	0,46	0,95	0,57
F Out/Inv x Prim	0,49	0,69	0,30	0,98	0,49
CV Outono/Inverno (%)	17,11	17,5	23,34	20,94	13,42
CV Primavera (%)	15,42	15,9	22,08	12,87	13,84
Média geral	1,98	1,59	2,64	2,38	8,67

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.5 Fracionamento físico da MOS no Nitossolo

1.3.5.1 Iniciais (Safra de primavera de 2013/2014)

Os valores da probabilidade de F são apresentados na tabela 25. Os teores médios do carbono orgânico total (COT) e carbono orgânico particulado (COP) na camada superficial foram de 21,5 e 3,45 mg kg⁻¹, respectivamente, e 17,2 e 1,97 mg kg⁻¹ na camada 10-20 cm, enquanto que nas demais camadas os valores foram menores e constantes, com médias de 13,7 e 1,06 mg kg⁻¹ (Tabela 25). Enquanto que os teores de COM a redução foi acentuada apenas em relação à camada superficial consolidando em profundidade em cerca de 5,6 mg kg⁻¹.

Tabela 25. Probabilidade dos valores de F dos teores do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP) e Carbono orgânico associado aos minerais (COM) no Nitossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP	COM	COP/COT
Camada de 0-10 cm				
Outono/Inverno	0,85	0,85	0,92	0,83
Primavera	<0,01	0,01	0,14	0,07
Outono/Inverno x Primavera	0,40	0,99	0,47	0,97
CV Outono/Inverno (%)	8,50	29,9	9,04	15,5
CV Primavera (%)	5,74	18,56	6,92	13,34
Média geral	21,55	3,48	18	16,12
Camada de 10-20 cm				
Outono/Inverno	0,79	0,05	0,3	0,02
Primavera	0,08	0,19	0,12	0,33
Outono/Inverno x Primavera	0,4	0,96	0,15	0,82
CV Outono/Inverno (%)	3,29	12,1	3,2	9,24
CV Primavera (%)	6,18	21,35	5,16	16,85
Média geral	17,2	1,97	15,2	11,36
Camada de 20-40 cm				
Outono/Inverno	0,12	0,46	0,09	0,17
Primavera	0,06	0,14	0,09	0,33
Outono/Inverno x Primavera	0,58	0,51	0,64	0,59
CV Outono/Inverno (%)	6,43	15,46	6,5	15,88
CV Primavera (%)	5,98	20,21	5,7	16,96
Média geral	13,7	1,04	12,7	7,56
Camada de 40-60 cm				
Outono/Inverno	0,18	0,82	0,13	0,1
Primavera	0,12	0,16	0,08	0,09
Outono/Inverno x Primavera	0,14	0,17	0,19	0,29
CV Outono/Inverno (%)	9,72	19,07	8,97	9,62
CV Primavera (%)	6,21	23,27	5,57	18,21
Média geral	13,69	1,08	12,61	7,86

Entre as rotações, a área conduzida em SSD por 10 anos modificaram os teores de (COP), assim como o (COT) na superfície do solo por meio das plantas de primavera (Tabela 26). As culturas que obtiveram os maiores teores destas variáveis foram a crotalária e o sorgo forrageiro, diferindo em ambos os casos da escarificação/pousio. No caso do milho, mesmo compreendendo os menores teores juntamente com a escarificação/pousio, não diferiu em relação ao sorgo quanto ao COT (Tabela 26). Um resultado a ser enfatizado, mesmo que não significativo, foi a relação COP/COT obtida com o sorgo forrageiro, 19% superior em relação ao milho e escarificação/pousio, e 11% em comparação à crotalária.

Tabela 26. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP/COT no Nitossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Cultivos	COT (g kg ⁻¹)	COP (g kg ⁻¹)	COM (g kg ⁻¹)	COP/COT (%)
Camada de 0-10 cm				
Outono-inverno				
Girassol	21,5	3,44	17,9	15,96
Triticale	21,5	3,51	18	16,28
DMS	2,06	1,17	1,83	4,67
Primavera				
Milheto	20,8	3,07 ^a	17,8	14,7
Sorgo	22	4,01 ^b	18	18,24
Crotalária	22,6	3,75 ^b	18,9	16,57
Escarif	20,4	3,06 ^a	17,3	15,01
DMS	1,29	0,67	1,3	2,96
Camada de 10-20 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	17,2	2,1 ^b	15,16	12,13 ^b
Triticale	17,2	1,83 ^a	15,38	10,60 ^a
DMS	0,63	0,27	0,55	1,18
Primavera				
Milheto	16,4	1,73	14,74	10,52
Sorgo	17,1	1,89	15,27	10,95
Crotalária	17,9	2,16	15,74	12,02
Escarificação	17,4	2,09	15,34	11,95
DMS	1,19	0,44	0,82	2,01
Camada de 20-40 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	13,4	1,06	12,33	7,94
Triticale	14	1,01	13,03	7,19
DMS	0,99	0,19	0,92	1,35
Primavera				
Milheto	13,4	0,93	12,47	6,94
Sorgo	13,2	0,96	12,21	7,39
Crotalária	14,1	1,12	12,99	7,9
Escarificação	14,2	1,14	13,05	8,03
DMS	0,8	0,22	0,76	1,34
Camada de 40-60 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	13,3	1,08	12,2	8,17
Triticale	14,1	1,07	13,02	7,54
DMS	1,49	0,23	1,27	0,85
Primavera				
Milheto	14,2	1,02	13,22	7,25
Sorgo	13,7	1,26	12,49	9,05
Crotalária	13,1	1,01	12,14	7,66
Escarificação	13,6	1,01	12,58	7,47
DMS	0,9	0,26	0,73	1,5

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Diferentemente da camada superficial, na camada de 10-20 cm as culturas de outono-inverno promoveram diferença ($p < 0,05$) no teor de COP e na relação COP/COT (Tabela 23). O girassol foi responsável pelo maior teor de COP em relação ao triticales (2,1 e 1,8 g kg⁻¹, respectivamente), representando uma diferença de cerca de 14%. Esta mesma diferença também ocorreu na relação COP/COT. Nas demais camadas no entanto, não foram observados efeitos dos cultivos em rotação sobre estas variáveis.

1.3.5.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Os valores da probabilidade de F são apresentados na tabela 27. O comportamento das rotações de culturas de primavera quanto ao fracionamento físico foram praticamente os mesmos na coleta após a soja de 2015, com valores muito próximos. No entanto, os efeitos observados na coleta anterior na superfície do solo não foram confirmados nesta determinação (Tabela 28).

Tabela 27. Probabilidade dos valores de F dos teores do C orgânico total (COT), C orgânico particulado (COP), C orgânico associado aos minerais (COM), e relação entre COP e Cot no Nitossolo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP	COM	COP/COT
Camada de 0-10 cm				
Outono/Inverno	0,46	0,83	0,37	0,68
Primavera	0,17	0,09	0,53	0,51
Outono/Inverno x Primavera	0,23	0,39	0,31	0,43
CV Outono/Inverno (%)	5,64	18,87	6,42	17,03
CV Primavera (%)	9,16	13,03	10,81	13,99
Média geral	21,01	3,13	17,88	14,97
Camada de 10-20 cm				
Outono/Inverno	0,74	0,8	0,75	0,98
Primavera	0,29	0,94	0,24	0,94
Outono/Inverno x Primavera	0,28	0,9	0,22	0,78
CV Outono/Inverno (%)	15	18,78	15,32	24
CV Primavera (%)	7,41	18,82	7,28	15,96
Média geral	16,4	1,45	14,95	8,83
Camada de 20-40 cm				
Outono/Inverno	0,32	0,1	0,3	0,14
Primavera	0,1	0,71	0,08	0,42
Outono/Inverno x Primavera	0,06	0,03	0,03	0,01
CV Outono/Inverno (%)	14,38	12,97	15,66	20,69
CV Primavera (%)	10,62	20,63	11,16	21,22
Média geral	14,07	0,76	13,31	5,5
Camada de 40-60 cm				
Outono/Inverno	0,87	0,2	0,76	0,06
Primavera	0,11	0,73	0,17	0,94
Outono/Inverno x Primavera	0,36	0,24	0,4	0,27
CV Outono/Inverno (%)	7,11	13,3	6,83	7,65
CV Primavera (%)	9,02	27,12	9,46	25,65
Média geral	13,43	0,61	12,8	4,55

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Apesar de não ser objetivo do estudo, ao analisar as médias entre as coletas de solo, observa-se um comportamento sensivelmente distinto entre as médias dos teores de COP.

Tabela 28. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e Cot no Nitossolo após a safra da soja de 2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP (g kg ⁻¹)	COM	COP/COT (%)
Camada de 0-10 cm				
Outono-inverno				
Girassol	20,84	3,17	17,67	15,29
Triticale	21,19	3,09	18,09	14,64
DMS	1,33	1,01	1,29	4,55
Primavera				
Milheto	21	3,20	17,7	15,7
Sorgo	21,31	3,23	18,07	15,16
Crotalária	22,01	3,44	18,57	15,74
Escarificação	19,8	2,64	17,16	13,31
DMS	2,02	0,75	2,03	3,77
Camada de 10-20 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	16,25	1,43	14,81	8,84
Triticale	16,56	1,47	15,08	8,83
DMS	2,78	0,47	2,57	2,36
Primavera				
Milheto	16,08	1,43	14,65	8,77
Sorgo	15,88	1,43	14,45	8,98
Crotalária	16,73	1,5	15,23	8,98
Escarificação	16,91	1,45	15,42	8,61
DMS	1,27	0,28	1,13	1,48
Camada de 20-40 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	14,49	0,72	13,77	5,11
Triticale	13,65	0,8	12,85	5,89
DMS	2,27	0,11	2,34	1,28
Primavera				
Milheto	13,27	0,76	12,51	5,75
Sorgo	15,15	0,71	14,43	4,96
Crotalária	13,66	0,8	12,86	5,87
Escarificação	14,21	0,77	13,44	5,42
DMS	1,56	0,16	1,56	1,22
Camada de 40-60 cm				
Outono-Inverno				
Girassol	13,46	0,59	12,8	4,36
Triticale	13,4	0,63	12,7	4,75
DMS	1,07	0,09	0,98	0,4
Primavera				
Milheto	13,76	0,66	13,1	4,75
Sorgo	14,08	0,67	13,4	4,79
Crotalária	13,28	0,58	12,7	4,38
Escarificação	12,6	0,53	12	4,29
DMS	1,27	0,3	1,27	2,18

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Foram calculadas as relações entre os valores de C e N da biomassa microbiana e os valores de COT e NT de ambas as safras iniciais (de primavera de 2013) e finais (após a soja de 2014/2015), pois tal razão indica a eficiência dos microrganismos em imobilizar C e N na sua biomassa. No entanto, não observou-se qualquer efeito entre os cultivos (Tabela 29).

Tabela 29. Relações e probabilidade dos valores de F entre Carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) e Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) e Nitrogenio total (NT) referentes às coletas de solo da primavera de 2013 e após a colheita da soja de 2014/2015 no Nitossolo (Botucatu, 2017).

Cultivos	C_{BMS}/COT	N_{BMS}/NT	C_{BMS}/COT	N_{BMS}/NT
	------(%)-----			
	Coleta de Primavera 2013		Coleta após colheita da soja de 2014/2015	
Outono-Inverno				
Girassol	1,59	0,74	1,46	1,07
Triticale	1,63	0,77	1,7	1,24
DMS	0,5	0,29	0,88	0,51
Primavera				
Milheto	1,86	0,9	1,77	1,05
Sorgo Forrageiro	1,51	0,83	1,56	1,21
Crotalária	1,44	0,74	1,77	1,32
Escarificação	1,62	0,55	1,23	1,04
DMS	0,41	0,29	0,66	0,33
Probabilidade de F				
Outono/Inverno	0,82	0,8	0,45	0,36
Primavera	0,19	0,1	0,29	0,27
Outono-Inverno x Prim	0,6	0,37	0,55	0,67
CV Outono/Inverno (%)	17,91	24,93	29,49	28,95
CV Primavera (%)	24,6	26,82	19,1	17,69
Média geral	1,61	0,75	1,58	1,16

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.6 Fracionamento físico da MOS no Latossolo

1.3.6.1 Iniciais (Safr de primavera de 2013/2014)

As probabilidades dos valores de F da safr de primavera de 2013 no Latossolo são apresentados na tabela 30.

Tabela 30. Probabilidade dos valores de F do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo na safr de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP	COM	COP/COT
Camada de 0-10 cm				
Outono/Inverno	0,56	0,31	0,11	0,18
Primavera	0,3	0,7	0,31	0,86
Outono-Inverno x Primavera	0,91	0,27	0,55	0,19
CV Outono/Inverno (%)	7,67	21,99	8,39	20,01
CV Primavera (%)	7,12	19,66	5,31	14,47
Média geral	13,62	2,39	11,2	17,37
Camada de 10-20 cm				
Outono/Inverno	0,05	0,02	0,24	0,07
Primavera	0,25	0,36	0,43	0,6
Outono-Inverno x Primavera	0,51	0,88	0,61	0,96
CV Outono/Inverno (%)	5,68	19,13	6,94	20,95
CV Primavera (%)	8,45	22,93	9,07	21,57
Média geral	10,63	1,23	9,4	11,56
Camada de 20-40 cm				
Outono/Inverno	0,05	0,04	0,16	0,06
Primavera	0,14	0,11	0,07	0,09
Outono-Inverno x Primavera	0,09	0,07	0,06	0,16
CV Outono/Inverno (%)	4,33	17,81	4,39	28,22
CV Primavera (%)	5,63	12,49	6,38	24,16
Média geral	9,65	0,86	8,78	8,97
Camada de 40-60 cm				
Outono/Inverno	0,06	0,26	0,17	0,25
Primavera	0,06	0,35	0,06	0,57
Outono-Inverno x Primavera	0,1	0,24	0,15	0,3
CV Outono/Inverno (%)	4,23	30,28	5,77	16,8
CV Primavera (%)	7,48	24,54	10,16	26,72
Média geral	11	1,01	9,98	9,21

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Observa-se que os teores de C no fracionamento físico da MOS observados no experimento em Latossolo foram menores que os obtidos no Nitossolo, o que já era esperado devido ao menor teor de argila, porém, podem ser considerados regulares pois valores semelhantes foram relatados outrora neste mesmo experimento (Raphael, 2015). Em relação aos cultivos, não foram observados efeitos na camada superficial, diferentemente da profundidade de 10-20 e 20-40 cm quanto aos teores de COT e COP, sendo influenciados pelos cultivos de outono-inverno (Tabela 31). Enquanto que teores de COM não foram influenciados, assim como a relação que indica a labilidade do C (COP/COT).

Tabela 31. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo na safra de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP	COM	COP/COT (%)
	----- (g kg ⁻¹) -----			
Camada de 0-10 cm				
Outono-inverno				
Brachiaria	13,71	2,17	10,61	15,76
Sorgo G.	13,35	2,68	11,45	19,99
Brach+Sorgo Granífero	13,81	2,31	11,53	16,38
DMS	1,04	0,76	0,94	5,21
Primavera				
Milheto	13,27	2,26	11,00	16,88
Sorgo Forrageiro	13,88	2,50	11,49	17,82
Crotalária	13,72	2,41	11,34	17,43
DMS	0,83	0,61	0,51	3,64
Camada de 10-20 cm				
Outono-Inverno				
Brachiaria	11,02 ^{*b}	1,33 ^b	9,69	12,08
Sorgo G.	10,6 ^{ab}	1,34 ^b	9,25	12,66
Brach+Sorgo Granífero	10,27 ^a	1,01 ^a	9,25	9,93
DMS	0,60	0,23	0,65	2,42
Primavera				
Milheto	10,31	1,14	9,16	11,01
Sorgo Forrageiro	10,93	1,31	9,62	12,04
Crotalária	10,64	1,23	9,41	11,63
DMS	0,77	0,24	0,73	2,13
Camada de 20-40 cm				
Outono-Inverno				
Brachiaria	9,85 ^b	0,86 ^{ab}	8,98	8,81
Sorgo G.	9,71 ^{ab}	1,02 ^b	8,68	10,6
Brach+Sorgo Granífero	9,39 ^a	0,70 ^a	8,69	7,49
DMS	0,41	0,24	0,38	2,52
Primavera				
Milheto	9,88	0,77	9,11	7,79
Sorgo Forrageiro	9,42	0,88	8,54	9,35
Crotalária	9,66	0,94	8,71	9,76
DMS	0,46	0,16	0,48	1,85
Camada de 40-60 cm				
Outono-Inverno				
Brachiaria	11,35	1,01	10,27	8,94
Sorgo G.	10,71	0,87	9,84	8,09
Brach+Sorgo Granífero	11,00	1,17	9,83	10,61
DMS	0,56	0,41	0,57	3,38
Primavera				
Milheto	11,60	1,23	10,43	10,61
Sorgo Forrageiro	10,16	0,87	9,28	8,66
Crotalária	11,20	0,94	10,23	8,36
DMS	0,70	0,54	0,87	4,79

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os maiores teores de COT foram observados por meio do cultivo da brachiaria em sistema solteiro, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, não diferindo do sorgo granífero (Tabela 31). Resultado semelhante ocorrera quanto aos teores de COP nestas camadas, onde o sistema consorciado resultou em valores, aproximadamente, 25% inferiores em relação aos cultivos solteiros na camada de 10-20 cm e cerca de 30 e 20% menores em relação ao sorgo granífero e a brachiaria, respectivamente, na camada de 20-40 cm.

1.3.6.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Os valores das probabilidades de F na coleta após a safrá da soja de 2014/2015 no Latossolo são observados na tabela 32. Observa-se que somente na camada de 20-40 cm os cultivos resultaram em diferenças significativas.

Tabela 32. Probabilidade dos valores de f do Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação COP e COT no Latossolo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP	COM	COP/COT
Camada de 0-10 cm				
Outono/Inverno	0,10	0,35	0,32	0,48
Primavera	0,88	0,20	0,36	0,19
Outono/Inverno x Primavera	0,38	0,36	0,35	0,36
CV Outono/Inverno (%)	8,28	26,55	25,12	28,68
CV Primavera (%)	6,93	23,56	29,96	20,71
Média geral	15,34	1,57	14,54	10,35
Camada de 10-20 cm				
Outono/Inverno	0,88	0,68	0,93	0,8
Primavera	0,27	0,70	0,28	0,65
Outono/Inverno x Primavera	0,93	0,74	0,93	0,65
CV Outono/Inverno (%)	8,06	25,28	8,34	25,13
CV Primavera (%)	6,57	21,03	7,62	23,16
Média geral	10,78	0,83	9,94	7,75
Camada de 20-40 cm				
Outono/Inverno	0,01	0,06	0,13	0,22
Primavera	0,86	0,32	0,71	0,25
Outono/Inverno x Primavera	0,98	0,41	0,66	0,53
CV Outono/Inverno (%)	2,85	9,39	17,75	8,50
CV Primavera (%)	11,61	25,79	20,34	14,22
Média geral	9,77	0,57	9,45	5,89
Camada de 40-60 cm				
Outono/Inverno	0,47	0,19	0,48	0,24
Primavera	0,10	0,99	0,08	0,55
Outono/Inverno x Primavera	0,81	0,87	0,69	0,52
CV Outono/Inverno (%)	10,88	17,56	10,2	19,4
CV Primavera (%)	12,77	25,12	12,4	17,3
Média geral	10,75	0,57	10,1	5,31

Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Além de teores menores de C no fracionamento físico da MOS em relação aos obtidos no Nitossolo, outra característica peculiar do experimento em Latossolo é a redução dos teores de C na camada superficial mas que seguem uma determinada estabilização, ou seja, abaixo da camada de 10 cm , os teores tornam-se praticamente indiferentes entre si (Tabela 33). Houve uma redução em 33% no teor de COT entre as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm (15,34 e 10,78 mg C kg⁻¹), e uma diminuição em 47% nos teores de COP (de 1,57 para 0,83 mg C kg⁻¹).

Tabela 33. Carbono orgânico total (COT), Carbono orgânico particulado (COP), Carbono orgânico associado aos minerais (COM) e relação entre COP e COT no Latossolo após a safra da soja 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Culturas	COT	COP		COM	COP/COT (%)
		----- (g kg ⁻¹) -----			
Camada de 0-10 cm					
Outono-Inverno					
Brachiaria	16,03	1,76		16,5	11,05
Sorgo Granífero	14,75	1,56		13,2	10,75
Brach+Sorgo Granífero	15,33	1,39		13,9	9,11
DMS	1,26	0,57		5,1	3,97
Primavera					
Milheto	15,22	1,42		16	9,42
Sorgo Forrageiro	15,42	1,8		13,6	11,7
Crotalária	15,39	1,49		14	9,78
DMS	0,91	0,45		3,74	2,71
Camada de 10-20 cm					
Outono-Inverno					
Brachiaria	10,78	0,8		9,97	7,52
Sorgo Granífero	10,87	0,87		9,99	8,05
Brach+Sorgo Granífero	10,69	0,82		9,87	7,68
DMS	0,86	0,21		0,82	1,94
Primavera					
Milheto	10,8	0,8		9,99	7,46
Sorgo Forrageiro	11,01	0,84		10,17	7,66
Crotalária	10,53	0,86		9,67	8,13
DMS	0,6	0,15		0,65	1,54
Camada de 20-40 cm					
Outono-Inverno					
Brachiaria	10,17 ^b	0,58		10,37	5,8
Sorgo Granífero	9,77 ^b	0,6		9,17	6,11
Brach+Sorgo Granífero	9,35 ^a	0,53		8,82	5,74
DMS	0,27	0,05		1,67	0,5
Primavera					
Milheto	9,92	0,52		9,39	5,31
Sorgo Forrageiro	9,77	0,61		9,16	6,22
Crotalária	9,61	0,59		9,80	6,13
DMS	0,97	0,12		1,65	1,22
Camada de 40-60 cm					
Outono-Inverno					
Brachiaria	10,94	0,62		10,3	5,17
Sorgo Granífero	10,92	0,53		10,3	4,91
Brach+Sorgo Granífero	10,39	0,55		9,84	5,30
DMS	1,16	0,10		1,03	1,03
Primavera					
Milheto	11,29	0,57		10,7	5,07
Sorgo Forrageiro	10,04	0,57		9,46	5,68
Crotalária	10,93	0,56		10,3	5,17
DMS	1,17	0,17		1,08	1,24

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Observando os dados entre as coletas de 2013 e 2015 (Tabela 31 e 33, respectivamente), apesar de não ser objetivo de estudo, verifica-se que os teores médios de COT aumentaram cerca de 11%, porém, os teores de COP aumentaram cerca de 30%.

Entre as rotações, novamente foi observado efeito na camada de 20-40 cm quanto aos teores do COT, porém, não se confirmou tal influencia na camada de 10-20 cm como ocorrera na determinação anterior. De qualquer forma, o cultivo consorciado entre a brachiaria e sorgo forrageiro novamente limitaram os teores de COT, diferindo destas culturas em sistemas solteiros (Tabela 32). Entretanto, em relação aos teores de COP os valores tiveram um comportamento semelhante embora não significativos.

As relações entre C_{BMS}/COT e entre N_{BMS}/NT referentes às coletas de solo da primavera de 2013 e de verão de 2015 no Latossolo estão apresentadas na Tabela 34. Diferentemente ao que ocorrera no Nitossolo, os cultivos influenciaram ao menos a relação N_{BMS}/NT na safra de 2013, onde o cultivo do sorgo forrageiro foi responsável pela menor relação, distinguindo-se tanto da crotalaria como do milho.

Tabela 34. Relações e probabilidade dos valores de F entre Carbono da biomassa microbiana (C_{BMS}) e Carbono orgânico total (COT), Nitrogênio da biomassa microbiana (N_{BMS}) e Nitrogenio total (NT) referentes às coletas de solo da primavera de 2013 e após a colheita da soja de 2014/2015 no Latossolo (Botucatu, 2017).

Culturas	C_{BMS}/COT	N_{BMS}/NT	C_{BMS}/COT	N_{BMS}/NT
			(%)	
	Coleta de Primavera 2013		Coleta após colheita da soja de 2014/2015	
Outono-Inverno				
Brachiaria	1,26	1,12	1,15	1,68
Sorgo Granífero	1,19	1,12	1,07	1,76
Brach+Sorgo Granífero	1,42	1,19	1,3	2,27
DMS	0,75	0,6	0,62	0,58
Primavera				
Milheto	1,22	1,23 ^b	1,17	1,8
Sorgo Forrageiro	1,27	0,88 ^a	1,12	1,84
Crotalária	1,38	1,32 ^b	1,23	2,08
DMS	0,43	0,31	0,34	0,56
Probabilidade de F				
Outono/Inverno	0,74	0,94	0,67	0,09
Primavera	0,74	0,02	0,82	0,54
Out-Inverno x Prim	0,59	0,18	0,36	0,77
CV Outono/Inverno (%)	37,96	32,41	33,33	30,96
CV Primavera (%)	29,39	21,82	33,80	24,63
Média geral	1,29	1,14	0,62	1,90

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

1.3.7 Fracionamento químico da MOS

1.3.7.1 No Nitossolo

Não houve interação entre os cultivos de primavera e outono-inverno para os resultados de teores de C nas substâncias húmicas. Entretanto, os teores de C nas frações das substâncias húmicas foram modificadas pelas culturas dentro de cada

safrá. Embora não distintos ($p < 0,05$), é possível perceber uma tendência de menor teor nos tratamentos escarificação/pousio quanto aos teores de C nos ácidos fúlvicos e húmicos (Tabela 35). Já a fração húmina foi influenciada ($p < 0,05$) tanto por meio dos cultivos de outono-inverno, como pelos manejos de primavera. O girassol apresentou maior teor de C nessa fração ($8,16 \text{ mg C kg}^{-1}$) em relação ao triticale ($8,07 \text{ g C kg}^{-1}$) e entre as culturas de primavera a crotalária ($8,37 \text{ mg C kg}^{-1}$) seguida pelo sorgo forrageiro ($8,17 \text{ mg C kg}^{-1}$) foram as que apresentaram os maiores teores. Para as relações entre AF e AH, bem como AH+AF/H não foram observados efeitos das rotações de culturas.

Tabela 35. Probabilidade de F e teores de Carbono das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e húmina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Nitossolo na coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Cultivo ⁽¹⁾	AF	AH	Húmina	AH/AF	AH+AF/H
Outono-Inverno					
Girassol	0,95	0,84	8,16 ^{*b}	0,89	0,22
Triticale	1,01	0,86	8,07 ^a	0,85	0,23
LSD	0,07	0,10	0,07	0,08	0,02
Primavera					
Milheto	1,01	0,86	7,93 ^a	0,86	0,23
Sorgo	1,01	0,86	8,17 ^b	0,86	0,23
Crotalária	0,97	0,88	8,37 ^b	0,91	0,22
Escarificação	0,95	0,80	7,98 ^a	0,84	0,22
LSD	0,05	0,07	0,29	0,06	0,01
probabilidade de F					
F Out/Inv	0,12	0,69	0,03	0,22	0,18
F Prim	0,10	0,12	0,02	0,16	0,10
F Out/Inv x Prim	0,79	0,18	0,92	0,41	0,32
CV Out/Inv	6,86	10,8	0,77	8,04	7,45
CV Prim	5,16	7,95	3,45	7,40	5,90
Média geral	0,98	0,85	8,11	0,87	0,22

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Na amostragem realizada em 2015, observa-se que os efeitos foram mais proeminentes. Os teores de C nos ácidos fúlvicos foram positivamente acentuados por meio do cultivo do milho e do sorgo forrageiro, diferindo da crotalária e escarificação com os menores valores (Tabela 36). Quanto ao ácido húmico, novamente o sorgo forrageiro destacou-se positivamente com os maiores teores,

diferindo da escarificação/pousio, enquanto que a crotalária e o milho obtiveram teores intermediários. Para essa variável os cultivos de outono-inverno também se diferenciaram, onde o triticales resultou em maiores teores de C-humina em relação ao girassol ($p < 0,05$).

Tabela 36. Probabilidade de F e teores de Carbono das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Nitossolo em coleta após a safra da soja 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Cultivo	AF	AH	H	AH/AF	AH+AF/H
Outono-Inverno					
Girassol	0,92	0,63 ^a	9,81	0,69 ^a	0,15
Triticales	0,89	0,68 ^b	10,12	0,76 ^b	0,16
LSD	0,04	0,04	0,92	0,09	0,02
Primavera					
Milho	0,97 ^b	0,66 ^{ab}	9,94 ^{ab}	0,67 ^a	0,16 ^b
Sorgo	0,92 ^b	0,73 ^b	9,94 ^{ab}	0,78 ^c	0,16 ^b
Crotalária	0,87 ^a	0,67 ^{ab}	10,50 ^b	0,77 ^{bc}	0,14 ^a
Escarificação	0,86 ^a	0,58 ^a	9,47 ^a	0,68 ^{ab}	0,15 ^{ab}
LSD	0,04	0,09	0,75	0,09	0,01
Probabilidade de F					
F Out/Inv	0,18	0,05	0,36	0,01	0,74
F Prim	<0,01	0,05	0,07	0,04	0,05
F Out/Inv x Prim	0,51	0,78	0,23	0,92	0,89
CV Out/Inv	4,52	6,62	8,24	5,52	11,97
CV Prim	5,10	13,97	7,19	11,98	9,81
Média geral	0,94	0,66	9,97	0,73	0,15

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Nessa coleta, resultados semelhantes foram obtidos para os teores de C-Humina em relação ao solo da coleta anterior. O cultivo da crotalária foi responsável pelo maior teor de C-Humina, 10,5 mg C kg⁻¹, enquanto que a escarificação/pousio resultou em menor teor (9,47 mg C kg⁻¹). O milho e o sorgo forrageiro proporcionaram valores intermediários. No entanto, o sorgo forrageiro resultou em aumento de 16% na relação AF/AH, porém, tanto o sorgo forrageiro como o milho foram responsáveis pelos maiores valores da relação AH+AF/H.

Entre as culturas de outono-inverno, o triticales destacou-se como o cultivo que propiciou o maior teor de C na relação AH/AF, cerca de 10% maior em relação ao girassol.

1.3.7.2 No Latossolo

Em relação às substâncias húmicas, no Latossolo, no geral, os valores foram menores em relação aos verificados no Nitossolo. As culturas de outono-inverno influenciaram tanto os teores de C-AF como os de C-AH, embora este efeito não tenha se estendido aos teores de C-Humina e nas relações entre as frações (Tabela 37). Entre as culturas de outono-inverno os menores teores do C-AF e C-AH foram observados por meio do sorgo granífero em sistema solteiro ($p < 0,05$), diferenciando-se do cultivo consorciado entre brachiaria e sorgo granífero assim como da brachiaria. Embora não significativos, tal comportamento de menores valores com cultivo solteiro do sorgo granífero repetiu-se para os teores de C-humina assim como as relações entre os AH e AF.

Tabela 37. Probabilidade de F e teores de Carbono nas frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (H) e suas relações na camada de 0-10 cm no Latossolo, em coleta de primavera de 2013 (Botucatu, 2017).

Cultivo ⁽¹⁾	AF	AH	Humina	AH/AF	AH+AF/H
Outono-Inverno					
Brachiaria	0,75 ^b	0,60 ^{ab}	8,18	0,79	0,16
Sorgo Granífero	0,71 ^a	0,56 ^a	7,91	0,79	0,16
Brachiaria+Sorgo	0,78 ^b	0,64 ^b	8,05	0,82	0,17
LSD	0,03	0,05	0,6	0,08	0,01
Primavera					
Milheto	0,71 ^a	0,56	7,96	0,79	0,16
Sorgo Forrageiro	0,77 ^b	0,64	8,10	0,82	0,17
Crotalária	0,76 ^b	0,59	8,08	0,78	0,17
LSD	0,03	0,06	0,45	0,08	0,01
Probabilidade de F					
Outono-Inverno	<0,01	0,03	0,58	0,65	0,07
Primavera	0,01	0,07	0,80	0,56	0,14
Out/Inv x Prim	0,68	0,61	0,56	0,39	0,57
CV Out/Inv	4,79	9,60	7,53	10,93	8,54
CV Prim	5,84	12,27	6,59	12,01	9,25
Média geral	0,75	0,60	8,05	0,80	0,17

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Em relação as influencias decorrentes dos cultivos de primavera, observa-se que o sorgo forrageiro seguido pela crotalária foram responsáveis pelos maiores teores de C-AF, diferindo do milho. Este comportamento também ocorreu para C-AH ($p=0,07$), porém, como foram indiferentes estatisticamente apenas referencia-se a um padrão de tendência.

1.3.8 Fluxo de CO₂ do solo

1.3.8.1 Safra da soja de 2013/2014

Os fluxos de CO₂ na safra de soja de 2013/2014, em ambos os solos, tiveram baixa amplitude até a 5ª determinação (Figura 3-A e 5-A), com médias de 0.4 e 0.6 g m² CO₂ h⁻¹ para o Nitossolo e Latossolo, respectivamente. Embora com baixa dispersão nestas avaliações iniciais, as rotações de culturas influenciaram o fluxo de CO₂. Percebe-se que as influencias foram reguladas pelas plantas de primavera, pois o comportamento foi semelhante independente do cultivo de outono-inverno e em ambos os solos. No Nitossolo, a escarificação foi responsável pelo menor fluxo até a 5ª determinação (Figura 3-A), com fluxo representando no mínimo 50% do fluxo verificado por meio da crotalária (até a 4ª determinação), que foi o tratamento que menos emitiu CO₂ depois da escarificação.

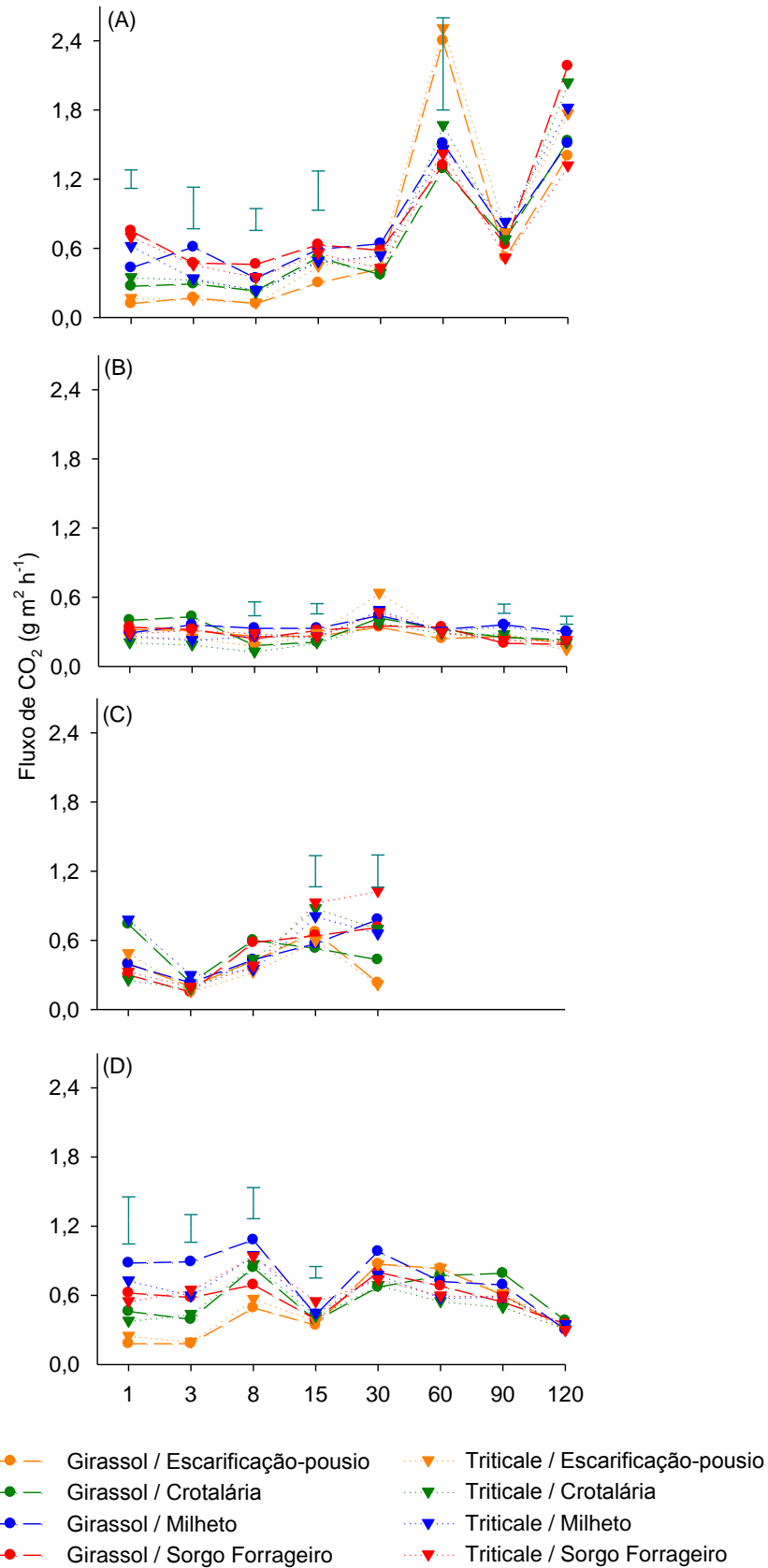


Figura 3. Fluxo de CO₂ do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A), de outono-inverno de 2014 (B), das culturas de primavera de 2014 (C) e da soja safra de 2014/2015 (D) no Nitossolo (Botucatu, 2017).

*Barras verticais correspondem ao DMS do teste t a 5% de probabilidade de erro.

Como salientado, até esta avaliação, no Latossolo o fluxo de CO₂ também seguiu um padrão influenciado pelos cultivos de primavera (Figura 5-A).

A crotalária foi o cultivo responsável pelo menor fluxo de CO₂ nestas determinações iniciais. É importante enfatizar também às baixas umidades do solo observadas nestas avaliações iniciais, aliada às altas temperaturas (Figura 4-A e B).

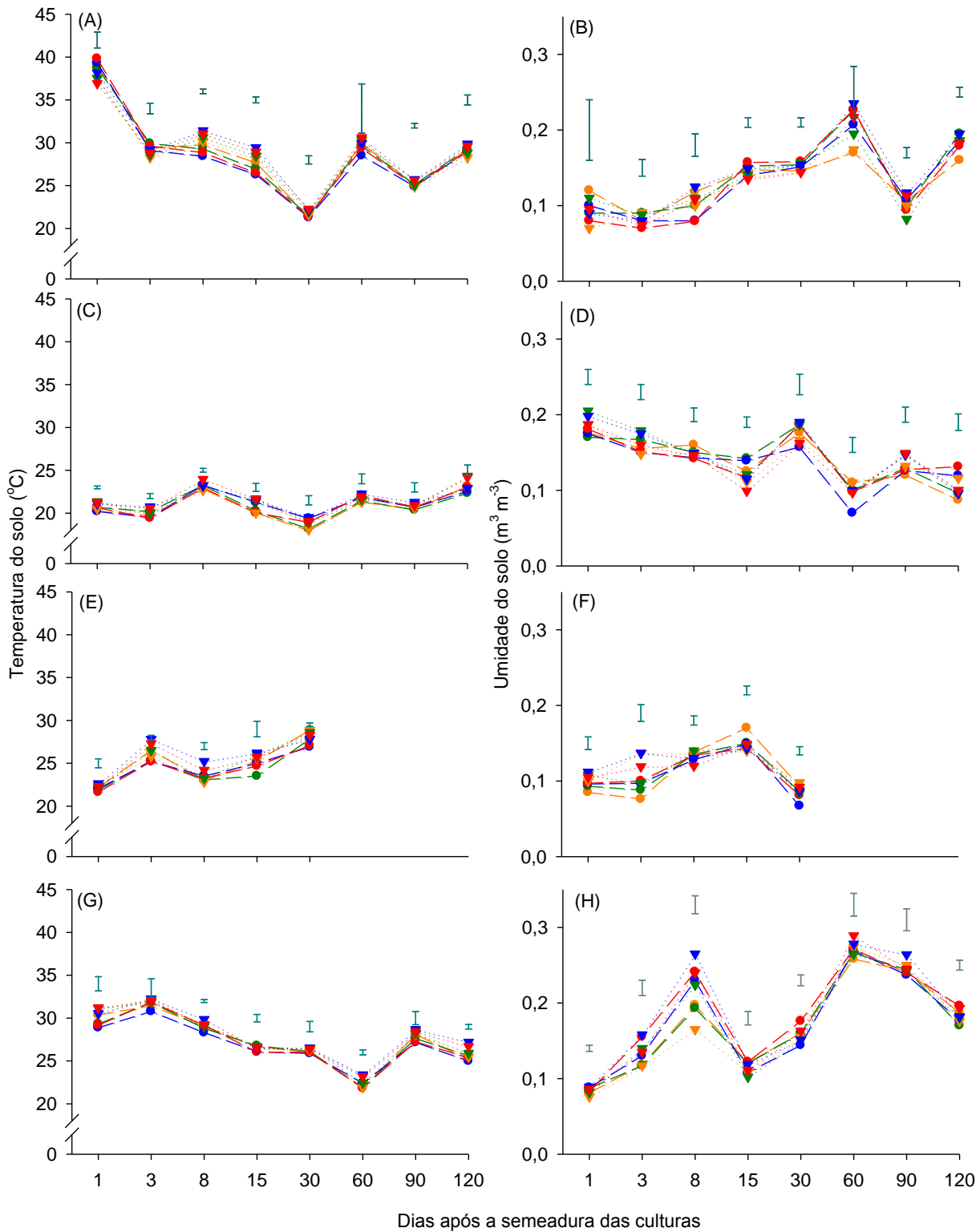


Figura 4. Temperatura (à esquerda) e umidade (à direita) do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A e B), de outono-inverno de 2014 (C e D), das culturas de primavera de 2014 (F e G) e da

soja safra de 2014/2015 (H e I) no Nitossolo (Botucatu, 2017). * Barras verticais correspondem ao erro padrão médio.

Aos 60 DAS observaram-se os picos máximos de emissão em ambos os experimentos, com médias cerca de 1,70 e 2,4 g m² h⁻¹ representando fluxo 425 e 475% superiores respectivamente para o Nitossolo e Latossolo em relação às médias obtidas desde as avaliações iniciais (fluxos médios). Surpreendentemente, no Nitossolo houve uma inversão no comportamento do fluxo, onde os maiores picos ($p < 0,05$) nesta avaliação (60 DAS) foram observados por meio da escarificação/pousio. Enquanto que os menores fluxos pelo cultivo de sorgo forrageiro, o qual até então detinha a característica de maior emissão de CO₂. Nas demais avaliações não foram observadas influências das rotações de culturas. No caso do Latossolo, além de não ter ocorrido este comportamento entre tratamentos, não houve diferenças entre as rotações nesta (60 DAS) e nas subsequentes avaliações.

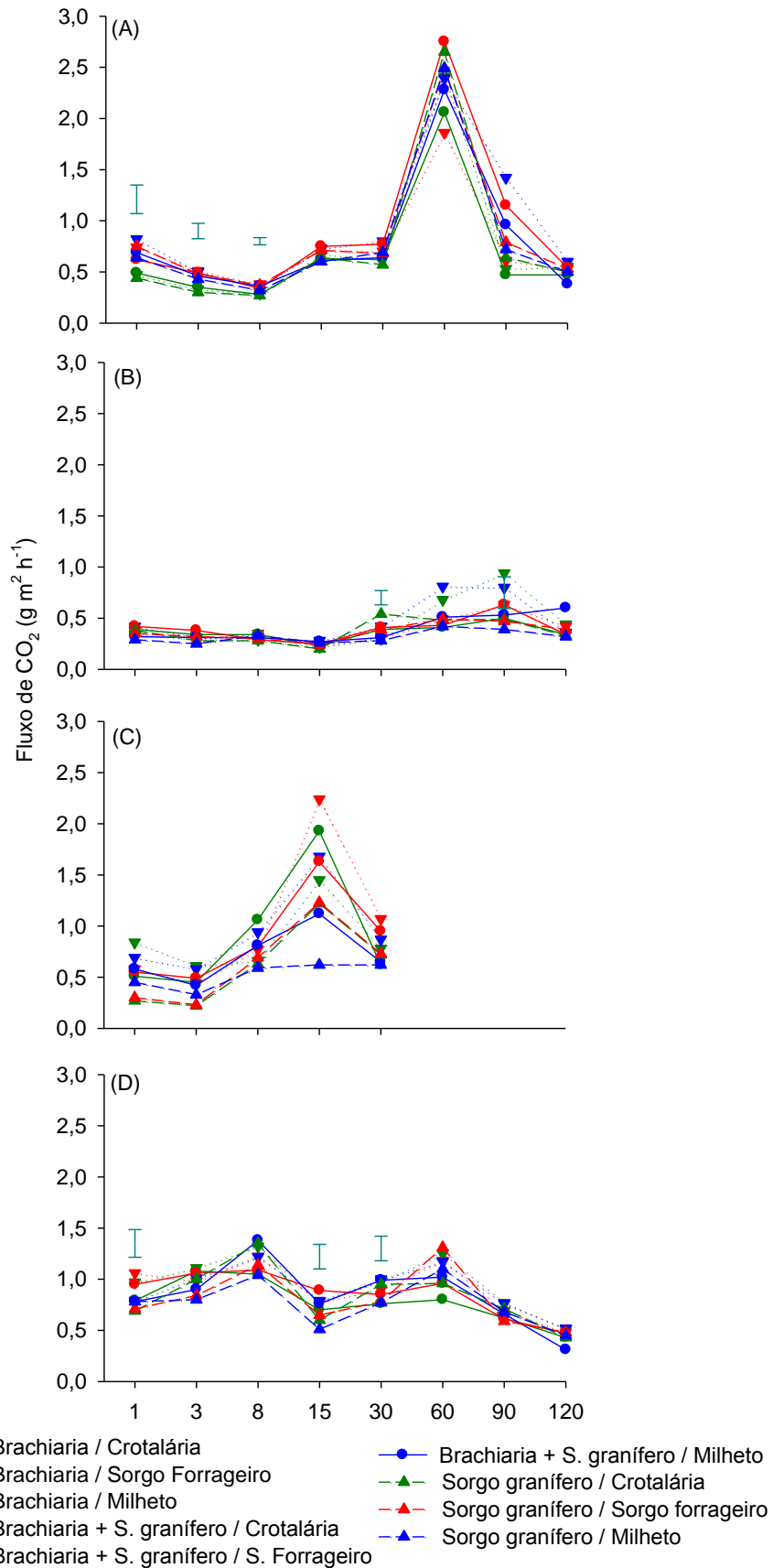


Figura 5. Fluxo de CO₂ do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A), de outono-inverno de 2014 (B), das culturas de primavera de 2014 (C) e da soja safra de 2014/2015 (D) no

Latossolo. * Barras verticais correspondem ao DMS do teste t a 5% de probabilidade de erro.

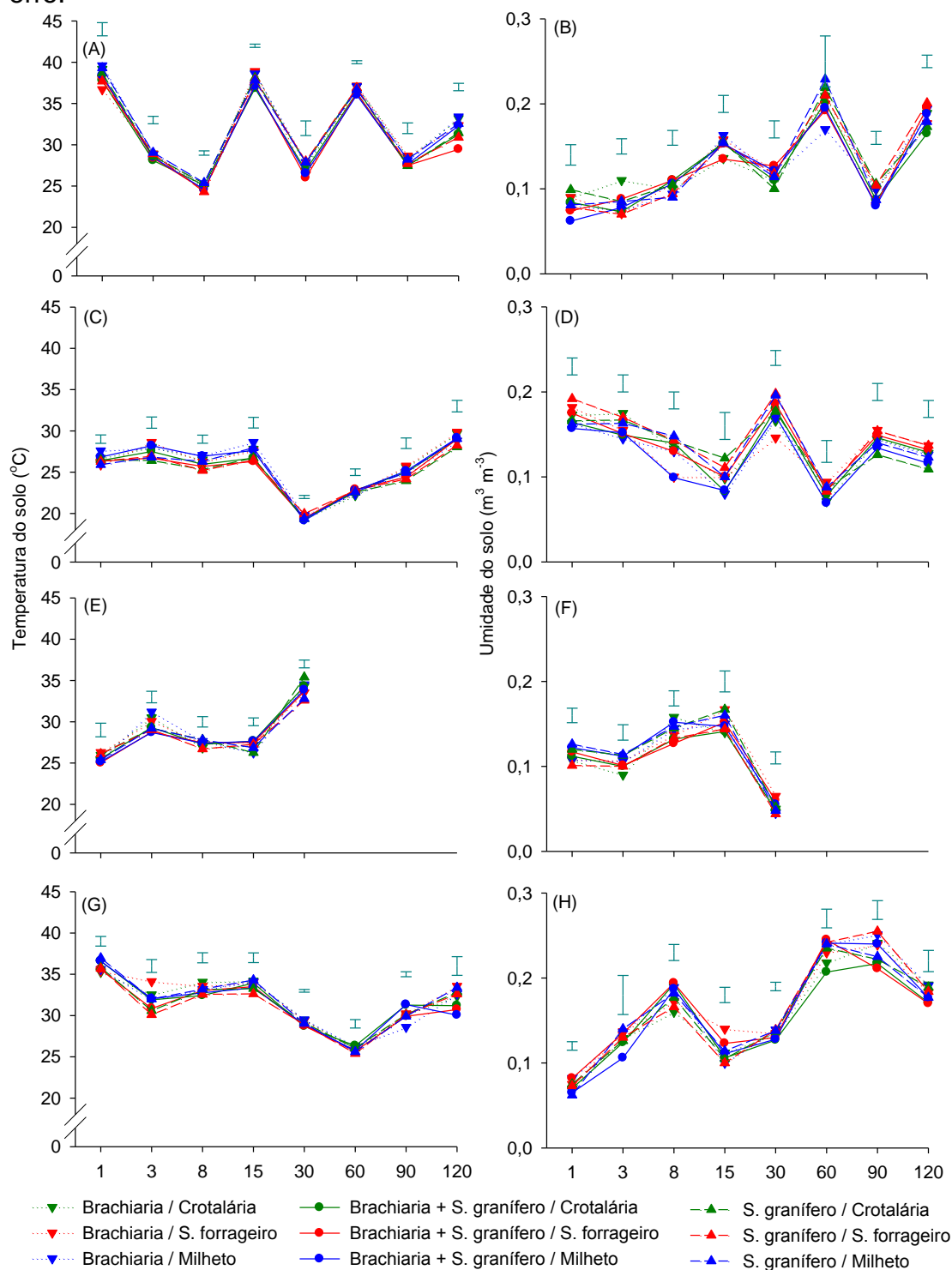


Figura 6. Temperatura (à esquerda) e umidade (à direita) do solo aos 1, 3, 8, 15, 30, 60, 90 e 120 dias após a semeadura (DAS) da soja safra de 2013/2014 (A e B), de outono-inverno de 2014 (C e D), das culturas de primavera de 2014 (F e G) e da soja safra de 2015/2015 (H e I) no Latossolo. * Barras verticais correspondem ao erro padrão médio.

Independente das indiferenças entre os cultivos nas avaliações finais, houve um intenso decréscimo do fluxo aos 90 DAS assim como ocorrera na temperatura e

umidade do solo. Ao passo que na determinação previa à colheita da soja o comportamento foi inverso com aumento expressivo do fluxo, umidade e temperatura do solo.

1.3.8.2 Safra de outono-inverno de 2014

As emissões de CO₂ nas duas primeiras determinações novamente foram mais intensas com o cultivo de girassol como cultura de outono-inverno, com médias de 0,33 e 0,35 g CO₂ m² h⁻¹ enquanto que no triticale as médias foram de 0,25 g CO₂ m² h⁻¹ em ambas as avaliações (Figura 3-B). Nestas avaliações, o fluxo da crotalária variou conforme estas culturas (outono-inverno), resultando no maior e menor fluxo de CO₂ quando a crotalária foi cultivada após o girassol e o triticale, respectivamente (Figura 3-B)

No entanto, somente foram observadas diferenças no fluxo de CO₂ entre os cultivos aos 8, 15, 90 e 120 DAS. Nestas avaliações, apesar do comportamento pouco disperso entre os tratamentos, é possível observar que o milho cultivado após o girassol foi responsável pelo maior fluxo, diferenciando-se da crotalária independente do cultivo de outono-inverno no 8º e 15º DAS. Para ambos os cultivos de outono-inverno, o milho também resultou no maior fluxo de CO₂, diferindo do sorgo forrageiro aos 90 DAS e das rotações girassol/sorgo forrageiro e triticale/escarificação aos 120 DAS.

Foram limitados os fluxos de CO₂ observados no Latossolo nas quatro primeiras determinações (Figura 5-C), podendo ser considerados baixos e poucos dispersos, compreendendo um padrão totalmente diferente em relação às demais avaliações. Neste período inicial (1,3,8 e 15 DAS) a temperatura do solo também teve comportamento semelhante, mantendo-se praticamente constante, enquanto que a umidade do solo foi decrescente.

Somente aos 30 DAS os cultivos influenciaram o fluxo de CO₂, destacando-se a rotação sorgo granífero ou brachiaria+sorgo granífero/milho com menor emissão, assim como a rotação sorgo granífero/milho aos 90 DAS. A umidade do solo foi a maior observada nesta safra aos 30 DAS, enquanto que a temperatura do solo foi a menor nesta época, sendo crescente até a última avaliação.

1.3.8.3 Safra de primavera de 2014

Somente foram observadas diferenças entre os cultivos aos 15 e 30 DAS no Nitossolo. As maiores emissões foram decorrentes do cultivo do triticale, independente do cultivo de primavera aos 15 DAS, exceto à escarificação/pousio. Resultado a ser ressaltado neste experimento foi que sob umidades praticamente iguais nas duas primeiras determinações, o aumento da temperatura próximo à 30° C pareceu ter reduzido o fluxo de CO₂ consideravelmente (Figura 6-C). No entanto, ao analisar especificamente as avaliações aos 3 e 30 DAS, observa-se que sob praticamente as mesmas umidades e temperaturas do solo, as emissões de CO₂ foram consideravelmente dispersas, efeito possivelmente dos estádios de cultivo. Nesta avaliação (30 DAS) houve fluxos desde muito baixos ($p < 0,05$), por meio da escarificação/pousio, independente do cultivo de outono-inverno, com fluxo de 0,2 g CO₂ m² h⁻¹, próximo aos menores fluxos entre todos as rotações nesta safra verificados aos 3 DAS (média 0,2 g CO₂ m² h⁻¹), não diferindo da crotalaria e da rotação triticale/milheto.

No Latossolo, embora não tenham sido observadas influências entre as rotações de culturas, alguns fluxos devem ser enfatizados. A emissão foi pouco superior em relação ao Nitossolo, principalmente aos 15 DAS, onde observou-se o pico máximo de emissão, enquanto que as duas primeiras determinações as emissões foram baixas e as médias similares às observadas no Nitossolo. É importante destacar nestas primeiras determinações que o comportamento dos fluxos de CO₂ seguiram o padrão das culturas antecedentes, ou seja, dos resíduos de outono-inverno. Neste caso, os menores e maiores fluxos foram observados por meio do sorgo granífero e da brachiaria, ambos em sistema solteiro, onde o consórcio entre ambas teve resultado intermediário. A partir destas avaliações, os resultados de emissões, apesar de dispersos entre as rotações, houve um padrão similar, no qual em nenhum momento o sorgo granífero foi responsável pelas maiores emissões.

1.3.8.4 Safra da soja de 2014/2015

De forma semelhante ao que ocorrera na safra anterior da soja, os fluxos de CO₂ seguiram o padrão das culturas antecessoras, ou seja, conforme a produção de resíduos culturais de primavera, portanto, independente dos cultivos de outono-inverno. Analisando primorosamente, foram observadas influências somente nas 4

primeiras determinações, o que corresponde aos 15 DAS. A escarificação/pousio, independente das culturas de outono-inverno, foi responsável pelos menores fluxos de CO₂ aos 1, 3, 8 e 15 DAS, com médias de 0,21; 0,19; 0,52 e 0,36 g CO₂ m² h⁻¹, respectivamente, representando cerca de 50% ao fluxo médio das demais rotações nestas determinações. A partir de então não foram observados efeitos das rotações assim como diferença entre cultivos.

No Latossolo ao analisar o comportamento do fluxo de CO₂ e a umidade do solo, pode-se observar que houve uma similaridade entre os comportamentos, inclusive entre os maiores e menores fluxos, havendo uma relação positiva entre os fatores. Entre os cultivos somente aos 1, 15 e 30 DAS observou-se diferenças, destacando-se a brachiaria em sistema solteiro na primeira avaliação e consorciada com o sorgo granífero aos 15 e 30 DAS.

1.3.9 Fluxo acumulado de C-CO₂, produtividade de grãos da soja e emissão relativa no Nitossolo

Analisando os fluxos acumulados entre as safras, principalmente da soja de 2013/2014 e de outono-inverno de 2014, é possível observar o fluxo contrastante entre ambas as safras, com praticamente mesmo período de ciclo. Na safra da soja o fluxo acumulado médio foi de 7,6 Mg C-CO₂ ha⁻¹, enquanto que no outono-inverno a emissão foi de apenas 2,38 Mg C-CO₂ ha⁻¹, representando 1/3 do fluxo da soja (Tabela 38). No caso das culturas de primavera, a emissão acumulada média também foi baixa, 1,05 Mg C-CO₂ ha⁻¹, porém deve-se levar em consideração o menor ciclo dessa safra, ou seja, um período que compreende apenas 25% das demais. No caso da soja de 2014/2015, no entanto, era esperado que os fluxos fossem semelhantes aos obtidos na safra 2013/2014, porém, o fluxo de C-CO₂ acumulado foi de 4,87 Mg C-CO₂ ha⁻¹, ou seja, cerca de 30% menor.

Tabela 38. Emissão acumulada de CO₂-C em cada safra e total, produtividades de grãos das safras da soja e emissões relativas das safras da soja e total no experimento do Nitossolo (Botucatu, 2017).

Safras**	Emissão acumulada de C-CO ₂ (t ha ⁻¹)					Prod (ha ⁻¹)		Yield-scaled (kg C-C-CO ₂ kg grãos ⁻¹)		
	i	ii	iii	iv	Total1	i	iv	i	Iv	Total2
Outono-Inverno										
Girassol	7,44	2,34	0,97	5,07	15,8	1,58	2,77	4,76	1,76	3,59
Triticale	7,82	2,43	1,13	4,66	16,0	1,82	2,89	4,45	1,82	3,57
LSD	2,21	0,17	0,26	1,73	1,28	0,31	0,67	1,71	0,87	0,68
Primavera										
Milheto	7,64	2,71 ^{*b}	1,1 ^b	5,10	16,5	1,49 ^a	3,20 ^c	5,28 ^c	1,62 ^a	3,56 ^a
Sorgo	7,04	2,28 ^{ab}	1,24 ^b	4,69	15,2	1,70 ^{ab}	2,91 ^b	4,14 ^{ab}	1,69 ^a	3,34 ^a
Crotalária	7,12	2,24 ^a	1,07 ^b	4,67	15,1	1,75 ^b	3,03 ^{bc}	3,92 ^a	1,57 ^a	3,14 ^a
Escarif	8,73	2,3 ^{ab}	0,79 ^a	5,01	16,8	1,86 ^b	2,18 ^a	5,07 ^{bc}	2,29 ^b	4,29 ^b
LSD	1,90	0,43	0,21	0,87	1,89	0,21	0,28	1,11	0,38	0,47
Probabilidade de F										
Out/Inv (A)	0,62	0,20	0,16	0,55	0,63	0,09	0,6	0,59	0,84	0,92
Prim (B)	0,25	0,10	<0,01	0,65	0,16	0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01
(A) x (B)	0,49	0,44	0,23	0,42	0,47	0,81	0,76	0,59	0,4	0,47
CV Out/Inv	25,8	6,37	22,5	21,6	7,16	16,44	21,25	32,98	33,26	17,03
CV Prim	23,7	17,18	19,73	17,13	11,32	12,27	9,47	23,01	20,35	12,48
Média	7,63	2,38	1,05	4,87	15,95	1,70	2,83	4,60	1,79	3,58

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. Safras** i; ii; iii e iv correspondem respectivamente às safras de soja de 2013/2014, das culturas de outono-inverno de 2014, de primavera de 2014 e da soja de 2014/2015. Total1 é a soma das emissões acumuladas de todas as safras. Total2 é a razão entre o total1 e a soma do rendimento de grãos da soja de ambas as safras.

Não foram observadas diferenças entre as plantas de outono-inverno para as emissões acumuladas de C-CO₂, assim como nas variáveis produtividade da soja e yield-scaled. No entanto, entre as plantas de primavera, observa-se que logo na safra de outono-inverno estas exerceram certa influência ($p < 0,1$) nos fluxos acumulados (Tabela 38), se destacando o milho com maior emissão e a crotalária com a menor emissão acumulada. Ainda assim, diferença significativa ($p < 0,05$) do fluxo acumulado somente foi observada na safra de primavera por meio dos cultivos,

onde o tratamento escarificação/pousio teve uma emissão menor em relação às demais espécies cultivadas, as quais não diferiram entre si.

Mesmo com a baixa produtividade da soja safra 2013/2014, os cultivos de primavera influenciaram o rendimento de grãos da soja, onde o milho foi responsável pela menor produtividade ($1,49 \text{ Mg ha}^{-1}$), diferindo da crotalária e da escarificação ($1,75$ e $1,86 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente), enquanto que o sorgo teve valores intermediários. Na safra de soja de 2014/2015 os rendimentos de grãos da soja observados apesar de ainda considerados baixos, foram melhores. Houve curiosamente certa inversão na performance dos cultivos. A maior produtividade desta safra (2014/2015) foi observada por meio do milho, mesmo que seguido pela crotalária e sorgo forrageiro, sendo que na safra anterior foi o responsável pela menor produtividade. Enquanto que a escarificação foi responsável pelo maior e menor produtividade da soja na safra de 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente.

A partir dos valores de emissão acumulada de ambas as safras de soja e o respectivo rendimento de grãos, é possível analisar a emissão relativa das rotações de culturas por meio do *yield-scaled*. Observa-se que os valores foram altos para a safra de 2013/2014, representando mais que o dobro observado na safra seguinte (Tabela 38). Na primeira safra o milho seguido da escarificação foram os tratamentos com maior emissão relativa ($p < 0,05$), cerca de $5 \text{ kg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de grãos de soja. Enquanto que a crotalária diferenciou-se de ambos, tendo o menor valor observado ($p < 0,05$), $3,9 \text{ kg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de grãos de soja. Na safra seguinte, observou-se que novamente a escarificação/pousio foi responsável pela maior emissão relativa de CO_2 ($p < 0,05$), representando no mínimo valor 26% superior em relação aos demais cultivos de primavera.

Em relação à emissão relativa total, que compreende a razão entre a soma das emissões acumuladas de todas as safras e a soma das produtividades das safras da soja. Observa-se que os valores foram altos, principalmente por meio da escarificação/pousio diferenciando-se das demais culturas, compreendendo no mínimo valor 20% superior em relação aos tratamentos envolvendo os cultivos de primavera, chegando a uma diferença de 36% quando comparada a crotalária.

1.3.10 Fluxo acumulado de C-CO₂, Produtividade da soja e emissão relativa no Latossolo

Apesar das maiores produtividades de grãos de soja no experimento em Latossolo em relação ao Nitossolo, os valores de emissão relativa foram semelhantes (Tabela 39).

Tabela 39. Emissão acumulada de CO₂-C em cada safra e total, produtividades de grãos das safras da soja e emissões relativas das safras da soja e total no experimento em Latossolo (Botucatu, 2017).

Safras**	Emissão acumulada C-CO ₂ (t ha ⁻¹)					Prod (t ha ⁻¹)		Yield-scaled (kg C-CO ₂ kg grãos ⁻¹)		
	i	ii	iii	iv	Total ¹	i	iv	i	iv	Total ²
Outono-Inverno										
Brac	8,43	4,2 ^b	2,2 ^b	7,32 ^b	22,1	2,03	3,86	4,2	1,89 ^b	3,77
Sorgo G.	8,60	3,1 ^a	1,41 ^a	6,33 ^{ab}	19,4	1,98	3,78	4,2	1,69 ^{ab}	3,42
Bra+S Gra	8,55	3,4 ^a	1,98 ^{ab}	5,99 ^a	19,9	2,09	3,74	4,49	1,59 ^a	3,41
DMS	4,48	0,68	0,59	1,00	2,9	0,23	0,11	1,52	0,24	0,54
Primavera										
Milheto	9,01	3,61	1,62	6,79	21,0	1,94	3,72	4,77	1,82 ^b	3,72 ^b
Sorgo F.	8,74	3,4	2,09	6,51	20,7	2,03	3,77	4,31	1,72 ^{ab}	3,57 ^{ab}
Crotal	7,82	3,65	1,9	6,34	19,7	2,01	3,88	3,82	1,60 ^a	3,30 ^a
DMS	2,34	0,89	0,61	0,66	1,6	0,25	0,13	0,91	0,11	0,30
Probabilidade de F										
F Out/In (A)	0,99	0,02	0,04	0,04	0,14	0,53	0,08	0,86	0,06	0,26
F Prim (B)	0,57	0,65	0,07	0,14	0,24	0,31	0,07	0,10	0,001	0,02
F (A) x (B)	0,5	0,16	0,3	0,12	0,01	0,39	0,53	0,15	0,01	0,01
CV Out/In	30,1	19,2	31,93	15,3	14,6	11,6	3,08	35,44	14,35	15,4
CV Prim	28,7	19,9	25,9	8,07	9,5	14,5	4,28	24,82	7,75	10,07
Média	8,53	3,55	1,87	6,55	20,5	2,03	3,79	4,30	1,72	3,53

*Médias seguidas por letras distintas diferem ao teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade de erro. **Safras i; ii; iii e iv correspondem respectivamente as safras de soja de 2013/2014, das culturas de outono-inverno de 2014, de primavera e da soja de 2014/2015. Total¹ é a soma das emissões acumuladas de todas as safras. Total² é a razão entre o total1 e a soma do rendimento de grãos da soja de ambas as safras.

Entre as rotações, observou-se que as culturas de outono-inverno influenciaram mais intensamente as emissões acumuladas, destacando-se a brachiaria em sistema solteiro, responsável pelos maiores fluxos totais nas safras de outono-inverno, primavera e da soja de 2014/2015. Enquanto que na safra da soja de 2013/2014 não foi observado efeito entre os cultivos (Tabela 39).

Este tratamento (brachiaria) também esteve próximo a ser considerada efetiva na maior emissão em relação ao rendimento de grãos na safra da soja de 2014/2015 ($p=0,08$). Aliás, somente na emissão relativa foram observados impactos dos cultivos de primavera, onde a crotalária foi responsável pela menor emissão na safra da soja de 2014/2015 e o milho com a maior emissão relativa, o que também observou-se na emissão acumulada relativa total, enquanto que o sorgo forrageiro teve uma emissão intermediária, não diferindo de ambas as culturas.

1.4 DISCUSSÃO

1.4.1 Resíduos culturais

1.4.1.1 Culturas de Primavera de 2013

A ausência de cultivo durante a primavera explica os resultados do baixo aporte e qualidade dos resíduos do tratamento denominado escarificação/pousio. Embora a possibilidade de cultivo de primavera seja de ciclo extremamente curto, cerca de 60 dias antes do cultivo comercial, é de extrema importância para a produção de quantidade e qualidade de palha no SSD. Mesmo assim, os resíduos observados são remanescentes das plantas de outono-inverno ainda não decompostos aliado a algumas plantas daninhas. Além destas diferenças, a persistência do resíduo como cobertura do solo é outro fator importante no SSD (Rigon et al. 2018). Tal comportamento está diretamente relacionado à relação entre C e N e a composição bioquímica das espécies (Butterly et al., 2013). De acordo com Cantarella (2007), a quantidade de N na matéria seca e a relação C:N se destacam dentre os fatores mais importantes para rápida disponibilização do N proveniente de resíduos vegetais.

O alto acúmulo de N pela crotalária, principalmente no Latossolo, representando inclusive o dobro acumulado no Nitossolo, foi decorrente do alto aporte de palha ($p<0.05$) aliado aos altos teores de N, bem como observado por

meio do cultivo do girassol (Nitossolo). Inclusive, a utilização desta cultura de outono-inverno propicia o aumento dos teores e acúmulo de N dos resíduos de milho e sorgo, assim como previamente já reportado em safras anteriores (Rigon, 2013). Além disso, os menores teores de celulose e hemicelulose por meio da crotalária e girassol em relação aos demais resíduos foi outra singularidade observada. Neste caso, pode-se inferir que ambas culturas resultam em uma pronta mineralização dos resíduos culturais e a consequente disponibilidade de nutrientes, especialmente o N aos cultivos subsequentes assim como verificado por Zhou et al. (2016). Conforme autores, a alta relação C N limita a disponibilidade imediata de N aos cultivos posteriores, como observado aos resíduos da escarificação/pousio (relação C N 72) pela necessidade de N dos microorganismos do solo ocasionando o processo de imobilização.

O alto acúmulo de N e produção de palha ($p < 0.05$), principalmente pela crotalária (110 kg N ha^{-1} e $4,19 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente) em um ciclo extremamente curto (cerca de 55 dias entre semeadura e dessecação das culturas de primavera) seu cultivo deveria ser considerado fundamental em região de clima com outono-inverno seco. Este aporte médio observado ($2 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) foi inclusive pouco superior a valores descrito na literatura pela espécie, onde em ciclos entre 60 a 90 dias o acumulado chega entre 150 a 165 kg N ha^{-1} (Rotar and Joy, 1983; Clark, 2007). Isto se deve ao fato de que dentre as leguminosas, a cultura da crotalária é considerada uma das que mais tem capacidade de fixação de N_2 (Chikowo et al., 2004). No entanto, a decomposição dos resíduos desta espécie é considerada rápida, com pico de mineralização ocorrendo cerca de 2 semanas após a deposição dos resíduos (Wang et al., 2007).

1.4.1.2 Cultura da soja safra 2013/2014

As diferenças observadas nos resíduos da soja foram provenientes da mineralização dos resíduos de espécies dos cultivos antecessores, de outono-inverno e primavera. Normalmente, resíduos com maiores teores de hemicelulose são mais prontamente mineralizáveis decrescendo a intensidade conforme o acréscimo das concentrações de celulose e principalmente de lignina, pois estes componentes são mais recalcitrantes e são decompostos por grupo restrito de microorganismos. Além disso, a decomposição mais lenta contribui significativamente para fração mais recalcitrante da MOS (Swift et al., 1979). Tais

concentrações, principalmente de lignina, inclusive podem estar mais associadas a taxas de decomposição dos resíduos culturais (Johnson et al., 2007). Em sistema de rotação de culturas com três cultivos anuais este processo constante impossibilita isolar os efeitos intrínsecos das plantas sob um mesmo resíduo, como no caso da cultura da soja em área total.

Apesar de comumente o cultivo consorciado propiciar benefícios para ambas as plantas, a redução nos teores de N do cultivo consorciado entre brachiaria e sorgo granífero no Latossolo podem ser explicados por uma possível competição, sendo agravada em decorrência da utilização de duas gramíneas, pois usualmente nos sistemas consorciados são utilizadas plantas com diferentes exigências tais como leguminosas e gramíneas. No entanto, há de se enfatizar que dificilmente uma espécie leguminosa teria a capacidade de produção de palha em região de Cerrado com ciclo longo (180 dias) com alta produção de palha e com persistência na superfície do solo como já relatado (Jantalia et al., 2007).

1.4.1.3 Culturas de outono-inverno de 2014

A distinção entre a qualidade dos resíduos do girassol e tritcale no inverno significa que o comportamento de mineralização dos resíduos, assim como a persistência destes na superfície é definitivamente distinta, tendo o girassol uma cobertura do solo visivelmente menor em relação ao tritcale. Em região de outono-inverno com limitação hídrica definida, pode-se atribuir que a característica mais importante dos resíduos seria a cobertura do solo, em detrimento a disponibilidade de N, por exemplo. Tarefa que tem sido atribuída com dificuldade em regiões com estas características (Jantalia et al., 2007). Obviamente esta questão somente pode ser proposta pela subsequente safra de primavera ser responsável pelo alto aporte de N, como verificado. Além disso, é importante enfatiza que nestes sistemas o aporte anual foi de 12 Mg ha⁻¹, 25% superior ao montante de palha necessários anualmente em solos sob SSD para manutenção de C (Vieira 2007). Além disso, em solos oxídicos, em função da proteção e estabilidade química da ligação organomineral da MOS, este valor necessário pode ser menor (Souza et al. 2009).

Um fato instigante observado foi o menor teor de N da crotalária em relação ao sorgo, pois este tratamento foi responsável pelo maior aporte de N durante o seu cultivo (Tabela 2). Isto pode ser decorrente da baixa relação C N das palhas das leguminosas, soja e crotalária, que propiciaram mineralização acelerada dos

resíduos, que tende a ser facilitada devido à própria composição da parede celular (Palm et al., 2001). Enquanto que o milho e sorgo tiveram uma persistência pouco superior dos resíduos. No caso da escarificação/pousio este resultado já era esperado em função dos baixos teores de N anteriormente observados.

No Latossolo, os teores de N na *Brachiaria* podem ser considerados altos por se tratar de uma gramínea. Além disso, a cultura é reconhecida pela alta capacidade de produção de palha e tolerância ao déficit hídrico. Outra característica peculiar foi a comprovação da capacidade desta espécie em fixar N₂ (Boddey and Victoria, 1986), obtendo mais que 20% do N proveniente unicamente da FBN (Reis et al., 2001).

1.4.1.4 Culturas de Primavera de 2014

O teor de lignina na crotalária de 5,5% está de acordo com o observado normalmente na literatura, entre 4,6 e 8,1% (Millar and Baggs, 2004; Baijukya et al. 2006). A variação observada normalmente nos cultivos agrícolas para os teores de lignina é de 1 à 15% em massa de matéria seca (Fukushima e Hatfield, 2004), compreendendo nesta variabilidade também os estádios de desenvolvimento, que normalmente é incrementada conforme aumento da idade da cultura (Iwaasa et al., 1996; Arai-Sanoh et al., 2011).

Os teores de lignina da crotalária devem ser levados em consideração aliado ao alto aporte de N. Além disso, normalmente os teores de lignina são mais pronunciados nas gramíneas do que propriamente nas leguminosas (Kramer et al., 2012). A partir disto, estes resíduos podem ser caracterizados de alta qualidade. Tal inferência deve-se a teorias clássicas de formação do húmus que consideram a modificação e condensação da lignina sendo um primeiro caminho para a estabilização do C no solo (Stevenson, 1994). O índice de qualidade de resíduos vegetais desenvolvido leva em consideração a relação C N e os teores de lignina e polifenóis (Tian et al., 1995). Inclusive, há tempo se suspeita que a lignina é uma fonte importante de carbono estável nos solos, devido a sua estrutura polifenólica recalcitrante em relação a outras famílias de moléculas de plantas (Rasse et al., 2006).

O acúmulo similar dentre os experimentos por meio da crotalária é outra questão a ser abordada, pois a capacidade das leguminosas em fixar N₂ atmosférico depende da atividade microbiana do solo e as interações com o ambiente edáfico, muitas das quais são influenciadas pelo manejo do solo (Giller, 2001). Assim, não se

pode presumir que as leguminosas fixarão sempre quantidades significativas de N (Peoples et al., 2009). Desta forma, pode-se inferir que as condições edafoclimáticas eram mais favoráveis nesta safra (2014) ao acúmulo de N em decorrência da precipitação usual da região quando comparadas as diferenças dos teores acumulados entre os experimentos na safra de 2013. Tal resultado pode ter sido decorrente do período prolongado de estiagem (Seth et al., 2015).

Quanto ao maior acúmulo de N por meio da brachiaria no Latossolo na primavera, (já verificado na safra anterior), isso pode ser explicado pelos resíduos do seu próprio cultivo que ainda não haviam sido totalmente mineralizados, devido ao ciclo extremamente curto da primavera.

1.4.1.5 Cultura da soja safra 2014/2015

Como anteriormente mencionado, uma explicação possível dos teores inversos da crotalária, assim como da Brachiaria no caso do Latossolo após a colheita da soja foram decorrentes à baixa relação C/N e alto teor de N dos tecidos, que possivelmente ocasionaram uma pronta mineralização. Para esclarecer tal efeito um tratamento unicamente sem resíduos seria necessário. Além disso, é importante enfatizar que o sistema radicular detém um papel fundamental na estabilização do C no solo, sendo inclusive maior que a massa de resíduos de parte aérea (Mazzilli et al., 2015). Outra questão que ajuda a explicar os efeitos distintos entre os solos é que as propriedades do solo, tais como a textura e teor de Matéria Orgânica também tem uma grande influência na mineralização e decomposição dos resíduos (Van Bergen et al., 1998; Paul et al., 2001).

1.4.2 C e N da Biomassa Microbiana

1.4.2.1 Coleta de solo da safra de primavera de 2013

Era presumível que na coleta de solo realizada aos 30 dias após a semeadura das plantas de primavera que no tratamento sem o cultivo de plantas de primavera (escarificação/pousio) os valores C_{BMS} e N_{BMS} fossem reduzidos. Porém os resíduos unicamente oriundos das plantas de outono-inverno ainda serviam de substrato aos microrganismos do solo e a biomassa menor talvez seja decorrente do ajuste frente à limitação inerente de substrato, além de possivelmente do processo de imobilização de N, devido ao menor conteúdo de N (Tejada et al., 2008).

Possivelmente se a coleta tivesse ocorrida no final do ciclo de primavera supostamente diferenças significativas seriam observadas. Mesmo assim, analisando o C_{BMS} deste tratamento (escarificação/pousio) em relação a quaisquer rotações e safras no Latossolo, pode-se inferir que tais efeitos foram resultantes das condições edáficas de cada solo. Em solos de Cerrado já foi observado que a textura do solo (desde arenosa à muito argilosa) influencia a atividade microbiana assim como a mineralização e a decomposição dos resíduos na superfície do solo (Bittar et al., 2013).

É importante destacar que as rotações de culturas exerceram mais influência nos teores de C_{BMS} e N_{BMS} do que propriamente as épocas de amostragens, mesmo com as condições climáticas entre as amostragens amplamente distintas. A partir disto, pode-se afirmar que a atividade microbiana na superfície do solo é dependente das rotações de culturas no SSD, onde as culturas de cobertura afetam a atividade, biomassa e composição da comunidade microbiana (White and Weil 2010; Liu et al., 2014), variando conforme a espécie (Lorenzo et al., 2013; Xavier et al., 2013).

A média geral da relação C_{BMS}/COT de 1,61% pode ser considerada recorrente aos valores observados na literatura, o que pode referir-se a alta eficiência dos microorganismos em imobilizar C em sua biomassa (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008). Enquanto em anos anteriores os valores observados neste experimento foram em média 1,37% (Raphael, 2015).

1.4.2.2 Coleta de solo da safra de outono-inverno de 2014

A safra da soja de 2013/2014 foi marcada pela significativa deficiência hídrica que culminou na baixa produção de grãos assim como de palha. Neste caso, os efeitos observados podem ser decorrente das plantas dos cultivos anteriores, como as de primavera de 2013. De forma similar, também foi observado que o C_{BMS} sob cultivo da crotalária ou sorgo foi superior ao pousio, havendo inclusive uma forte relação entre a concentração de N da palha e N_{BMS} (Wang and Klassen, 2007). No entanto, a qualidade do resíduo da crotalária teve influência significativa nos teores de N_{BMS} somente no Latossolo. Isto pode ser decorrente de que o cultivo anterior pode ter maior impacto na biomassa microbiana do que propriamente o sistema de rotação como um todo (Omay et al., 1997), além de consistir em uma determinação pontual e dependente das condições edafoclimáticas. Rotações de culturas alteram

a eficiência de absorção de nutrientes entre safras e promovem a diversidade microbiana (Anderson, 2003; Pereira et al., 2007). A importância de cultivos diversificados é tão grande que recente trabalho realizado em clima temperado, sugere que estes sistemas, mesmo que periodicamente utilizado o arado de aivecas, detém um maior conteúdo de biomassa microbiana, maior disponibilidade de N da MOS, e maior atividade microbiana em camadas mais profundas quando comparada a sistemas de rotações pouco diversificados (King e Hofmockel, 2017).

1.4.2.3 Coleta de solo da safra de Primavera de 2014

A sensível redução do C_{BMS} nesta determinação em ambos os experimentos dentre todas as determinações coincidiram com os efeitos verificados das baixas temperaturas da safra anterior (outono-inverno), pois ocorre menor atividade microbiana com o decréscimo da temperatura do solo (Bradford et al., 2008). Apesar da coleta ter sido realizada alguns dias após a semeadura das plantas de primavera, que promove uma certa mobilização do solo, mesmo que em pequena escala.ou seja, . Mesmo assim, as C_{BMS} em todas as determinações foram consideradas moderadas de acordo com as classes de biomassa microbiana atribuídas a vários solos de Cerrado (entre 206 e 405 mg C kg⁻¹, Lopes et al. 2013). Enquanto que ao Latossolo pode-se atribuir que os valores foram considerados baixos.

A maior N_{BMS} por meio do triticale não era um resultado esperado, pois como observado anteriormente, os resíduos desta cultura foram responsáveis pelos menores teores de N (Tabela 3). Talvez o conteúdo de lignina 37% inferior em relação ao girassol possa ter auxiliado no favorecimento do aumento da população microbiana. A lignina é reconhecida como material de alta recalcitrância bioquímica e é degradada por um grupo seletivo de microrganismos (Hofmann et al. 2009). O conteúdo de N dos resíduos é importante nos estágios iniciais de decomposição, enquanto que a lignina controla os efeitos posteriores como o seu acumulado nos resíduos remanescentes (Taylor et al. 1989). Além disso, a cobertura deficitária do solo por meio dos resíduos do girassol como anteriormente salientado, pode ter reduzido a atividade microbiana neste tratamento. Enquanto que a plena cobertura do solo por meio do triticale pode ter favorecido sua atividade, sendo incrementada durante o desenvolvimento das plantas de primavera. A presença de resíduos na superfície do solo, assim como o volume de raízes estimulam a atividade microbiana

e conseqüentemente o aumento da população microbiana (Souza et al., 2010; Tavares et al. 2015).

1.4.2.4 Coleta de solo da safra de soja de 2014/2015

Como esperado, após a colheita da soja os resíduos não resultaram em diferenças nas biomassa microbiana entre os tratamentos em ambos os experimentos, pois os resíduos basicamente eram da mesma cultura, mesmo com a tendência de superioridade da crotalaria em relação a escarificação/pousio ($p=0,06$). Impactos benéficos de resíduos de leguminosas tem sido documentado (Millar and Baggs, 2005; Gomes et al., 2009) e são atribuídos à qualidade dos resíduos tais como o conteúdo de N e de lignina (Baggs et al., 2001). De qualquer forma é muito difícil estabelecer os efeitos pontuais em sistemas de rotação de culturas (Franchini et al., 2007). Rotações de culturas com diferentes relações C N afetam quantitativamente e qualitativamente os processos de imobilização e mineralização, ocultando muitas vezes a biomassa microbiana (Silva et al., 2010). Em alguns casos, a redução da disponibilidade de N no solo pode até resultar em deficiência de N para culturas subseqüentes em sistemas não estabilizados (Nicolardot et al., 2001), o que parece ter ocorrido no caso da escarificação/pousio. As diferenças no C_{BMS} no geral foram maiores, principalmente no experimento no Nitossolo aos valores geralmente observados em áreas temperadas, enfatizando que o dinamismo microbiano pode ser mais rápido em regiões tropicais, como já reportado (Kaschuk et al., 2010)

1.4.3 Estoques de C e N no Nitossolo

1.4.3.1 Iniciais (Safra de primavera de 2013/2014)

A ausência de cultivo e conseqüentemente baixo aporte de resíduos na primavera como observado na escarificação/pousio restringiu moderadamente os estoques tanto de C como de N na superfície do solo. É importante enfatizar que este resultado pode estar atrelado também à escarificação realizada em 2011, pois tal processo pode ser considerado latente (Abreu et al., 2004). De acordo com Calonego e Rosolem (2010) os efeitos da escarificação sobre as propriedades físicas do solo não persistem por mais de três anos. Impactos transitórios semelhantes da escarificação do solo sob semeadura direta, na região subtropical

úmida do Brasil, também foi mencionado por Da Rosa et al. (2008) e Silveira Junior et al. (2012) e, segundo os autores, está relacionado à ausência de cobertura adequada do solo. Já foi evidenciado que no pousio há uma tendência de maior oxidação da matéria orgânica e um significativo decréscimo do conteúdo de C do solo (Paradelo et al., 2016). Tal associação pode ser ainda mais interessante no caso do presente experimento, por se tratar de período extremamente curto (apenas 60 dias), mas como comprovado anteriormente a importância desta safra com cultivos devido ao alto aporte de N dos resíduos. Os aumentos nos estoques de C e N do solo são muito decorrentes do aumento da atividade microbiana no solo, influenciadas por meio dos cultivos vegetais, principalmente sob utilização de leguminosas como fonte de energia e nutrientes (Leithold et al., 2015).

Muito embora sejam necessários vários anos para o incremento de N por meio de plantas de cobertura (Li et al., 2012), a sensível superioridade da crotalária nos estoques de C e N não pode ser descartada. Apesar de resíduos no geral contribuírem para a manutenção e elevação dos estoques de C no solo (Campbell et al., 2000), a qualidade superior dos resíduos da crotalária influenciaram sensivelmente o incremento dos estoques em relação aos demais cultivos. Um dos efeitos também pode ser devido aos resíduos da crotalária favorecerem num primeiro momento o metabolismo microbiano devido à baixa relação C/N, e ao mesmo tempo também contribuem ao acúmulo de matéria orgânica mais recalcitrante (Gama-Rodrigues; Gama-Rodrigues, 2008; Stevenson, 1994), o que pode estar associado a menor oxidação da MOS. Em função da ausência da aplicação de fertilizantes nitrogenados desde a implantação do experimento, a variação dos estoques de C é devido ao aporte de resíduos vegetais dentre as sucessões de culturas e ao saldo de N por meio da fixação biológica das espécies leguminosas. Conforme Souza et al. (2009), o N proveniente da fixação simbiótica é mais eficiente em promover o acúmulo de C no solo do que via fertilizante, sendo inclusive importante fonte de N para a cultura subsequente (Weber & Mielniczuk, 2009). De acordo com Lovato et al. (2004) e ZANATTA et al. (2007), a utilização de fabáceas é mais eficiente em acumular C no solo quando comparado ao aporte via adubação nitrogenada. Isto se deve à rápida disponibilidade do N mineral, podendo até estimular a decomposição da MOS onde o conteúdo de N encontra-se em déficit. Na mesma área experimental foi observado que a MOS e suas frações foram maiores por meio das rotações de culturas devido ao alto aporte de N,

principalmente onde a crotalária era cultivada na primavera (Raphael et al., 2016). Tal propriedade reforça a necessidade de plantas de cobertura que tenham a característica de fixar N atmosférico, mas que acima de tudo possibilite um equilíbrio entre a cobertura de solo e disponibilidade de nutrientes (Rigon, 2013).

1.4.3.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

A similaridade nos estoques de C e N no solo entre coletas e tratamentos demonstra comportamento inerente das rotações de culturas ao longo do SSD. Em relação aos maiores valores na camada de 20-40 cm por meio da escarificação/pousio, poderia ser explicado pelo efeito da operação ocorrer até cerca de 25 cm de profundidade resultando em camada mais compacta e com maior teor de C. Tal processo pode criar abaixo da efetiva mobilização, uma região levemente mais densa decorrente das sucessivas operações desde a instalação do experimento. Aliado a isto, o alto teor de C (dados não mostrados) pode ser explicado por uma possível incorporação de resíduos durante o processo de escarificação. A partir disto poderia implicar no maior EC pois no cálculo são considerados ambos os fatores. No entanto, o que se tem observado nesta área experimental desde a implantação (2003) utilizando plantas de cobertura é que a qualidade do solo foi maior quando comparado à escarificação/pousio devido principalmente a MOS acumulada principalmente na camada superficial (Raphael et al., 2016). Inclusive, a melhor comprovação tem sido observada por meio do maior rendimento da soja devido as plantas de cobertura após 10 anos deste experimento, onde a escarificação ocasionalmente teve resultado superior (Calonego et al., 2017).

1.4.4 Estoques de C e N no Latossolo

1.4.4.1 Iniciais (Safrá de primavera de 2013/2014)

Os maiores estoques observados por meio da brachiária pode ser decorrente da ótima adaptação na região de Cerrado pela cultura, sendo utilizada como cobertura no período de pousio com eficiente acúmulo de C, devido ao sistema radicular abundante e volumoso além de contínua renovação (D'andrea et al., 2004). Além da alta produção de massa em época de déficit hídrico, aliada à característica de alta qualidade dos resíduos vegetais, como já descrito. De forma muito semelhante, em Latossolo Vermelho de Cerrado, verificou-se que além da ausência

de efeito na camada superficial, a brachiaria resultou no maior estoque de C nas camadas de 10-20 e 20-40 cm em relação ao sorgo granífero, inclusive com valores muito próximos aos observados neste experimento (Rossi et al., 2012), embora não houvesse o consórcio entre ambos os cultivos

Diferentemente do que usualmente tem-se verificado, o consórcio entre a brachiaria e sorgo granífero resultou nos menores estoques de C. Uma possibilidade pode ser decorrente da competição entre ambas as gramíneas, que sensivelmente limitou o desenvolvimento das espécies. Tal processo pode ter ocorrido pela alta densidade da braquiária, impedindo o desenvolvimento pleno do sorgo. De qualquer forma, a utilização de braquiárias em sistema de integração lavoura-pecuária, seja em consórcio ou sucessão com culturas anuais, minimiza a degradação do solo e resulta no aumento do estoque de C (Kluthcouski et al. 2006).

Em função do estoque de C estar relacionado à disponibilidade de N no sistema solo planta (Souza et al., 2009), isso ajuda a explicar o maior estoque de N observado por meio do cultivo da brachiaria solteira, pois a possível competição entre as espécies no consórcio limitou o sequestro de C em profundidade nesse tratamento. É notória a maior influência do SSD em camadas superficiais do solo, sendo muitas vezes desconsiderado os efeitos em profundidade entre cultivos (Pinheiro et al., 2010; Galdos et al., 2009). Embora, alguns autores tenham reportado o incremento de C abaixo da camada arável (Boddey et al. 2010), e que a amostragem no perfil do solo deveria ser ampliada para avaliar novas taxas de sequestro de C (Nicoloso, 2008).

1.4.4.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Em relação à indiferença entre os cultivos de primavera nos estoques no Latossolo pode ser devido a própria textura do solo. O conteúdo de argila no Nitossolo remete a uma maior proteção física (Six et al., 2004), e possivelmente mais humificada, o que explica juntamente aos maiores estoques observados naquele experimento, o que já foi reportado em anos anteriores (Rigon, 2013).

1.4.5 Fracionamento físico da MOS no Nitossolo

1.4.5.1 Iniciais (Safrá de primavera de 2013/2014)

Os teores de COT e COP podem ser considerados altos quando comparados aos teores observados em anos anteriores neste experimento, principalmente na

camada superficial (Raphael, 2015). A contínua deposição de resíduos culturais (média anual de 12 Mg ha⁻¹), pode ser o melhor indicativo que os teores de C possam ser acrescidos principalmente na superfície do solo. Entretanto, há a possibilidade de uma saturação de C no solo (Six et al., 2002), no qual possivelmente em anos subsequentes os objetivos sejam a manutenção e a estabilização da MOS.

Os maiores teores de COT e COP observados na superfície do solo são devidos ao aporte dos resíduos da parte aérea e de raízes dos cultivos, típicos do sistema de manejo conservacionista. A taxa de decomposição é uma especificidade dinâmica do processo de conversão dos resíduos acima e abaixo do solo em MOS (Johnson et al., 2007). A superioridade do COT por meio da crotalária podem ser explicados pela qualidade dos resíduos culturais (alto teor de N e lignina). Tal característica é explicada pelo fato que o balanço positivo de N em solos tropicais é essencial e considerado como pré-requisito para que ocorra o sequestro de C (Urquiarga et al., 2010; Boddey et al., 2010), o que pode ter influenciado nos teores de COT. Enquanto que a lignina está associada como um dos fatores que condicionam o processo de humificação e estabilização da MOS (Stevenson, 1994). Esta explicação também esclarece os maiores teores observados pelo sorgo forrageiro, pois este cultivo foi responsável por um dos maiores teores de lignina, os quais foram inferiores somente à crotalária. Esta superioridade por meio do sorgo forrageiro em relação ao milho também foi verificado em anos anteriores neste mesmo experimento (Raphael, 2015). De acordo com o autor, tal efeito foi decorrente da menor massa de matéria seca e possivelmente de raiz de milho. Enquanto que a diferença em relação ao tratamento escarificação/pousio pode ser explicada pela ausência de cultivo de primavera resultando em baixa quantidade de resíduos na superfície, como anteriormente descrito. Geralmente, em função da manutenção de cobertura do solo ocorre um desbalanceamento entre C e N, o que normalmente limita o sequestro de C na maioria dos agroecossistemas brasileiros. O cultivo da soja como única leguminosa pode corresponder a um balanço praticamente nulo, em função da grande exportação de grãos, aliado a baixa relação C/N dos resíduos.

Apesar dos efeitos observados no COP, os valores da relação COP/COT estiveram próximos da significância ($p=0,07$), e, portanto, não suficientes para alterar a labilidade da matéria orgânica. De qualquer forma os valores foram semelhantes

aos observados em anos anteriores neste experimento (Raphael, 2015), no qual também não foram estatisticamente significativos.

1.4.5.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

Os teores mais contrastantes de COT e COP na coleta de solo de 2013 foram entre crotalária e escarificação/pousio, assim como verificado na determinação final, embora não significativo estatisticamente. No entanto, não impede de utilizar as mesmas razões de tais comportamentos para esta determinação de 2015. Esses resultados se devem à qualidade do resíduo da crotalária e ao limitado aporte de resíduos culturais de primavera por meio da escarificação/pousio, como comentado anteriormente. Além disso, essa diferença também pode ser atribuída ao processo de escarificação como fator principal, pois pode reduzir os teores de COT e COP pela maior oxidação de substratos. O fato que corrobora com esta hipótese é que a escarificação procedeu após a primeira coleta (21/10/2013), enquanto que a coleta de 2015 ocorreu cerca de 18 meses após a escarificação, praticamente ausentando os efeitos do processo de escarificação. Em relação ao sorgo forrageiro, as diferenças numéricas entre as variáveis COT e COP em relação à crotalária foram maiores nesta coleta.

Alterações nos teores de COM, normalmente são observados em experimentos de longa duração, em função de aportes diferenciados de resíduos vegetais e quando se compara sistema de manejo com grande contraste (preparo convencional e semeadura direta). Desta forma, mudanças nesta fração não eram esperadas, ao menos até o momento. No entanto, tem-se atribuído que o aporte contínuo de material orgânico fresco possa aumentar a degradação da matéria orgânica estável do solo em decorrência do efeito "priming", ou seja, uma redução de C após o aporte de substrato (Fontaine et al., 2007). Tal comportamento foi observado em alguns trabalhos (Bell et al., 2003; Fontaine et al., 2007) e inclusive tem gerado algumas dúvidas quanto a real capacidade do SSD em sequestrar Carbono

Na coleta após a colheita da soja de 2015, a reduzida produção de palha devido à escassez hídrica pode ter refletido diretamente nos menores teores de COP nesta safra, devido ao aporte limitado de C e N por meio dos resíduos culturais, além da menor quantidade dos resíduos já esperados pela cultura da soja. Tal inferência foi proposta, pois não foram observadas outras diferenças nas demais variáveis.

1.4.6 Fracionamento físico da MOS no Latossolo

1.4.6.1 Iniciais (Safrá de primavera de 2013/2014)

A hipótese de que o sistema consorciado das culturas de outono-inverno tenha limitado o desenvolvimento pleno das espécies torna-se consistente a medida que são analisados os valores de COP deste tratamento frente aos sistemas solteiros. A fração particulada da MOS é a que garante o fluxo de C para o solo a curto prazo e a manutenção da atividade biológica. Caso a demanda necessária para suprir as necessidades seja inferior, ocorre a redução dos estoques de C de outros compartimentos por meio de processos de oxidação da MOS estável, causando a perda da qualidade do solo (Causarano et al., 2008). Esta explicação corrobora ao fato de que este tratamento consorciado de outono-inverno foi responsável pelos menores estoques de C nestas camadas nesta mesma coleta (Tabela 17). Inclusive esta fração tem sido utilizada para avaliar alterações no balanço de C e N no solo (Conceição et al., 2005; Figueiredo et al., 2010), sendo a mais sensível às práticas de manejo do solo, pois altera-se conforme as variações no aporte de material vegetal (Bayer et al. 2002). Portanto, pode-se inferir com base nestes estudos que, sob sistemas de manejo em semeadura direta, ao aportar resíduos ao solo, a quantidade e qualidade dos resíduos culturais alterarão a labilidade da MOS bem como a sua suscetibilidade à redução do sequestro de C do solo.

Enquanto que ao C associado aos minerais (COM) não foram observados efeitos dos sistemas de manejo em qualquer avaliação, inclusive entre solos. Isto é devido à natureza dessa fração, pois constitui de interações com as argilas do solo, compreendendo a fração a mais estável da MOS, respondendo lentamente aos sistemas de manejo e rotações de culturas adotadas, especialmente nos solos argilosos e muito argilosos (Diekow et al., 2005; Figueiredo et al., 2010).

1.4.6.2 Finais (Safrá da soja de 2014/2015)

O padrão de distribuição indiferente em camadas mais profundas destaca a importância dos resíduos culturais na superfície que determinam uma camada de solo com alto conteúdo de C e atividade biológica. Porém, ao mesmo tempo pelas diferenças observadas nos teores de C entre camadas também pode demonstrar que estes efeitos não deveriam ser limitados à camada superficial. Talvez problemas

de impedimento físico possa estar limitando o desenvolvimento radicular em profundidade e conseqüentemente o aporte de C.

A redução do COP entre as coletas pode ser reflexo da escassez hídrica. Embora iniciada em meio à primeira coleta (2013) seus efeitos foram agravados até meados do ano seguinte. Nesta época, o desenvolvimento pleno das culturas e conseqüente as quantidades e qualidades dos resíduos foram inegavelmente prejudicados reduzindo os teores de COP que são considerados inclusive mais sensíveis pela sua labilidade no solo (Salton et al., 2011). Enquanto que o COT tem um menor dinamismo quando comparada a fração mais lábil (COP), ou seja, as influências do déficit climático não resultariam, a menos em curto prazo, em impactos visíveis, exceto em médio prazo pela redução do fluxo de C de manutenção (Causarano et al., 2008; Salton et al., 2011). Após a composição química, as condições climáticas exercem papel fundamental na decomposição dos resíduos (Aerts, 1997), tal condição única pode ter acelerado a decomposição pela oxidação dos compostos, limitando a atividade biológica no solo e processos de mineralização de resíduos.

O consórcio com braquiárias tem sido utilizado para aumentar a oferta de resíduos culturais e promover benefícios às culturas subsequentes (Crusciol et al., 2010). Embora, no plantio simultâneo pode ocorrer uma interferência interespecífica e reduzir o desenvolvimento, sendo esta interferência mais intensa quando se estabelecem culturas semelhantes fisiologicamente como esta entre gramíneas (Vidal, 2010). No caso do milho quando consorciado com brachiaria a indicação de semeadura defasada da planta de cobertura em 14 dias é uma alternativa para reduzir a competição entre as espécies (Ceccon et al., 2009; Jakelaitis et al., 2006). Tais resultados ajudam a explicar a razão dos menores teores de C no cultivo consorciado entre brachiaria e sorgo granífero. A partir disto, pode-se estabelecer que a redução da densidade de semeadura deveria ter sido utilizada para que consórcio entre as espécies seja satisfatório e reflita em maiores teores de C, inclusive em relação os cultivos solteiros. Embora haja muita pesquisa sobre sistemas consorciados, ainda persistem questionamentos em relação ao COT e ao fracionamento da matéria orgânica (Faccin et al., 2016).

1.4.7 Fracionamento químico da MOS

1.4.7.1 No Nitossolo

As frações húmicas têm sido usadas como indicadoras da qualidade do solo (Fontana et al., 2006). Desta forma, o menor teor de ácido fúlvico por meio da escarificação/pousio era de certa forma esperado, pois além do menor aporte de resíduos vegetais neste tratamento, o próprio processo de mobilização do solo (apesar de mínimo e realizado 2 anos antes) pode ser capaz de modificar esta fração. Isto se deve à menor estabilidade dessa fração e também por ser mais reativa no solo, sendo, portanto a mais sensível às mudanças de manejo do solo (Caetano et al., 2013). O manejo do solo de longa duração influencia a composição química e estrutura dos componentes da MOS (Bayer et al., 2002). Substâncias húmicas isoladas a partir de um manejo convencional tinham menor conteúdo de compostos húmicos de conformação alifáticas e maior aromática, enquanto que as substâncias húmicas extraídas de um sistema conservacionista, o resultado foi o inverso, tendo este maior conteúdo de substâncias alifáticas decrescentes de acordo com a profundidade do solo (Ding et al., 2002).

Apesar de somente ter sido observado uma tendência de diferença na primeira avaliação, provavelmente a deficiência hídrica ocorrida tenha restringido as amplitudes que foram observadas na determinação realizada após a soja de 2015, o que pode ter ocasionado uma certa equiparação entre os tratamentos. Esta inferência ocorre pois altas temperaturas sob distribuição normal hídrica são condições que favorecem a decomposição de resíduos culturais e a consequente formação de substâncias húmicas (Loss et al. 2010a; Souza et al. 2014).

A predominância da Humina em ambos os solos está de acordo com a literatura, pois trata-se de substância húmica com alta resistência à biodegradação, favorecido pela formação de complexos estáveis com a argila (Fontana et al., 2006). A partir disso, o comportamento semelhante nas duas determinações em que os menores teores da Humina ($p < 0,05$) foram oriundos do tratamento escarificação/pousio (7,98 e 9,47 g C kg⁻¹, respectivamente para a coleta de solo de 2013 e 2015), aliado aos maiores teores ($p < 0,05$) observados no cultivo da crotalária (8,37 e 10,5 g C kg⁻¹, respectivamente), representa um resultado muito importante e auxilia a confirmar a hipótese do trabalho. Maiores teores de humina indicam maior retenção de água, melhoria na agregação do solo (Benites et al., 2003) e maior

retenção de cátions (Souza & Melo, 2003). Os resultados do presente trabalho indicam que a quantidade e a qualidade dos resíduos culturais podem modificar o grau de humificação da MOS, o que pode refletir na sua qualidade. Tal inferência deve-se as características contrastantes entre a crotalaria e a escarificação, aliado as teorias clássicas de formação do húmus que consideram a condensação da lignina como um dos caminho para a estabilização do C no solo (Stevenson, 1994). A alta concentração de N e considerável de lignina na palha da crotalaria reduz a suscetibilidade à decomposição química dos resíduos (Espindola et al., 2006) e pode ao mesmo tempo suprir a demanda para estabilização da MOS. Além disso, estes resultados demonstram que o manejo pode também modificar a fração mais recalcitrante, o que não foi observado por Loss et al. (2010b). De qualquer forma, a lignina desempenha um papel essencial no ciclo de C do solo, uma vez que constitui um reservatório recalcitrante de C e afeta a mineralização de nutrientes e o sequestro de C (Frei, 2013). Inclusive, já foi demonstrado que a quantidade e a qualidade do resíduo vegetal de fabáceas são importantes nas frações de C do solo (Urquiarga et al., 2010).

Resíduos de milho adicionados a um solo onde cultivou-se trigo por cerca de 30 anos aumentou significativamente o conteúdo de substancias hidrofílicas das substancias húmicas. Os autores também sugerem que não somente a lignina mas também componentes como a hemicelulose dos resíduos do milho foram responsáveis pela formação das substancias húmicas, tendo preferencialmente a formação de ácidos húmicos praticamente o dobro que ácidos fúlvicos (Song et al., 2017).

Altos teores de COP podem estar associados a menor proporção da matéria orgânica humificada, decorrente do aporte de frações mais lábeis (Raphael, 2015). Isto ajuda a explicar os maiores teores de Humina por meio do girassol em relação ao tritcale. No entanto, a qualidade de resíduos pode suprir as características de alta labilidade com fornecimento de lignina que serviria como substrato no processo de estabilização da MOS. Esta fração (lignina) tem sido considerada como uma das mais importantes fonte de C estáveis no solo (Trigo e Ball, 1994).

O aumento da relação AH/AF tem sido relacionado ao processo mais intenso de humificação da MOS. Embora não muito divergentes, o girassol como planta de outono-inverno e o milho de primavera figuram com processos menos intensos. A baixa cobertura superficial do girassol em detrimento ao tritcale pode explicar esta

diferença. No caso do milheto, os menores estoques de C e N, o que também ocorreu no girassol, podem explicar um menor processo de humificação o que não necessariamente remete ao menor teor de humina.

A qualidade da matéria orgânica pode ser avaliada pela relação AH/AF (Rivero et al., 1997). Segundo os autores, o aumento dessa relação é indicativo de um aumento no C associado à fração húmica da matéria orgânica. Em trabalho analisando o tempo de adoção do SSD, observou-se que as relações AH/AF foram reduzidas conforme aumento do tempo de adoção do manejo conservacionista (Rosset et al., 2016). Padrão semelhante também foi descrito por Caetano et al., (2013) e Guareschi et al. (2013), evidenciando solos preservados com melhoria dos atributos químicos (Canellas et al., 2003).

1.4.7.2 No Latossolo

Embora alguns autores afirmam que em geral solos mais arenosos apresentam maiores relações AH/AF em decorrência da perda seletiva da fração mais solúvel AF (Canellas e Santos, 2005). Tal fato não explica os menores valores observados no Latossolo, pois acredita-se que apesar de textura mais arenosa, não seria capaz de resultar a lixiviação de compostos orgânicos no perfil do solo.

Enquanto que os menores teores de ácidos tanto fúlvicos como húmicos observados por meio do sorgo granífero podem ser decorrentes dos baixos teores de N aportados dos resíduos por este sistema, como já verificado, enquanto que a brachiaria isolada ou em consórcio compreende certo incremento de N no solo. Analisando grau de humificação por fluorescência induzida a laser neste experimento foi observado que a brachiaria em sistema solteiro teve os maiores valores (Raphael, 2015). De acordo com o autor foi decorrente ao maior aporte de palha da espécie além do sistema radicular de espessura fina com alta capacidade de exploração do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica lábil, o que aumenta a quantidade de C na fração não humificada (Segnini, 2007).

1.4.8 Fluxo de CO₂ do solo

1.4.8.1 Safra da soja de 2013/2014

Por tratar-se de experimentos com três rotações anuais, tem-se verificado que os períodos ideais de semeadura entre as safras tem-se tornado cada vez menores

desde 2011 em razão da intensa deficiência hídrica transcorrida em 2014. Em função disso, optou-se pela utilização de irrigação de cerca de 2 mm em ambos os experimentos após 20 DAS, pois haviam grandes possibilidades de perda da época de cultivo da soja em ambos os experimentos. Após 5 dias foi registrada a primeira precipitação pluviométrica desta safra, sendo perceptíveis os prejuízos no desenvolvimento da soja. Como mencionado anteriormente a precipitação pluviométrica média anual é aproximadamente 1400 mm, sendo que em 2013 foram registrados 359 mm ao longo da safra da soja, situando-se inclusive abaixo da necessidade da cultura entre 400 à 800 mm (Farias et al., 2009).

Os baixos fluxos de CO₂ verificados em ambos os experimentos nos estádios iniciais da soja safra 2013/2014 foram reflexos direto do déficit hídrico, considerado o pior na região nos últimos 80 anos (Marengo e Alves, 2015), aliado a alta temperatura típica da época. Juntamente com a umidade, a temperatura do solo são os fatores ambientais que mais influenciam o fluxo de CO₂ (Zhang et al., 2012). É comum a umidade do solo ser negativamente correlacionada com a temperatura do solo tornando-se difícil inclusive ser distinguido os efeitos entre estes fatores (Davidson et al., 1998).

Embora relativamente baixos fluxos nas determinações iniciais, as diferenças observadas são facilmente discrimináveis entre os cultivos de primavera, o que significa que a quantidade dos resíduos culturais antecessores exerceu influência diferenciada nos fluxos de CO₂. O limitado aporte de resíduos culturais da escarificação/pousio na primavera, assim como menor COP explicam os baixos fluxos de CO₂ ao menos nas avaliações iniciais, representando ao mínimo a metade em relação aos demais cultivos, além do menor C da biomassa microbiana na coleta de solo realizada antes da semeadura soja (Tabela 15). Vários trabalhos tem relatado que os resíduos culturais na superfície aumentam substancialmente as emissões de CO₂ (Mapanda et al. 2011). Isto se deve basicamente à disponibilidade de frações lábeis como ao COP oriundo dos substrato que conduzem a uma rápida decomposição pela população microbiana e atividade, denominado efeito “priming” (Kuzyakov, 2006; Cambardella e Elliott, 1992).

Além da influência da quantidade de resíduos culturais no fluxo de CO₂, a qualidade também pode explicar as emissões entre as espécies cultivadas. Este comportamento já foi verificado em anos anteriores onde resíduos culturais com alto conteúdo de N resultaram em alta mineralização e conseqüentemente emissões de

CO₂ mais elevadas (Rigon et al., 2018). No entanto, o comportamento de menor fluxo por meio da crotalária em ambos os experimentos pode ser um indicativo de que nem sempre a composição de N resulte numa maior emissão de CO₂. Talvez o intenso déficit hídrico, possa ter limitado drasticamente a atividade microbiana que era maior em anos anteriores (Raphael, 2015). Esta hipótese pode ser confirmada também pelos maiores estoques de C e N na coleta de solo realizada previamente a semeadura da soja verificados por meio do cultivo da crotalária (Tabelas 13 e 14 respectivamente).

Em relação aos picos verificados aos 60 DAS em ambos os solos são explicados pelo período de florescimento da soja ocorrem as maiores taxas de respiração radicular (Hatfield and Parkin, 2012; Morell et al., 2012) que combinada aos picos de umidade nesta determinação, assim como temperaturas em torno de 30 e 35 °C no Nitossolo e Latossolo resultaram nos maiores fluxos de CO₂ da safra. Picos de emissão de CO₂ na cultura da soja neste período também foram observados inclusive em clima temperado (Smith et al., 2014). É importante levar em consideração as condições de umidade do solo antes da reumidificação, bem como a extensão dos períodos de seca pois também influenciam o fluxo de CO₂ (Unger et al., 2010). Além disso, durante o ciclo da soja o fluxo de CO₂ foi positivamente correlacionado com a umidade do solo e negativamente com a temperatura do solo em ambos os experimentos em anos anteriores (Rigon et al., 2018).

Nesta avaliação (60 DAS) outro resultado interessante foi que a escarificação/pousio vinha sendo responsável pelos menores fluxos de CO₂ ($p < 0,05$) na 1,3,8,15,e 30 DAS, mas que foi responsável pelos maiores picos observados no Nitossolo entre todas as safras analisadas. Isto pode ser explicado e reforça as prévias inferências de que a umidade do solo coordenou o fluxo de CO₂ até aos 60 DAS. Isto é esclarecido ao analisarmos que a escarificação (25/10/2013) e a aplicação de calcário (28/10/2013) corresponderam a cerca de 20 dias até a semeadura da soja, que sob reduzida umidade do solo, praticamente não influenciaram as emissões de CO₂. Sob alta umidade aos 60 DAS, os efeitos da mobilização foram manifestados , aliado a reação do calcário. Nas demais avaliações desta safra (90 e 120 DAS) os padrões do fluxo de CO₂ acompanharam os comportamentos de umidade e temperatura em ambos os experimentos.

1.4.8.2 Safra de outono-inverno de 2014

O maior fluxo inicial do girassol em relação ao triticale pode ser explicado pelo maior teor de N acumulado pela cultura, ou seja, com o dobro de N e metade da relação C/N (Tabela 3). Um efeito adicional a ser verificado foi das características dos resíduos da soja sob o cultivo do girassol, assim como os próprios resíduos da cultura do girassol, pois foram responsáveis pelas menores concentrações de hemicelulose e celulose, o que remete a uma rápida mineralização inicial dos resíduos, seguida de altos teores de lignina. Tal característica pode resultar em pronta decomposição dos resíduos reduzindo seu volume e uma certa estabilização do restante dos resíduos, pois acaba concentrando os teores de lignina. Este comportamento fica evidente ao contrastar os fluxos da cultura da crotalária entre as culturas de outono-inverno, tendo a maior e menor emissão de CO₂.

De forma semelhante observa-se nos fluxos aos 90 e 120 DAS em ambos os experimentos, onde o milho independente do cultivo de outono-inverno no Nitossolo e sob a brachiaria em sistema solteiro no Latossolo foram responsáveis pelos maiores fluxos de CO₂, podendo esse resultado estar relacionado aos maiores teores de N destes resíduos como verificado. Altos teores de N dos resíduos tendem a serem mais facilmente mineralizáveis e conseqüentemente resultaram em maiores fluxos de CO₂ (Bremer et al., 1991). Correlações positivas entre os fluxos de CO₂ e o N acumulado nos resíduos também foram verificados nestes experimentos em anos anteriores (Rigon et al., 2018). De acordo com os autores, a umidade do solo e o conteúdo de N dos resíduos culturais das plantas de primavera estão dentre os principais condicionantes no fluxo de CO₂. Esperava-se que os fluxos no Nitossolo fossem maiores no final do ciclo, mas os decrescentes valores de umidade do solo no decorrer do ciclo parecem ter limitado estas emissões.

1.4.8.3 Safra de primavera de 2014

Os fluxos de CO₂ pareceram dispersos nas determinações iniciais principalmente no Nitossolo, não seguindo qualquer comportamento conforme as características dos resíduos culturais. No entanto, sob as espécies cultivadas após o triticale, aos 15 DAS verificaram-se as maiores emissões de CO₂. Pelos baixos teores de N e alta relação CN desta espécie (Tabela 3) era esperado que a influência dos resíduos com estas características fossem atrasados. Isto pode ser confirmado pelos altos teores de N observados pelas espécies de primavera, mas

principalmente pelo sorgo forrageiro, o qual foi responsável pelo maior pico aos 30 DAS (Tabela 3). O fluxo de CO₂ também é dependente das rotações de culturas utilizadas, as quais são influenciadas pela qualidade dos resíduos culturais na superfície do solo principalmente na presença de C prontamente mineralizável (Kögel-Knabner, 2002). No Latossolo, apesar de não haver diferenças nos fluxos de CO₂, há de se enfatizar que em qualquer época de análise nesta safra não foram verificados altos fluxos sob o cultivo do sorgo granífero em sistema solteiro no outono-inverno, inclusive sob o pico verificado aos 15 DAS, o que aliado ao pico de umidade (Figura 5-F) também confirma importância das características dos resíduos culturais no fluxo de CO₂, pois este tratamento foi responsável pelos menores teores e acúmulo de N, assim como alta relação C/N (Tabela 8).

1.4.8.4 Safra da soja de 2014/2015

As culturas antecessoras de primavera conduziram o comportamento do fluxo na safra da soja de 2014/2015, ao menos até a 4^a determinação (Figura 3-D) e de certa forma foram similares ao cultivo da soja na safra anterior. Este resultado é importante, pois foi onde houve diferenciações entre os fluxos durante a safra. Neste caso, o limitado aporte de resíduos pela escarificação/pousio influenciaram o fluxo neste tratamento em ambas as safras da soja. Isto pode ser confirmado ao analisar o N dos resíduos culturais, onde verifica-se que o fluxo de CO₂ relacionou-se diretamente com o acumulado nos resíduos culturais (Tabela 2), exceto para o caso da crotalária. Sob a mesma quantidade de palha que milho e sorgo forrageiro, este cultivo como mencionado anteriormente, foi responsável por acúmulo de N 25% superior em relação a estes cultivos. No entanto, os teores de lignina exercem papel fundamental no processo de mineralização dos resíduos e consequentemente fluxo de CO₂ (Chen et al., 2015), pois a composição bioquímica dos resíduos culturais é o fator chave que controla as taxas de decomposição (Kriauciuniene et al., 2012). Quando os resíduos culturais possuem altas concentrações de lignina, pode haver pouca mineralização de N, apesar de altas concentrações (Melillo et al., 1982; Muller et al., 1988). Neste caso, como observado na safra de primavera de 2014 (Tabela 4), os teores de lignina da crotalária representaram no mínimo o dobro do observado pelas demais espécies de primavera. Haynes (1986) acredita que ligninas e polifenóis reduzem as taxas de mineralização de N pois as ligninas degradam à compostos fenólicos e estes assim como já apresentam combinações com proteínas

dos vegetais e aminoácidos formam polímeros húmicos que resistem à decomposição. Isto confirmando os maiores teores estáveis dos ácidos húmicos (humina) sob este tratamento em ambos os anos no Nitossolo.

Um resultado a ser enfatizado foram os baixos fluxos de CO₂ por meio da escarificação/pousio após o processo de mobilização o solo. Porém, sob menores estoques de C e N, assim como frações particuladas, teores menores de MOS não resultam necessariamente em emissões constantemente altas, pois a quebra dos agregados e a exposição da MOS para oxidação ocorre até a exaustão das frações mais lábeis.

No Latossolo, não houve um comportamento de emissão que possa ser explicado pelas diferentes espécies de culturas de primavera como ocorrera nas emissões durante a safra de soja de 2013/2014. Mesmo assim, novamente o sorgo granífero como cultivo de outono-inverno foi responsável pelos menores fluxos de CO₂, o que pode ser atribuído ao maior contraste entre os resíduos dessa espécie em relação a brachiaria, enquanto que a magnitude das emissões foram comandadas pelos picos principalmente de umidade do solo. É importante destacar que em sistemas de rotações de culturas é difícil fazer a análise pontual de certo resíduo, como no caso da crotalária, pois no caso no Latossolo os resultados foram pouco distintos, assim como a sua composição bioquímica, que é significativamente dependente das condições edafoclimáticas também.

1.4.9 Fluxo acumulado, produtividade de grãos de soja e emissão relativa no Nitossolo

O fluxo acumulado torna-se uma ferramenta importante, pois remete a outra perspectiva de análise, a qual pode esclarecer que nem sempre cultivos com maiores fluxos realmente sejam menos eficientes na produção da soja. Neste caso, deve ser levada em consideração o rendimento de grãos da soja perante o montante emitido. Com isso verifica-se logo ao defrontar os fluxos acumulados da safra da soja de 2013/2014 e de outono-inverno de 2014 que sob mesmos períodos foram amplamente distintos. No entanto, o alto fluxo acumulado na safra da soja de 2013/2014 é reflexo direto do déficit hídrico inicialmente ocorrido durante o ciclo de primavera de 2013, mas que agravou-se na safra de verão (Marengo e Alves, 2015). Mesmo que a umidade do solo tenha sido correlacionada positivamente em anos

anteriores ao fluxo de CO₂ na safra da soja (Rigon et al., 2018), o déficit hídrico acumulado passou a ter maior impacto frente a umidade do solo. Tal aspecto propiciou em uma condição de constante oxidação de compostos na superfície, assim como da própria MOS pela conseqüente menor proteção física e possivelmente maior amplitude térmica diária, culminando numa maior emissão de CO₂ (Diekow et al., 2005). Isto pode ser confirmado pela escarificação/pousio, que com limitada quantidade de resíduos na superfície, teve a menor emissão acumulada na primavera de 2014 em relação às demais plantas. Embora este tratamento tenha sido dentre os de maior emissão na safra da soja 2013/2014 possivelmente devido ao processo da escarificação ser realizada poucos dias antes da semeadura da soja, o que pode encobrir os efeitos do pousio.

Em relação à produtividade da soja, o estresse por déficit hídrico na época foi significativo e visivelmente observou-se prejuízos ao desenvolvimento da soja. Independente do horário do dia, as plantas apresentavam-se com aspecto de murcha, reduzindo a exposição foliar à interceptação da radiação solar. Tal fato transcorreu durante a fase de desenvolvimento da soja resultando em plantas com estatura reduzida, assim como número de folhas. Em seguida, com as precipitações pluviométricas próximas ao florescimento impediram a abscisão floral total, mas que não evitaram a redução drástica do rendimento de grãos. Isto ocorreu possivelmente ao fechamento estomático e a diminuição da assimilação líquida de CO₂, conseqüentemente o processo fotossintético, assim como de fotoassimilados (Taiz e Zeiger, 2009).

No estado de São Paulo, a redução média na cultura da soja em relação à média observada na safra anterior foi de 1/3 (Conab, 2014). Este baixo rendimento de grãos verificado é ainda mais agravado ao analisar as médias neste experimento ao longo de seus 10 anos de implantação, corresponde a redução de praticamente 50% (Calonego et al., 2017), assim como em relação ano anterior (Rigon, 2013).

Um resultado intrigante foi o comportamento oposto entre os cultivos responsáveis pelos maiores e menores rendimentos em cada safra. Tal fato pode ser explicado pela composição dos dos resíduos, como já comentado no caso da crotalária, que promoveu maior estoque superficial de C e uma tendência de maior estoque de N nesta camada. Além disso, sob este cultivo obteve-se o maior rendimento da soja e menor emissão relativa em anos anteriores (Rigon et al., 2018). No caso da escarificação/pousio, o próprio processo mecânico realizado dias

antes da semeadura da soja pode ter acelerado a oxidação de compostos orgânicos pela mobilização do solo, o que pode propiciar melhores condições químicas devido à disponibilização de nutrientes em curto prazo para a soja, além das próprias condições físicas do solo. Ao passo que estes benefícios não se confirmaram na safra da soja de 2014/2015, pois não são duradouros, como já verificado neste experimento em outras ocasiões (Calonego et al., 2017).

Em relação às emissões relativas, a reduzida produtividade com o tratamento escarificação/pousio, decorrente da ausência de substrato na superfície do solo, aliado aos menores estoques de C N na superfície, assim como COP, explicam as maiores emissões relativas na soja 2014/2015, assim como observado na emissão relativa total. Práticas conservacionistas como o SSD podem auxiliar a mitigar as emissões de CO₂ pelo incremento da quantidade de resíduos culturais reduzindo as taxas de decomposição, favorecendo o acúmulo da MOS, o que aumenta o rendimento das culturas (Delgado et al., 2007; Stewart et al., 2009). Juntamente a este tratamento, o milho na safra de soja de 2013/2014 também devido ao baixo rendimento da soja resultou nas maiores emissões acumuladas.

1.4.10 Fluxo acumulado, produtividade de grãos de soja e emissão relativa no Latossolo

Os maiores fluxos acumulados no Latossolo em relação ao Nitossolo como anteriormente discutido foram basicamente devido aos menores teores de argila. As condições físicas também podem ajudar a explicar em parte os maiores rendimentos deste experimento, pois os menores valores de macroporosidade podem ter limitado o rendimento da soja no Nitossolo.

As maiores emissões acumuladas da brachiaria, como ocorrera nas determinações pontuais, são explicadas basicamente pelas características dos resíduos com altas quantidades de N. Esperava-se certa influência do cultivo da crotalária, como verificado no Nitossolo. Porém, este resultado somente confirma o que já fora verificado em anos anteriores sob este cultivo, onde somente observou-se efeito sob alto conteúdo de argila tanto no rendimento de grãos, como na emissão relativa de CO₂ (Rigon et al., 2018). No entanto, ao analisar mais especificamente o cultivo da crotalária em cada safra, observa-se que nas emissões relativas acumuladas totais obteve-se os menores fluxos sob a mesma produtividade

de soja, revelando uma emissão menor de CO₂ acumulado à atmosfera, independente da safra analisada.

Apesar da maior emissão acumulada de CO₂ e produtividade de grãos, tais variáveis tiveram acréscimo nas mesmas proporções, o que explica os valores de emissões relativas médias em cada safra iguais entre os experimentos.

1.5 CONCLUSÃO

As rotações de culturas no Nitossolo influenciaram mais intensamente os atributos relacionados a matéria orgânica do solo, possivelmente devido ao maior teor de argila e a estabilidade de agregados neste solo.

As características intrínsecas dos resíduos culturais, especificamente relacionados aos teores de Lignina e de Nitrogênio influenciaram diretamente as frações da MOS e emissão de C-CO₂.

Além das condições climáticas distintas entre as estações de estudo, as composições dos resíduos culturais também determinaram o comportamento de degradação na superfície do solo. Portanto, resíduos das culturas de outono-inverno, como o triticale, brachiaria e sorgo granífero tiveram características de maior persistência na superfície do solo, devido a alta relação C N. Enquanto que as plantas de primavera, tais como o sorgo granífero, milho e a crotalária, sobretudo esta última cultura, foram importantes pelo alto aporte de N ao solo, principalmente considerando um ciclo de cultivo de apenas 2 meses até a dessecação.

O cultivo de crotalária na primavera promoveu aumento nos teores de húmida no solo devido à composição dos resíduos com altos conteúdos de lignina e de Nitrogênio.

O pousio na primavera, no geral, limitou os teores e estoques de C e N na camada superficial, devido principalmente à ausência de cultivo e ao baixo aporte de substrato na nessa época do ano. Entretanto, sob este tratamento o qual é esporadicamente escarificado ocorrem as maiores emissões relativas e acumuladas de CO₂. Possivelmente seja decorrente a menor proteção física do solo na camada superficial.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.
- AERTS, R. Climate, leaf litter chemistry and leaf decomposition in terrestrial ecosystems—A triangular relationship. **Oikos**, Lund, v. 79, p. 439–449, 1997.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 25:189-197, 2001.
- ANDERSON, T.H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 98, p. 285–293, 2003.
- ARAI-SANO, Y.; IDA, M.; ZHAO, R. “Genotypic variations in non-structural carbohydrate and cell-wall components of the stem in rice, sorghum, and sugar vane,” **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, London, v. 75, p. 1104–1112, 2011.
- BAGGS, E.M.; MILLAR, N.; NDUFA, J.K.; CADISCH, G. **Effect of residue quality on N₂O Emissions from tropical soils**. In: REES, R.M., BALL, B.C., CAMPBELL, C.D., WATSON, C.A. (Eds.), *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. CAB International, Oxford, pp. 120–125, 2001.
- BAIJUKYA, F.P.; RIDDER, N.; GILLER, K.E. Nitrogen release from decomposing residues of leguminous cover crops and their effect on maize yield on depleted soils of Bukoba District, Tanzania. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 279, p. 77–93, 2006.
- BAYER, C.; DICK, D.P.; RIBEIRO, G.M.; SCHEUERMANN, K.K. Carbon stocks in matter fractions as affected by land use and soil management with emphasis on no-tillage effect. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 401-406, 2002.
- BELL, J.M.; SMITH, J.L.; BAILEY, V.L.; BOLTON, H. Priming effect and C storage in semi-arid no-till spring crop rotations. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 37, p. p. 237-244, 2003.
- BENITES, V.M.; MÁDARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003. 7 pp. (Comunicado técnico, 16).
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. **Bulk density**. In: KLUTE, A, (ed). *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Madison : ASA, 1986. p. 363-375.
- BODDEY, R.M.; VICTORIA, R.L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using ¹⁵N labelled organic matter and fertilizer. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 90, p.256-292, 1986.

- BODDEY, R.M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H.P. ; DENARDIN, J.E. ; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. ; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, Urbana, v.16, p. 784-795, 2010.
- BRADFORD, M. A.; DAVIES, C. A.; FREY, S. D.; MADDOX, T. R.; MELILLO, J. M.; MOHAN, J. E.; REYNOLDS, J. F.; TRESEDER, K. K.; WALLENSTEIN, M. D. Thermal adaptation of soil microbial respiration to elevated temperature. **Ecology Letters**, Davis, v.11, p. 1316–1327, 2008.
- BREMER, E.; HOUTUM, W. van; VANKESSEL, C. Carbon dioxide evolution from wheat and lentil residues as affected by grinding, added nitrogen, and the absence of soil. **Biology and Fertility of Soils**, Berlim, v.11, n.3, p.222-227, 1991.
- BROOKES, P.C.; LANDMAN, A.; PRUDEN, G. & JENKINSON, D.S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method for measuring microbial biomass nitrogen in soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.17, p.837-842, 1985.
- BUTTERLY, C.; BALDOCK, J.; TANG, C. The contribution of crop residues to changes in soil pH under field conditions. **Plant and Soil**, Dordrecht v. 366, p.185–198, 2013.
- CAETANO, L.; VENTURA, J.; COSTA, A.; GUARÇONI, R. Efeito da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio no desenvolvimento, na produção e na qualidade de frutos do abacaxi 'Vitória'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n.3, p.883-890, 2013.
- CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, p.242-249, 2010.
- CALONEGO, J.C.; RAPHAEL, P.A.J; RIGON, J.P.G.; OLIVEIRA NETO, L.DE.; ROSOLEM, C.A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiselling. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 85, p. 31–37, 2017.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 777–783, 1992.
- CAMPBELL, C.A.; ZENTNER, R.P.; SELLES, F.; BIEDERBECK, V.O.; MCCONKEY, B.G.; BLOMERT, B.; JEFFERSON, P.G. Quantifying short-term effects of crop rotations on soil organic carbon in southwestern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 80, p. 193-202, 2000.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição

de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L.P.; BUSATO, J.G.; CAUME, D.J. **O uso e manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia**. In.: CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, p. 244-267, 2005.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.

CAUSARANO, H.J.; FRANZLUEBBERS, A.J.; SHAW, J.N.; REEVES, D.W.; RAPER, R.L.; WOOD, C.W. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 72, p. 221-230, 2008.

CECCON, G.; KURIHARA, C.H.; STAUT, L.A. Manejo de *Brachiaria ruziziensis* em consórcio com milho safrinha e rendimento de soja em sucessão. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 113, p. 4-8, 2009.

CHEN, S.; WANG, Y.; HU, Z.; GAO, H. CO₂ emissions from a forest soil as influenced by amendments of different crop straws: implications for priming effects. **Catena**, Amsterdam, v. 131, p. 56-63, 2015.

CHIKOWO, R.; MAPFUMO, P.; NYAMUGAFATA, P.; GILLER, K.E. Mineral N dynamics, leaching and nitrous oxide losses under maize following two-year improved fallows on a sandy loam soil in Zimbabwe. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 259, p. 315-330, 2004.

CLARK, A. ed. **Sunn hemp: *Crotalaria juncea***. In: Managing cover crops profitably. 3rd ed. Sustainable Agriculture Research and Education, College Park, MD, 2007.

CONAB, 2014 Companhia Nacional de Abastecimento. Safras / Séries Históricas.

CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 777-788, 2005.

CRUSCIOL, C.A.C.; SORATTO, R.P.; BORGHI, E.; MATHEUS, G.P. Benefits of integrating crops and tropical pastures as systems of production. **Better Crops**, Atlanta, v. 94, p.14-16, 2010.

DA ROSA, D.P.; REICHERT, J.M.; SATTTLER, A.; REINERT, D.J.; MENTGES, M.I.; VIEIRA, D.A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 395-400, 2008.

- DE GRYZE, S.; ALBARRACIN, M.V.; CATALA-LUQUE, R.; HOWITT, R.E.; SIX, J. Modeling shows that alternative soil management can decrease greenhouse gases. **California Agriculture**, Berkeley, v. 63, p. 84–90, 2009.
- DELGADO, J.A.; DILLON, M.A.; SPARKS, R.T.; ESSAH S.Y.C. A decade of advances in cover crops: Cover crops with limited irrigation can increase yields, crop quality, and nutrient and water use efficiencies while protecting the environment. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.62, p. 110A-117A, 2007.
- D'ANDRÉA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. & GUILHERME, L.R.G. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p.179-186, 2004.
- DAVIDSON, E.A.; BELK, E.; BOONE, R.D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Global Change Biology**, Urbana, v. 4, p. 217–227, 1998.
- DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 268, p. 319-328, 2005.
- DING, G.; NOVAK, J.M.; AMARASIRIWARDEMA, D.; HUNT, P.G.; XING, B. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 421-429, 2002.
- EMBRAPA. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 212 p.
- ERIKSEN, I. Gross sulphur mineralization–immobilization turnover in soil amended with plant residues. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 2216–2224, 2005.
- ESPINDOLA, J.A.A., GUERRA, J.G.M., ALMEIDA, D.L., TEIXEIRA, M.G., URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 321-328, 2006.
- FACCIN, F.C.; MARCHETTI, M.E.; SERRA, A.P.; ENSINAS, S.C. Frações granulométricas da matéria orgânica do solo em consórcio de milho safrinha com capim-marandu sob fontes de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, p. 354-360, 2016.
- FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. **Soja**. In: MONTEIRO, J.E.B.A. (Org.) Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: INMET, 2009. Cap.15, p.263-277.

- FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 991-996, 1999.
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V.S.; CARNEIRO M.A.C. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 907-916, 2010.
- FONTAINE, A. M; ANDRADE, C.; MATIAS, M.; GATO, J.; MENDONÇA, M. **Family and work division in dual earner families in Portugal**. In I. Crespi (Ed.), *Gender mainstreaming and family policy in Europe: Perspectives, research and debates* (pp. 167-198). Macerata: EUM, 2007.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 847-853, 2006.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 18–29, 2007.
- FREI, M. Lignin: Characterization of a multifaceted crop component. **The Scientific World Journal**, [S.l.], v. 2013 p. 1-25, 2013.
- FUKUSHIMA, R.S.; HATFIELD, R. D. Comparison of the acetyl bromide spectrophotometric method with other analytical lignin methods for determining lignin concentration in forage samples. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 52, p. 3713–3720, 2004.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; VAN ANTWERPEN, R. Simulation of soil carbon dynamics under sugarcane with the Century Model. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 73, p. 802-811, 2009.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. **Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes**. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, cap. 11, p. 159-170, 2008.
- GILLER, K.E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2nd ed. CAB Int., Wallingford, UK. 2001.
- GONÇALVES, A. S. et al. Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 651-658, 2002.
- GOMES, J.; BAYER, C.; COSTA, F. de.; PICCOLO, M. de C.; ZANATTA, J.A.; VIEIRA, F.C.; SIX, J. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 106, p. 36-44, 2009.

- 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**, Londrina, v. 34, p. 2615-2628, 2013.
- HATFIELD, J.L.; PARKIN, T.B. Spatial variation of carbon dioxide fluxes in corn and soybean fields. **Agricultural Sciences**, Uppsala, v. 3, p. 986-995, 2012.
- HAYNES, R.J. **The decomposition process: Mineralization, immobilization, humus formation on degradation**. In: HAYNES, R.J. ed. Mineral nitrogen in the plant-soil system. Orlando: Academic press, 1986. P.52-176.
- HOFMANN, A.; HEIM, A.; CHRISTENSEN, B.T.; MILTNER, A.; GEHRE, M.; SCHMIDT, M.W.I. Lignin dynamics in two C-13-labelled arable soils during 18 years. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 60, p. 250–257, 2009.
- ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 27, p. 408-416, 1998.
- IWAASA, A. D.; BEAUCHEMIN, K. A.; BUCHANAN-SMITH, J. G.; ACHARYA, S. N. Effect of stage of maturity and growth cycle on shearing force and cell wall chemical constituents of alfalfa stems. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 76, p.321–328, 1996.
- Instruction Manual–LICOR 2007. LI-8100, **Automated Soil CO₂ flux system**. Lincoln, NE 68504, USA
- JAKELAITIS, A. Efeitos do nitrogênio sobre o milho cultivado em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v. 27, p. 39-46, 2005.
- JANTALIA, C. P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, p. 97-109, 2007.
- JOHNSON, J.M.F., BARBOUR, N.W., LACHNICHT-WEYERS, S. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 71, p.155-162, 2007.
- KASCHUK, G. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.42, p.1-13, 2010.
- KING, A. E.; HOFMOCKEL, K.S. Diversified cropping systems support greater microbial cycling and retention of carbon and nitrogen, **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 240, p. 66-76, 2017.

- KLUTHCOUSKI, J. Manejo antecipado de nitrogênio nas principais culturas anuais. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v.113, p.1-24, mar. 2006. Encarte técnico.
- KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 139-162, 2002.
- KRAMER, M.; WEISBJERG, M.R.P.; LUND, C. S.; JENSEN, M. G.; PEDERSEN. Estimation of indigestible NDF in forages and concentrates from cell wall composition. **Animal Feed Science and Technology**, Davis, v. 177, 2012.
- KRIAUCIUNIENĖ, Z.; VELICKA, R.; RAUDONIUS, S. The influence of crop residues type on their decomposition rate in the soil: a litterbag study. **Zemdirbyste-Agriculture**, Lithuania, v. 99, p. 227-236, 2012.
- KUZYAKOV, Y. Sources of CO₂ efflux from soil ad review of partitioning methods. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.38, p. 425-448, 2006.
- LANA, R.P. **Nutrição e Alimentação Animal: mitos e realidades**. Viçosa: UFV, 344p. 2005.
- LEITHOLD, G.; HÜLSBERGEN, K.-J.; BROCK, C. Organic matter returns to soils must be higher under organic compared to conventional farming. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 178, p.4–12. 2015.
- LI, J.H.; JIAO, S.M.; GAO, R.Q.; BARDGETT, R.D. Differential effects of legume species on the recovery of soil microbial communities, and carbon and nitrogen contents, in abandoned fields of the loess plateau, China. **Environmental Management**, London, v. 50, p.1193–1203. 2012.
- LIU, W. L.; JIANG, H.U.S.; LI, L.; LIU, L.; WAN, S. Decoupling of soil microbes and plants with increasing anthropogenic nitrogen inputs in a temperate steppe. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 72, p. 116–122, 2014.
- LOPES, A.A.C.; SOUSA, D.M.G.; CHAER, G.M.; REIS JÚNIOR, F.B.; GOEDERT, W.J.; MENDES, I.C. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 77, p.461– 472, 2013.
- LORENZO, P.; PEREIRA, C.S.; RODRIGUEZ-ECHEVERRIA, S. Differential impact on soil microbes of allelopathic compounds released by the invasive *Acacia dealbata* Link. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 57, p. 156–163, 2013.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p.913-922, 2010.
- LOVATO, T. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.175-187, 2004.

- MAPANDA, F.; WUTA, M.; NYAMANGARA, J.; REES, R.M. Effects of organic and mineral fertilizer nitrogen on greenhouse gas emissions and plant-captured carbon under maize cropping in Zimbabwe, **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 343, p.67-81, 2011.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *Geosp. Espaço e Tempo*, São Paulo, v. 19, p. 485-494, 2015.
- MAZZILLI, S.R.; KEMANIAN, A.R.; ERNST, O.R.; JACKSON, R.B.; PIÑEIRO, G. Greater humification of belowground than aboveground biomass carbon into particulate soil organic matter in no-till corn and soybean crop. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 85, p. 22-30, 2015.
- MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. **Ecology**, Oxford, v. 63, p. 621-623, 1982.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. 1. ed. Viçosa-MG, UFV, 2005. 107p.
- MILLAR, N.; BAGGS, E.M. Chemical composition, or quality, of agroforestry residues influences N₂O emissions after their addition to soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 935–943, 2004.
- MILLAR, N.; BAGGS, E.M. Relationships between N₂O emissions and water soluble C and N contents of agroforestry residues after their addition to soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford. v. 37, p.605–608, 2005.
- MORELL, F.J.; WHITMORE, A.P.; ÁLVARO-FUENTES, J.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. Root respiration of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Field and modeling approaches. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 351, p. 135–147, 2012.
- MULLER, M.M.; SUNDMAN, V.; SOININVAARA, O.; MERILAINEN, A. Effect of chemical composition on the release of nitrogen from agricultural plant materials decomposing in soil under field conditions. **Biology and Fertility Soils**, Berlin, v. 6, p.78-83, 1988.
- NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralization during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C/N ratio of the residues. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 228, p. 83–103, 2001.
- NICOLOSO, R. S. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2425-2433, 2008.
- OMAY, A.B.; RICE, C.W.; MADDUX, L.D.; GORDON, W.B. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 61, p.1672-1678, 1997.

- PALM, C. A.; GACHENGO, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.83, p. 27–42, 2001.
- PARADELO, R.; OORT, F.V.; BARRÉ, P.; BILLIOU, D.; CHENU, C. Soil organic matter stabilization at the pluri-decadal scale: Insight from bare fallow soils with contrasting physicochemical properties and macrostructures. **Geoderma**, Amsterdam, v. 275, p.48–54, 2016.
- PAUL, K.I.; BLACK, A.S.; CONYERS, M.K. Influence of fallow, wheat and subterranean clover on pH within an initially mixed surface soil in the field. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 33, p. 41-52, 2001.
- PEOPLES, M.B., J. BROCKWELL, D. F., HERRIDGE, I.J., ROCHESTER, B.J.R., ALVES, S., URQUIAGA. Review article. The contributions of nitrogen-fixing crop legumes to the productivity of agricultural systems. **Symbiosis**, New York, v. 48, p. 1–17, 2009.
- PEREIRA, J.O.; DE'FOSSEZ, P.; RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 58, p. 34–44, 2007.
- PINHEIRO, E.F.M., LIMA, E., CEDDIA, M. B., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 333, p. 71-80, 2010.
- RAPHAEL, J.P. Matéria Orgânica do Solo em rotações de culturas sob sistema semeadura direta. Botucatu: UNESP, 2015. 101 p. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-Graduação em Agroomia (Agricultura) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015.
- RAPHAEL, J.P.A.; CALONEGO, J.C.; MILORI, D.M.B.P.; ROSOLEM, C.A. 2016. Soil organicmatter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 45–53, 2016.
- RASSE, D. P.; DIGNAC, M.-F.; BAHRI, H.; RUMPEL, C.; MARIOTTI, A.; CHENU, C. Lignin turnover in an agricultural field: from plant residues to soil-protected fractions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 57, p. 530–538, 2006.
- REIS JÚNIOR, F.B. DOS.; QUESADA, D.M.; OLIVEIRA, O.C.A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; ROBERT, A.; BODDEY, M. Biological nitrogen fixation associated with tropical pasture grasses. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 28, p. 837–844, 2001.
- RIGON, J. P. G. Emissão de gases de efeito estufa em áreas de Sistema Semeadura Direta com aportes diferenciados de carbono e nitrogênio. Botucatu: UNESP, 2013. 98 p. **Dissertação (Mestrado)** – Programa de Pós-graduação em

Agronomia (Agricultura) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013.

RIGON, J.P.G.; CALONEGO, J. C. ; ROSOLEM, C. A. ; SCALA JUNIOR, N. L. . Short-term CO₂ emissions and soybean yield in rotation with cover crops under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.75, p.18-26, 2018.

RIVERO, C.; PAOLINI, J.; SENESI, N.; D'ORAZIO, V. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos de crotalaria juncea sobre la calidad de la materia orgánica de un suelo. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Maracay, v. 23, n. 1, p. 77-93, jun. 1997.

ROSSI, C.Q. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v. 43, p. 38-46, 2012.

ROTAR, P.P.; JOY, R.J. '**Tropic Sun**' sunn hemp, *Crotalaria juncea* L. research. Extension Series 036 University of Hawaii, Honolulu, HI, 1983.

ROSSET, J. S.; DO CARMO LANA, M.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1529-1538, 2016.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1349-1356, 2011.

SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo. São Carlos, 2007, 131 f. **Tese (Doutorado)** – Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos, São Carlos. 2007.

SETH, A.K.; FERNANDES, K.; CAMARGO, S. Two Summers of Sao Paulo Drought: Origins in the Western Tropical Pacific. **Geophysical Research Letters**, Washington, v. 42, p. 81-90, 2015.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed., Viçosa: UFV, 235p. 2002.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; De-POLLI, H. Determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (BMS-C). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 6p. (*Comunicado Técnico*, 98).

SILVA, A.P.; BABUJIA, L.C.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, R.A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 119, p. 20–26, 2010.

SILVEIRA JUNIOR, S.D. DA.; SILVA, A.P. DA.; FIGUEIREDO, G.C.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob plantio

direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 1854-1867, 2012.

SIX, J.; GUGGENBERGER, G.; PAUSTIAN, K. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 52, p. 607–618, 2001.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7e31, 2004.

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: calibration in situ using microbial respiration and ¹⁴C labelled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 20, p. 337-343, 1988.

SMITH, F.; BRYE, K.R.; GBUR, E.E.; CHEN, P.; KORTH, K. Long-term residue management effects on soil respiration in a wheat-soybean double-crop system. **Soil Science**, [S.I.], v. 179, p. 118-129, 2014.

SONG, G.; NOVOTNY, E.H.; MAO, J.D.; HAYES, M.H.B. Characterization of transformations of maize residues into soil organic matter. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 579, p.1843–1854, 2017.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.D.G.; ANGHINONI, I.; LIMA, C.V.S.; CARVALHO, C.S.; MARTINS, A.P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavourapeçuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 79-88, 2010.

SOUZA, G.B.; NOGUEIRA, A.R.A.; SUMI, L.M. Método Alternativo para Determinação de Fibra em Detergente Neutro e Detergente Ácido. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1999. 21p. (*Embrapa Pecuária Sudeste, Boletim de Pesquisa*, 4).

STEVENSON, F. J. 1994. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.

STEWART, C.E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. Soil carbon saturation: Implications for measurable carbon pool dynamics in long-term incubations. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 357-66, 2009.

SWIFT, M.J. (ED.), **Tropical Soil Biology and Fertility: Inter-regional Research Planning Workshop**. Biology International 13. International Union of Biological Sciences (INBS), Paris, 68 pp. 1987.

TAYLOR, B.R.; PARKINSON, D. & PARSONS, W.F.J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, Oxford, v. 70, p. 97-104, 1989.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

- TAVARES, R.L.M.; FARHATE, C.V.V.; SOUZA, Z.M.; LA SCALA JÚNIOR, N.; TORRES, J.L.R.; CAMPOS, M.C.C. Emission of CO₂ and soil microbial activity in sugarcane management systems. **African Journal of Agricultural Research**, Ekpoma, v. 10, p. 975-982, 2015.
- TEJADA, M.; GONZALEZ, J.L.; GARCIA-MARTINEZ, A.M.; PARRADO, J. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, p.1758–1767, 2008.
- TIAN, G.; KANG B. T.; BRUSSAARD, L. An index for assessing the quality of plant residues crop in the (sub-)humid tropics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 2, p. 25-32, 1995.
- TRIGO, C.; BALL, A.S. Is the solubilized product from degradation of lignocellulose by actinomycetes a precursors of humic substances. **Microbiology**, London, v. 140, p. 3145-3152, 1994.
- UNGER, S.; M'AGUAS, C.; PEREIRA, J.S.; DAVID, T.S.; WERNER, C. The influence of precipitation pulses on soil respiration – Assessing the “Birch effect” by stable carbon isotopes, **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 42, p. 1800–1810, 2010.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; JANTALIA, C.P.; BODDEY, R.M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica. **Informações Agrônomicas**, Campinas, v. 130, p.12-21, 2010.
- VAN BERGEN, P.F.; NOTT, C.J.; BULL, I.D.; POULTON, P.R.; EVERSLED, R.P. Organic geochemical studies of soils from the Rothamsted classical experiments e IV. Preliminary results from a study of the effect of soil pH on organic matter decay. **Organic Geochemistry**, [S.l.] v. 29, p. 1779-1795, 1998.
- VAN SOEST, P. J. **Ecologia nutricional dos ruminantes**. 2. ed. Rio de Janeiro: Constock Publishing Associates. 1994. 476 p.
- VIDAL, R.A. **Interação negativa entre plantas: inicialismo, alelopatia e competição**. Porto Alegre-RS: UFRGS, 2010, 132p.
- VIEIRA, F.C.B. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de cultura e adubação nitrogenada. 2007. 124p. **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- WANG, Q.; YUNCONG, L.; WALDERMAR, K.; ZAFAR, H. Influence of cover crops and soil amendments on okra (*Abelmoschus esculentus* L.) production and soil nematodes. **Renewable Agriculture and Food Systems**, Cambridge, v. 22, p. 41–53, 2007.

- WEBER, M.A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 429-437, 2009.
- WHITE, C.M.; WEIL, R.R. Forage radish and cereal rye cover crop effects on mycorrhizal fungus colonization of maize roots. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 328, p. 507–521, 2010.
- XAVIER, F.A.D.; MAIA, S.M.F.; RIBEIRO, K.A.; MENDONCA, E.D.; DE OLIVEIRA, T.S. Effect of cover plants on soil C and N dynamics in different soil management systems in dwarf cashew culture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 165, p. 173–183, 2013.
- ZANATTA, J.A.; BAYER, C.; DIECKOW, J.; VIEIRA, F.C.B. & MIELNICZUK, J. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 94, p. 510-519, 2007.
- ZHANG, L.; CHEN, Y.; ZHAO, R.; LI, W. Soil Carbon dioxide flux from shelterbelts in farmland in temperate arid region, northwest China. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 48, p. 24-31, 2012.
- ZHOU, G.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; FENG, C.; CHEN, L.; YU, Z.; XIN, X.; ZHAO, B. Effects of changes in straw chemical properties and alkaline soils on bacterial communities engaged in straw decomposition at different temperatures. **Nature**, Oxford, v. 6, p. 22186, 2016.

2. CAPITULO II - RESÍDUOS CULTURAIS EM SISTEMAS DE ROTAÇÃO COMO FATORES DETERMINANTES DA AGREGAÇÃO DO SOLO E MINERALIZAÇÃO DE C E N

RESUMO

Dentre as atuais práticas agrícolas, o monocultivo ou a adição de uma cultura de cobertura aleatória pode limitar os benefícios mesmo sob o sistema de semeadura direta (SSD) comparado a um sistema com rotação de culturas. Os possíveis efeitos das rotações de culturas em experimentos de longa duração foram avaliados a partir de algumas características físicas, químicas e biológicas na superfície do solo. Objetivou-se com este trabalho analisar a mineralização de C e N do solo e a estabilidade dos agregados conforme as rotações de culturas. Os experimentos foram iniciados em 2003 e 2006 em Nitossolo e Latossolo, respectivamente em Botucatu- SP, Brasil, com três safras anuais desde então. As parcelas foram constituídas pelas plantas de outono-inverno (triticale ou girassol) no Nitossolo, enquanto que no Latossolo nesta época foram cultivados a brachiaria ou sogo granífero em sistema solteiro, assim como o consórcio entre ambos cultivos. Nos experimentos, as subparcelas foram compostas pelas culturas de primavera (milheto, crotalária, sorgo forrageiro) tendo também no Nitossolo um tratamento denominado escarificação/pousio. Na safra de verão a soja é cultivada em área total em ambas as áreas. O uso do triticale como cultura de outono-inverno aumenta os teores de C e N na superfície do solo, enquanto que a escarificação/pousio na primavera limita este acúmulo na superfície do solo, assim como as frações lábeis, mas que juntamente com a crotalária tem efeitos benéficos na camada de 0,1-0,2 m. Quanto à agregação destacaram-se a crotalária seguida pelo sorgo forrageiro. Portanto, em solos tropicais sob SS, o uso particularmente de culturas de primavera é essencial para aumentar os teores de C e N do solo, bem como as frações lábeis.

Palavras chave: composição bioquímica, estabilidade do solo

2.1 INTRODUÇÃO

O uso de termos como “saúde” ou “qualidade” do solo não são recentes, entretanto, são recorrentes as discussões relacionando atributos do solo com a qualidade ambiental e a sustentabilidade da agricultura, onde ambos estão estreitamente relacionados ao manejo de C (Reicosky, 2015). A qualidade do solo é sugerida para ser avaliada por meio de índices físico, químicos e biológicos do solo (Doran e Parkin, 1994). Em sistemas agrícolas conservacionistas, as plantas de cobertura são ponto chave e exercem papéis fundamentais na cobertura ideal do solo, adubação verde e diversidade no sistema de semeadura direta (SSD), aumentando o acúmulo de carbono orgânico do solo (Franzluebbers, 2010, Derpsch et al., 2014).

O desenvolvimento de culturas de cobertura bem sucedidas nos SSD tem sido um fator importante no crescimento sem precedentes dessa tecnologia na América do Sul (Derpsch e Benites, 2003). No entanto, a prevalência da soja como principal cultura no Brasil, mesmo sob SSD, não garante a sustentabilidade do sistema. As vantagens deste manejo não são universais (VandenBygaart, 2016), e a ausência de rotação de cultivos, períodos de pousio prolongados ou cobertura insuficiente do solo, violam o próprio conceito deste manejo conservacionista (Derpsch et al., 2014). Os resultados podem estar associados ao baixo aporte de C e não apenas devido à ausência do preparo do solo (Franzluebbers, 2010).

Em regiões tropicais com inverno seco, há uma dificuldade extra de manter a cobertura do solo durante o ano (Jantalia et al., 2007). No entanto, o uso de culturas de inverno e primavera tem potencial para mitigação da emissão de CO₂ e simultaneamente melhorar a produção de soja (Rigon et al., 2018).

A quantidade e a qualidade dos resíduos culturais podem aumentar a formação e a estabilização dos agregados do solo, garantindo a conservação de C e N (Sainju et al., 2010, Bossuyt et al. 2002, Six et al., 2001). A proteção de C em microagregados limita a mineralização, aumentando a retenção de C no solo, uma vez que estes são mais estáveis do que os macroagregados (Cambardella e Elliott, 1993).

A adição de culturas de cobertura a um sistema de SSD aumenta as entradas de C e N no solo, importantes para manter ou incrementar os teores de matéria orgânica do solo (MOS). A partir disto há um incremento da oferta de N para as

culturas, principalmente por leguminosas tornando uma ferramenta útil para o manejo sustentável, principalmente nas regiões tropicais (Fontoura e Bayer, 2010). Alguns resultados demonstram que as leguminosas podem ser mais eficientes no acúmulo C e N nos solos equiparado aos fertilizantes nitrogenados (Lovato et al., 2004). Isto ocorre devido à pronta disponibilidade do fertilizante que acaba estimulando a atividade microbiana exacerbada e a consequente decomposição da MOS (Lovato et al., 2004). Por outro lado, as gramíneas tem a característica de conferir maior potencial de cobertura do solo devido a composição dos resíduos, reduzindo a oxidação da MOS. O que pode ser uma opção satisfatória, principalmente em regiões com precipitação irregular e inverno seco (Rigon et al, 2018).

Há necessidade de informações sobre as influências de rotações de culturas na qualidade física, química e biológica do solo. Sob a hipótese de que uma maior agregação do solo pode reduzir a mineralização de C e N das rotações de culturas sob SSD, objetivou-se avaliar se as rotações de culturas de longa duração influenciam a estabilidade de agregados e a mineralização de C e N em diferentes solos.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Local e clima do estudo

Dois experimentos foram conduzidos em Botucatu, SP, Brasil, 22 ° 49'S e 48 ° 25'W a uma altitude de 780 m, em um Nitossolo e um Latossolo (Embrapa, 1997). O clima predominante é mesotérmico, com um inverno seco e estação seca bem definida de maio a setembro, com precipitação média anual de 1.450 mm.

2.2.2 Descrição das áreas experimentais

Ambos os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados em arranjo de parcelas sub-divididas com quatro repetições. As parcelas principais consistiram de culturas no outono-inverno e as subparcelas compostas pelas culturas de primavera, cultivadas antes da semeadura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em toda a área.

O experimento no Nitossolo iniciou-se em 2003 com triticales (X *Triticosecale Wittmack*) ou girassol (*Helianthus annuus* L.) cultivado no outono-inverno (em parcelas de 32 m x 5 m), seguido de milho (*Pennisetum glaucum* L.), Crotalária (*Crotalaria juncea* L.), Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.) ou pousio durante a primavera (em sub-parcelas de 8 m x 5 m). As sub-parcelas de pousio foram escarificadas em 2003, 2007, 2009, 2011 e 2013, imediatamente antes do plantio de soja, devido à alta resistência à penetração do solo mensuradas nas ocasiões (Calonego et al., 2017) e ao mesmo tempo representando um cultivo mínimo. O Triticale e girassol foram semeados respectivamente, em espaçamentos entre linhas de 0,17 e 0,51 m, e densidade de semeadura de 165 e 22 kg ha⁻¹.

As rotações de culturas no Latossolo iniciaram em 2006, quando o sorgo granífero (*Sorghum vulgare* L.), Brachiária (*Urochloa ruziziensis* R. Germ & Evrard) ou ambos em sistema de consórcio foram cultivados no outono-inverno em parcelas de 30 m x 5 m. Na primavera, foram cultivados em sub-parcelas de 10 m x 5 m as mesmas culturas utilizadas no Nitossolo foram cultivadas, exceto ao tratamento escarificação/pousio. A brachiária foi semeada com espaçamento entre linhas de 0,17 m na taxa de semeadura de 22 kg ha⁻¹ enquanto que o sorgo forrageiro com espaçamento de 0,34 m e 11 kg ha⁻¹ de sementes. Para o consórcio, foram utilizados os mesmos espaçamentos e taxas de semeadura. Em ambos os experimentos os espaçamentos das culturas de primavera foram de 0,17 m entre linhas. Milho, crotalária e sorgo forrageiro foram semeados nas taxas de 25, 30 e 15 kg ha⁻¹, respectivamente. Na primeira quinzena de dezembro, aproximadamente 60 dias após o plantio, em cada ano as culturas de primavera foram quimicamente dessecadas com glifosato e, em seguida, a soja foi semeada. A soja foi cultivada a cada ano no verão, desde o início dos experimentos, com espaçamento entre linhas de 0,45 e população de 355 mil sementes ha⁻¹ e fertilizado com 50 kg ha⁻¹ de K₂O e 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sob as fontes de cloreto de potássio e superfosfato triplo, respectivamente.

2.2.3 Amostragem do solo

A partir da última amostragem de solo, realizada após a colheita da soja de 2015, foram utilizadas parte das amostras de cada sub-parcela nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Estas amostras previamente secas a sombra e peneiradas

(malha de 2,0 mm) foram utilizadas para a análise de C e N mineralizável, de C_{BMS} e frações particuladas de C. Para as análises de agregados de solo, foram coletados monólitos com dimensões aproximadas de 20x15x10cm, os quais foram passados em peneira de 8,0 mm e retidos em peneira de 4,75 mm. A porção retida na peneira foi seca a 50 ° C durante 48 h e embaladas individualmente em pequenas caixas de polipropileno para serem encaminhadas juntamente com as demais amostras à Universidade Estadual da Carolina do Norte.

2.2.4 Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo

No laboratório de Ecologia e Manejo de Solo do departamento de Ciência do solo da Universidade Estadual da Carolina do Norte – EUA, as amostras foram moídas por meio de moinho de bolas, nas quais foram determinado o teor de C orgânico do solo por meio de combustão a seco a 1350 °C (Leco CNS-2000, St. Joseph, MI). Para o C mineralizável, em amostras duplicadas as amostras de solo foram umedecidas à 50% de espaço de poros preenchidos pela água (Franzluebbbers e Stuedemann 2008). Em seguida, as amostras duplicadas foram alocadas em frascos de 1 L contendo outro frasco de 10 ml de NaOH 1M, necessário para capturar o CO₂ e também outro frasco contendo água para manter a umidade. As amostras foram incubadas durante 24 dias a 25 °C. Os frascos alcalinos foram substituídos aos 3 e 10 dias. O CO₂ emitido foi calculado por meio da titulação com HCl 1M até a viragem, ou seja, ao assumir a tonalidade rosa com auxílio de fenofaleína, sendo que era adicionado BaCl₂ para evitar a precipitação de carbonato. No 10º dia, uma das subamostras foi removida e submetida à fumigação com clorofórmio (CHCl₃) sob vácuo durante 12 h. Após a exaustão dos vapores, os frascos foram realocados para uma nova incubação por mais 10 dias. Desta forma, a mineralização potencial de C foi calculada a partir da evolução acumulativa de CO₂ durante os 24 dias de incubação. O N inorgânico (NH₄-N + NO₂-N + NO₃-N) foi determinado a partir do extrato filtrado de uma subamostra de 10 g de solo seca (55 °C por 48 h) e peneirada (<2 mm) onde foi extraída por meio de KCl 2M. Por meio de técnica de salicilato-nitroprussiato e auto-análise de redução de Cd (Bundy e Meisinger, 1994). Desta forma, a mineralização potencial de N ou mineralização líquida de N foi determinada a partir da diferença na concentração inorgânica de N entre os 0 e 24 dias de incubação

2.2.5 Carbono e Nitrogênio orgânico particulado (COP e NP)

Agitou-se uma sub-amostra de 20-65 g (peso inversamente relacionado com o teor de COT esperado) em 100 ml de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1 M durante 16 h, onde diluiu-se até 1 litro com água destilada, deixando em suspensão decantar durante 5 h. O material particulado foi capturado após a solução ser vertida em peneira com malha de 0,053 mm (Franzluebbers et al., 2000). O material retido na peneira foi transferido para um frasco e pesado após seco em estufa (55 ° C, 72 h). Em seguida as amostras foram moídas em moinho de bolas durante 1 min e analisados os teores de C e N por meio de combustão a seco a 1350 ° C (Leco CNS-2000, St. Joseph, MI).

2.2.6 Fracionamento dos agregados

2.2.6.1 Distribuição de agregados com agitação seca

Foram mensuradas 100 gramas de amostras dos agregados e colocadas em conjunto de peneiras (ϕ de 200 mm com aberturas de 1,0; 0,25 e 0,053 mm) e foram agitadas durante 1 minuto num agitador Científico ao nível 6 (CSC Scientific Co., Fairfax, VA). O solo retido em cada peneira e o que passou na peneira de 0,053 mm foram pesados (Franzluebbers et al., 2000), obtendo-se a distribuição dos agregados à seco.

2.2.6.2 Distribuição de agregados em agitação via úmida

No topo de cada peneira (ϕ de 175 mm com aberturas de 1,0 e 0,25), os agregados secos previamente obtidos foram imersos neste conjunto de peneiras por 10 min com curso de 150 mm e 31 ciclos min^{-1} . Em seguida, as peneiras foram submetidas a secagem a 55 °C. A água que continha o solo que passou na peneira de 0,25 mm foi vertida sobre outra peneira de 0,053 mm e suavemente lavada com água destilada sendo seca a 50 °C durante 24 h. Os atributos da agregação do solo foram calculados de acordo com Franzluebbers et al. (2000). O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi então calculado dividindo o diâmetro do peso médio estável seco (DM_{seco}) e o diâmetro do peso médio úmido ($\text{DM}_{\text{úmida}}$). A estabilidade de macroagregado (EM) foi calculada por meio do peso dos

macroagregados estáveis em água dividindo pelo peso de macroagregados estáveis a seco.

2.2.7 Análise estatística

Os resultados foram submetidos a análise de variância ($p < 0,05$) e os valores foram comparados pelo teste t de Fisher ($p < 0,05$). A análise de correlação foi realizada entre variáveis da agregação do solo e o coeficiente de Pearson foi obtido.

2.3 RESULTADOS

As rotações de culturas sob SSD no Nitossolo impactaram os atributos avaliados pelo menos em uma camada de solo. Embora tenha havido variação dos efeitos em profundidade, a tendência do impacto seguiu um padrão por cada época de cultivo, ou seja, conforme as safras de cultivos. Por outro lado, no Latossolo, mesmo utilizando os mesmos tratamentos na safra de primavera, diferindo apenas das culturas de inverno em relação ao Nitossolo, tais rotações não foram suficientes para impactar os atributos do solo analisados (dados não apresentados).

2.3.1 Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo

Os resíduos culturais na superfície influenciaram o teor de C mineralizável na camada de 0-10 cm, tanto na avaliação de 0-3 dias de incubação, bem como no valor acumulado determinado aos 24 dias de incubação (Tabela 40). Na avaliação inicial (0-3 dias), o triticales resultou nos maiores valores de mineralização em relação ao girassol. Entre as plantas de primavera, os menores valores foram observados por meio da crotalária e do pousio, ambos tratamentos diferindo de sorgo forrageiro e milho. Este comportamento das plantas de primavera também foi recorrente no teor acumulado (0-24 dias), destacando-se o milho com os maiores valores, seguido pelo sorgo forrageiro.

Tabela 40. Probabilidade de F e teores de C mineralizável aos 3 (Cmin) e acumulado (Cmin0-24) no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Outono-inverno	Cmin0-3 mg k-1		Cmin0-24 mg k-1		C _{BMS} mg k-1	
	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm
Girassol	63,4 ^a	33,7	218	116	726	485
Triticale	76,4 ^b	31,4	248	103	763	470
LSD	12,7	16,4	55	63	87	142
Primavera						
Pousio	55,2 ^a	34,9	185 ^a	112	672	494
Crotalária	65,7 ^a	33,2	221 ^{ab}	115	705	479
Sorgo forrageiro	79,3 ^b	31,5	255 ^{bc}	105	795	474
Milheto	79,5 ^b	30,5	270 ^c	105	807	464
LSD	13,5	14	41	39,8	157	75
Probabilidade de F						
Out-inv	0,04	0,68	0,18	0,56	0,27	0,75
Primavera	0,01	0,91	<0,01	0,93	0,22	0,85
Out-inv x Prim	<0,01	0,81	0,02	0,5	0,45	0,23
Média	70	32,5	233	110	745	478

*Valores médios seguidos na coluna por diferentes letras diferenciam-se entre si pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade.

Também houveram interações ($p < 0,05$) entre as rotações de culturas de primavera e de outono-inverno quanto ao potencial de C mineralizável (Cmin) na superfície do solo tanto na avaliação inicial, bem como na acumulada (Tabela 40).

A crotalária teve um comportamento diferenciado, tendo o Cmin maior e menor ($p < 0,05$) aos 3 dias de incubação (Cmin 0-3d), quando cultivado após triticale e girassol, respectivamente (85,0 e 46,4 mg C kg⁻¹), representando praticamente o dobro do valor somente pela influência da cultura de outono-inverno (Tabela 41). Este resultado ($p < 0,05$) seguiu durante todo o período de incubação (Cmin 0-24d) ocasionando o acumulado de 270 e 172 mg C kg⁻¹, para triticale e girassol, respectivamente.

Tabela 41. Interações entre as culturas de outono-inverno e primavera nos teores de C mineralizável aos 3 dias e ao valor acumulado no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Outono-inverno	Cmin 0-3 dias (mg kg ⁻¹)				Cmin 0-24 dias (mg kg ⁻¹)			
	milheto	sorgo f.	crotalária	pousio	milheto	sorgo f.	crotalária	pousio
Girassol	76 B	83 B	46 aA	47 A	273 B	268 B	172 aA	158 A
Triticale	82 B	75 AB	85 bB	62 A	267	242	270 b	213
LSD	19				73			

*Valores médios seguidos na coluna por diferentes letras minúsculas entre plantas de outono inverno e maiúsculas para culturas de primavera diferenciam-se entre si pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade.

A diferença observada entre as culturas de primavera (C_{min} 0-3 d) foi observada após o cultivo do girassol no outono-inverno, tendo o milho e sorgo forrageiro com os maiores C_{min} ($p < 0,05$), diferindo tanto da crotalaria bem como do pousio, responsáveis pelos menores valores de C_{min} 0-3 d, assim como no acumulado. Foi observada certa tendência de menores valores de N_{min} por meio da escarificação/pousio seguida pela crotalaria, porém não foram observadas diferenças significativas mesmo em ambas as camadas, assim como na C_{BMS} (dados não apresentados).

2.3.2 Teores de C e N totais, Carbono e Nitrogenio particulado (COP e NP)

De forma semelhante aos demais resultados, o comportamento dos teores de C orgânico total do solo (COT) assim como os teores de N total (NT) foram influenciados pelos sistemas de rotação de culturas. Entre as culturas de outono-inverno, o triticle aumentou estes teores na superfície do solo (Tabela 42). Enquanto que a escarificação/pousio como cobertura na primavera limitou o acúmulo do COT e NT na superfície do solo, assim como verificado no C orgânico particulado (COP) e N particulado (NP). Curiosamente este tratamento na camada de 0,1-0,2 m foi responsável pelo maior COT e NT, seguido pela crotalaria (Tabela 42). Outro resultado a ser destacado foram os altos teores observados por meio do milho na superfície do solo quanto ao COP e NP.

No geral, pode-se afirmar que as culturas de primavera tiveram o mesmo comportamento entre essas variáveis. No entanto, outros resultados interessantes também foram observados por meio da crotalaria, principalmente na camada de 10-20 cm. Nesta profundidade este cultivo proporcionou o maior teor de COT e NT ($< 0,05$) diferindo das demais espécies, exceto pela escarificação/pousio. Além disso, mesmo sem diferença estatística, os teores de COP foram em média 25, 31 e 34% superiores aos observados por meio da escarificação/pousio, milho e sorgo forrageiro, respectivamente.

Tabela 42. Teores de C orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), C orgânico particulado (COP) e N orgânico particulado (NP) nas profundidades 0-0.01 e 0.1-0.2m no Nitossolo na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 (Botucatu, 2017).

Out-inverno	COT (mg kg ⁻¹)		NT (mg kg ⁻¹)		COP (mg g ⁻¹)		NP (mg g ⁻¹)	
	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm
Girassol	20,50 ^{*a}	17,01	1,87 ^a	1,57	3,47	2,24	0,23	0,12
Triticale	21,60 ^b	17,05	1,95 ^b	1,59	3,74	1,70	0,24	0,09
LSD	0,97	1,16	0,08	0,15	0,42	1,01	0,02	0,07
Primavera								
Escarificação	19,40 ^a	17,51 ^{bc}	1,77 ^a	1,61 ^{bc}	2,92 ^a	1,91	0,19 ^a	0,11
Crotalaria	21,51 ^b	17,72 ^c	1,95 ^b	1,66 ^c	3,49 ^{ab}	2,54	0,23 ^{ab}	0,14
Sorgo F	21,59 ^b	16,50 ^{ab}	1,94 ^b	1,55 ^{ab}	3,81 ^{bc}	1,68	0,25 ^{bc}	0,09
Milheto	21,80 ^b	16,31 ^a	1,98 ^b	1,51 ^a	4,19 ^c	1,75	0,28 ^c	0,09
LSD	1,53	1,15	0,15	0,10	0,61	0,91	0,04	0,05
Probabilidade de F								
Outono-In(A)	0,03	0,89	0,05	0,74	0,13	0,18	0,17	0,21
Primavera (B)	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01	0,22	0,01	0,22
A x B	0,21	0,66	0,302	0,17	0,06	0,18	0,06	0,14
Média	21,1	17,0	1,91	1,58	3,60	1,97	0,24	0,11

*Valores médios seguidos por letras distintas diferem entre si na coluna pelo teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade.

Em ambos as classes de solo foram observadas correlações entre os atributos químicos, físicos e biológicos do solo, independentemente da rotação de culturas. O Cmin inicial (0-3 d) foi altamente correlacionado ao Cmin acumulado aos 0-24 dias ($r = 0,93$ e $0,89$, respectivamente no Nitossolo e Latossolo), demonstrando de certa forma o mesmo padrão em ambos os tipos de solo e profundidades (Figura 7,8,9 e 10-A).

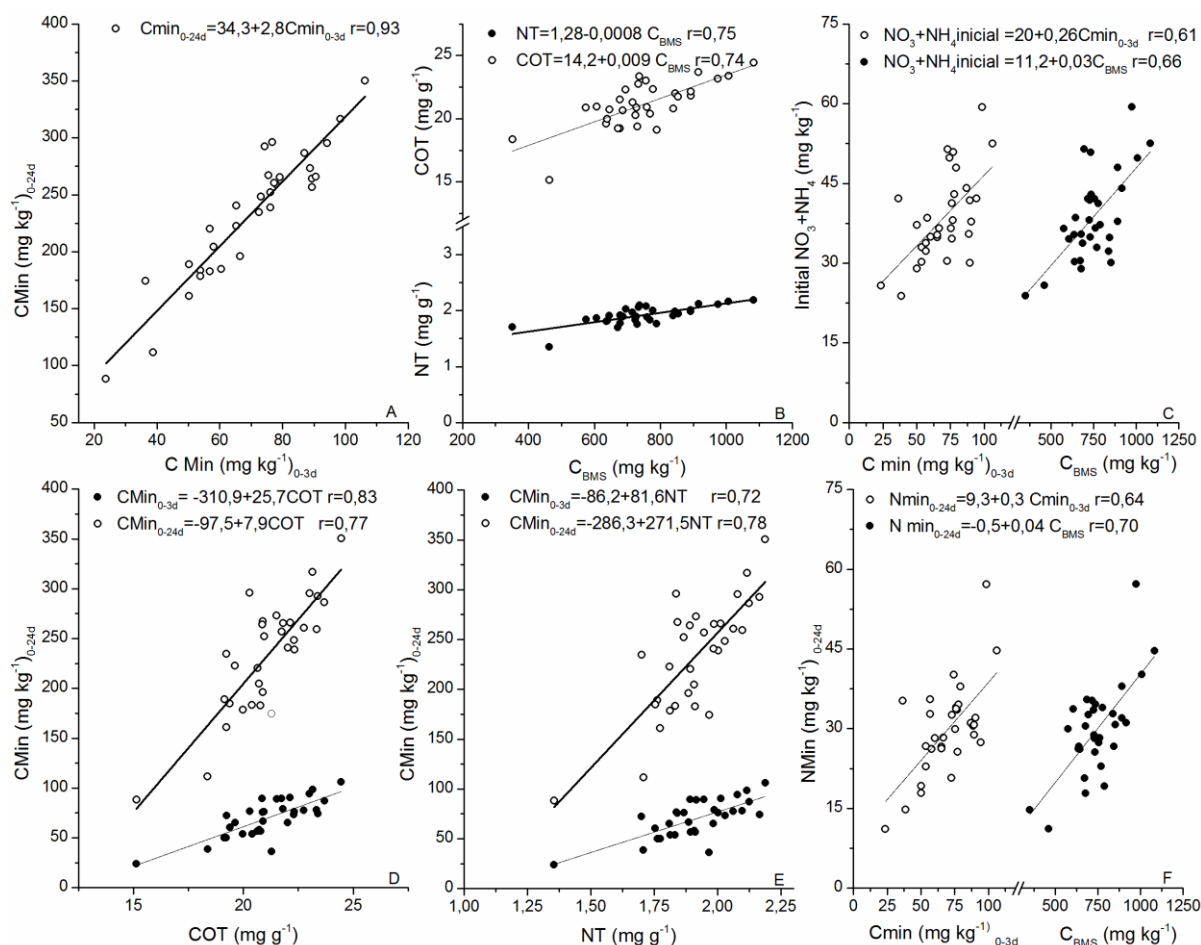


Figura 7. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) no Nitossolo na profundidade de 0-10 cm entre o C mineralizável inicial (Cmin 0-3d) e o C mineralizável acumulado (CMin 0-24d)-A; Teores de C e N com C da biomassa microbiana C_{BMS} -B; N inorgânico (NO_3+NH_4) com Cmin 0-3d e C_{BMS} -C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com Teor de C -D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N -E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS} -F.

Seguindo o mesmo padrão entre tipos de solo e profundidades, o C_{BMC} não foi influenciado pelas rotações de culturas, embora tenha sido correlacionado com o COT e NT (Figura 7,8,9 e 10-B).

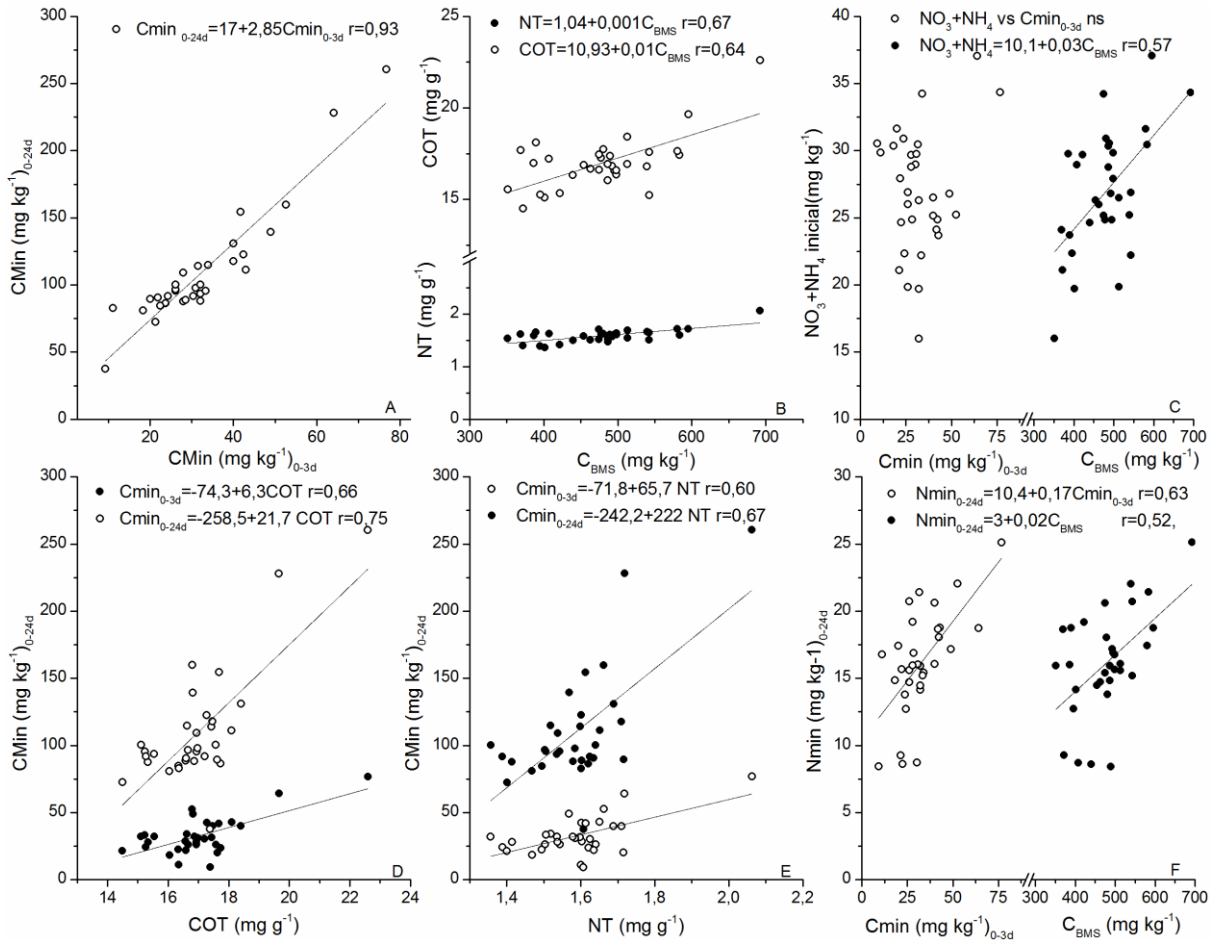


Figura 8. Correlação de Person ($p < 0,05$) no Nitossolo na profundidade de 10-20 cm entre C mineralizável inicial (Cmin 0-3d) com C mineralizável acumulado (CMin 0-24d)-A; Teores de C e N com C da biomassa microbiana C_{BMS}-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS}-F.

Apesar da variação no N inorgânico (NO₃ + NH₄) nos diferentes solos, o C_{BMS} apresentou coeficiente de Pearson superior a 0,6 e 0,5 no Nitossolo e Latossolo, respectivamente, independentemente das profundidades do solo analisadas (Fig. 7,8,9 e 10-C). O Cmin (0-3d) também mostrou essas relações com N inorgânico (NO₃ + NH₄), exceto na superfície no Latossolo e na camada 0.1-0.2m para o Nitossolo.

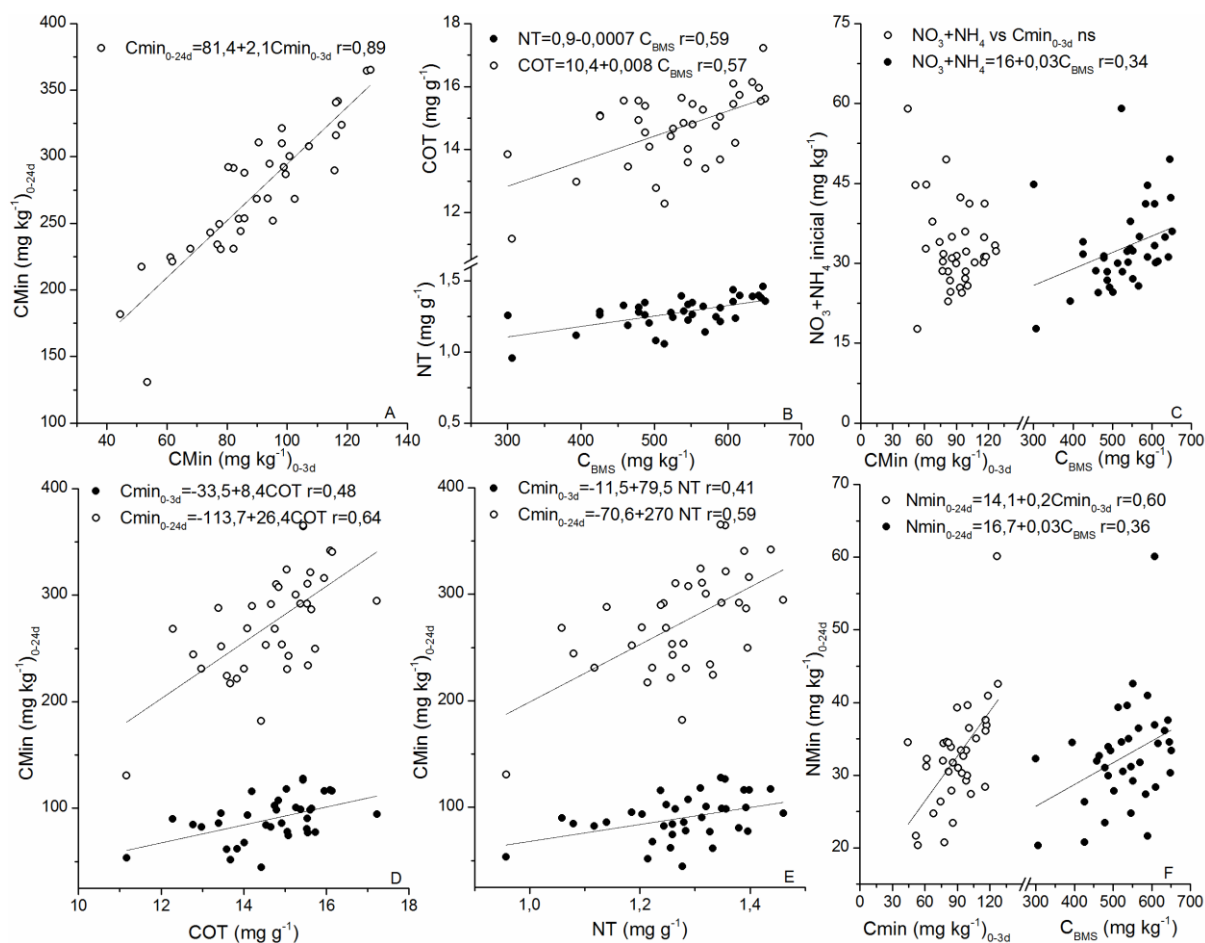


Figura 9. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) no Latossolo na profundidade de 0-10 cm entre C mineralization (Cmin 0-3d) com C mineralizável (CMin 0-24d)-A; teores de C e N com C da biomassa microbiana do solo C_{BMS} -B; N inorgânico ($\text{NO}_3 + \text{NH}_4$) com Cmin 0-3d e C_{BMS} -C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS} -F.

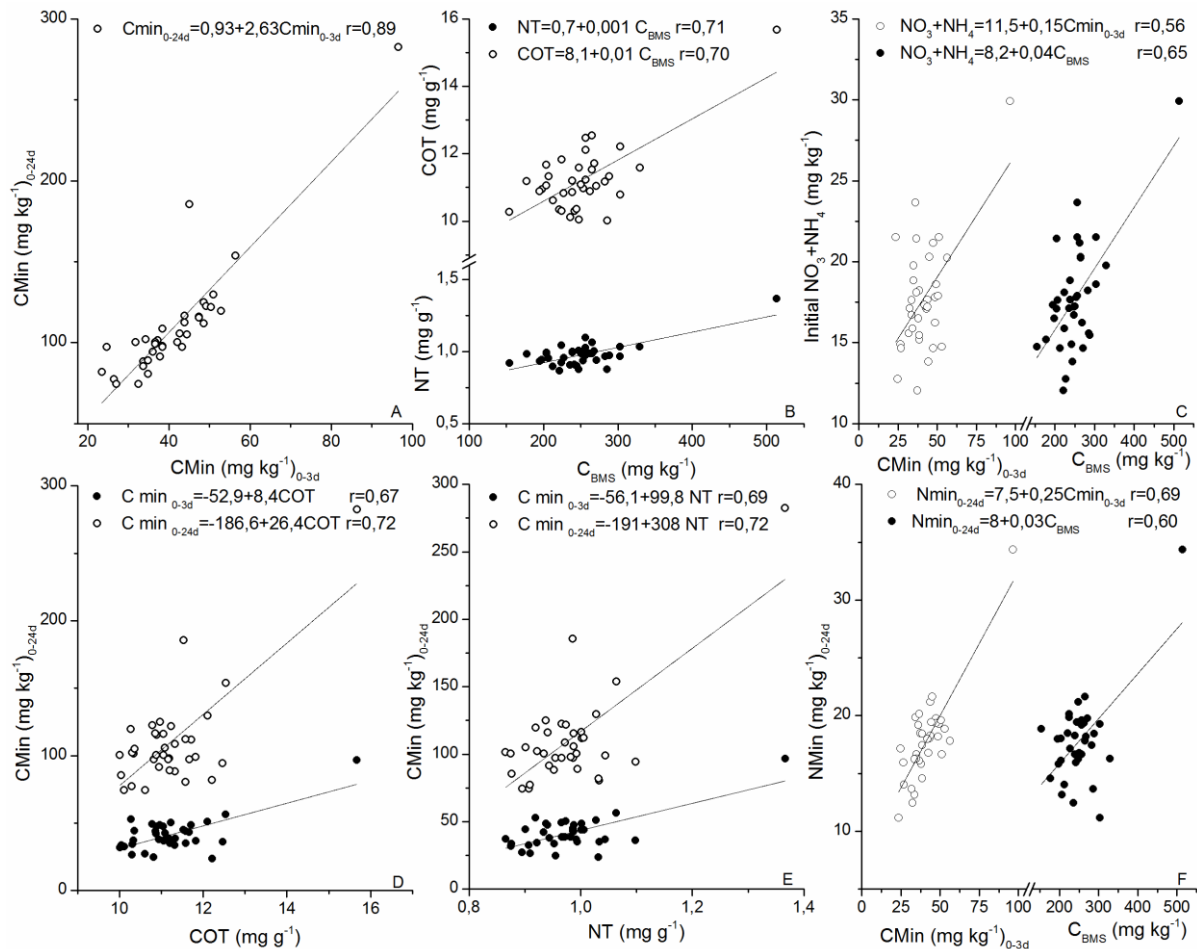


Figura 10. Correlação de Pearson ($p < 0,05$) no Latossolo na profundidade de 10-20 cm entre C mineralizável (Cmin 0-3d) com C mineralizável (CMin 0-24d)-A; teores de C e N com C da biomassa microbiana do solo (C_{BMS})-B; N inorgânico (NO₃+NH₄) com Cmin 0-3d e C_{BMS}-C; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de C-D; CMin 0-24d e CMin 0-3d com teor de N-E; N mineralizável (Nmin) com Cmin e C_{BMS}-F.

As rotações de culturas impactaram os atributos da MOS em ambas as camadas, demonstrando a influência da qualidade dos resíduos culturais. As plantas de outono-inverno tiveram menor impacto nos atributos do solo, exceto nos teores COT e NT, onde por meio do triticale foram observados os maiores teores no solo ($p < 0,05$, 1,95 mg C g⁻¹ e 21,6 mg N g⁻¹). As culturas de primavera influenciaram positivamente todas as frações de N e C analisadas, tais como o NT, COT, NP e COP na superfície do solo quando comparados com o tratamento escarificação/pousio. Entretanto, um resultado curioso foi que na camada subsequente (10-20 cm), este tratamento foi responsável por valores intermediários no solo de NT e COT, seguido pelo sorgo forrageiro. Considerando que os maiores valores ($p < 0,05$) foram observados por meio do cultivo da crotalária em comparação ao milho. Particularmente, este tratamento foi caracterizado pelos maiores NP e

COP na superfície do solo. Embora os teores de COT e NT tenham representado uma faixa pouco dispersa, os valores foram praticamente concentrados em cada camada de solo.

Na mesma camada de solo, as razões entre NP/TN e COP/COT tiveram uma tendência diferente conforme as rotações de culturas (dados não apresentados). As razões de NP e NT foram 0,05 e 0,11 para a crotalaria cultivada após o triticales e o girassol, respectivamente, assim como os valores de 0,09 e 0,19 para COP/COT.

2.3.3 Agregados do solo

A ausência de cultura de primavera (escarificação/pousio) apresentou uma tendência destacada de valores ligeiramente inferiores quanto ao diâmetro médio dos agregados via húmida ($DM_{\text{úmida}}$) na superfície do solo. Embora esta diferença não tenha sido estatisticamente confirmada, representou uma redução de no mínimo 15% em relação aos valores observados por meio das espécies de primavera, chegando a 20% comparada a crotalaria. No entanto, na camada subsequente (0,01-0,02 m), esta diferença foi ainda mais intensa. O tratamento da escarificação/pousio influenciou negativamente o diâmetro médio dos agregados via úmida, assim como o índice de estabilidade de agregados (IEA) e a estabilidade de macroagregados (EM), seguido de milho ($p < 0,05$), diferindo da crotalaria e do sorgo forrageiro de 23 a 32% nestes atributos (Tabela 43).

Tabela 43. Diâmetro médio dos agregados via seca (DMseco), diâmetro médio dos agregados via húmida (DMúmida), índice de estabilidade do agregado (IEA) e estabilidade do macroagregado (EM) na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 no Nitossolo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Botucatu, 2017).

Outono inverno	DM _{seco} (mm)		DM _{úmido} (mm)		IEA		EM (g g ⁻¹)	
	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm
Girassol	2,38	2,34	1,51	1,16	0,62	0,49	0,57	0,4
Triticale	2,43	2,34	1,59	1,14	0,65	0,48	0,60	0,39
LSD	0,19	0,06	0,49	0,16	0,15	0,06	0,18	0,07
Primavera								
Fallow	2,38	2,33	1,34	1,07 ^a	0,55	0,45 ^a	0,49	0,35 ^a
Crotalária	2,43	2,39	1,67	1,31 ^b	0,68	0,55 ^b	0,64	0,47 ^b
Sorgo f.	2,39	2,36	1,56	1,24 ^b	0,65	0,52 ^b	0,59	0,43 ^b
Milheto	2,42	2,27	1,63	0,99 ^a	0,67	0,43 ^a	0,62	0,32 ^a
LSD	0,14	0,09	0,29	0,14	0,1	0,05	0,12	0,07
Probabilidade de F								
Outono-inverno	0,48	0,99	0,62	0,73	0,65	0,7	0,63	0,73
Primavera	0,82	0,09	0,12	<0,01	0,07	<0,01	0,08	<0,01
Out-inv x Prim	0,93	0,24	0,73	0,61	0,69	0,78	0,73	0,73
Média geral	2,41	2,34	1,55	1,15	0,64	0,49	0,58	0,4

*Valores medios seguidos por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t (DMS) ao nível de 5% de probabilidade.

Em relação à distribuição dos agregados no Latossolo, as rotações de culturas sob SSD não impactaram os atributos físicos analisados (Tabela 44). No entanto, houve uma ligeira tendência por meio da Brachiaria como cultivo de outono-inverno de maiores valores em DMseco e úmido e, conseqüentemente, IEA na superfície do solo.

Tabela 44. Diâmetro médio dos agregados via seca (DMseco), diâmetro médio dos agregados via úmida (DMúmida), índice de estabilidade do agregado (IEA) e estabilidade do macroagregado (EM) na coleta de solo após a safra da soja de 2014/2015 no Latossolo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Botucatu, 2017).

	DM _{seco} (mm)		DM _{úmida} (mm)		IEA		EM (g g ⁻¹)	
	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm	0-10cm	10-20 cm
Outono-inverno								
Sorgo gran (S)	1,81	1,83	1,25	0,96	0,68	0,52	0,61	0,41
Brachiaria (R)	1,90	1,79	1,37	0,92	0,72	0,51	0,65	0,39
(S) + (R)	1,88	1,82	1,30	0,99	0,69	0,54	0,62	0,43
LSD	0,08	0,1	0,1	0,06	0,03	0,03	0,04	0,5
Primavera								
Crotalária	1,89	1,83	1,33	1,00	0,7	0,54	0,64	0,43
Sorgo forrageiro	1,84	1,81	1,29	0,95	0,7	0,52	0,64	0,4
Milheto	1,86	1,8	1,29	0,93	0,7	0,52	0,62	0,39
LSD	0,12	0,08	0,13	0,09	0,05	0,04	0,06	0,1
Probabilidade de F								
Outono-inverno	0,11	0,72	0,10	0,10	0,17	0,17	0,12	0,13
Primavera	0,68	0,76	0,72	0,28	0,91	0,39	0,95	0,46
Out-Inv vs Prim	0,60	0,94	0,85	0,37	0,72	0,32	0,74	0,33
Média geral	1,86	1,81	1,31	0,96	0,69	0,53	0,63	0,41

Valores médios seguidos por letras distintas na coluna diferem entre si pelo teste t (LSD) ao nível de 5% de probabilidade.

Assim como ocorreu com os atributos da MOS, os atributos físicos analisados também tiveram correlações positivas com o conteúdo de COT e NT na superfície do solo no Nitossolo (Figura 11), assim como no Latossolo (Figura 12). Os coeficientes da correlação de Pearson foram ligeiramente mais elevados no Nitossolo quando comparado aos valores observados no experimento do Latossolo. Além disso, as influências do COT foram maiores neste solo com maior teor de argila, onde os teores de C ou de N explicaram pelo menos 50% da variação nos atributos físicos de agregação do solo. Enquanto que no Latossolo, a maior relação com as variáveis foi o conteúdo de N do solo (NT).

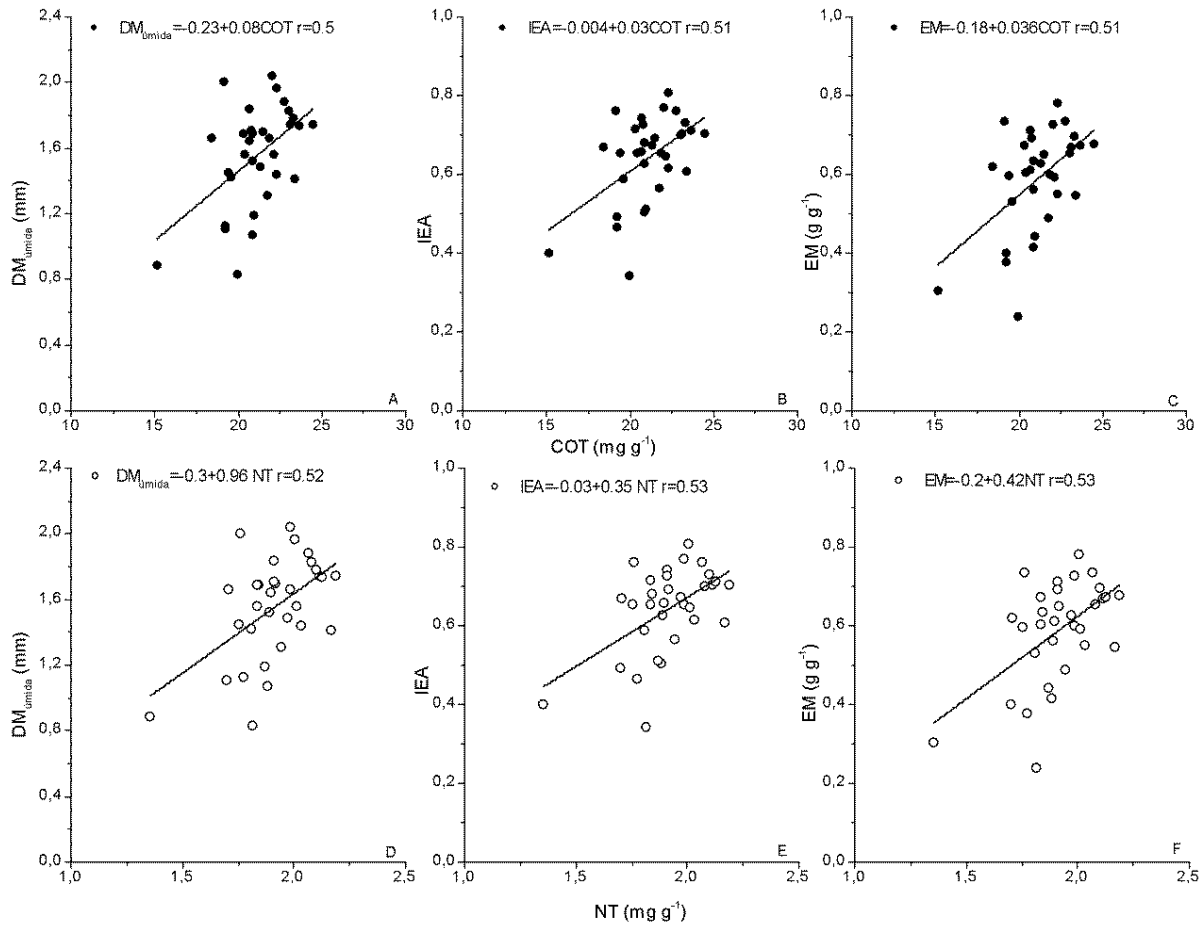


Figura 11. Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Nitossolo na camada de 0-10 cm entre diâmetro médio dos agregados via húmida (DM_{úmida}), índice de estabilidade de agregados (IEA) e estabilidade de macroagregados (EM) com o carbono orgânico total COT (A, B e C) e teor de Nitrogênio total NT (D, E e F).

A relação entre os atributos físicos analisados no Latossolo não foi tão alta como observado no outro experimento. Os teores de C e N do solo explicaram, respectivamente, pelo menos 40% e 36% de variação no DM_{úmido}, IEA e EM.

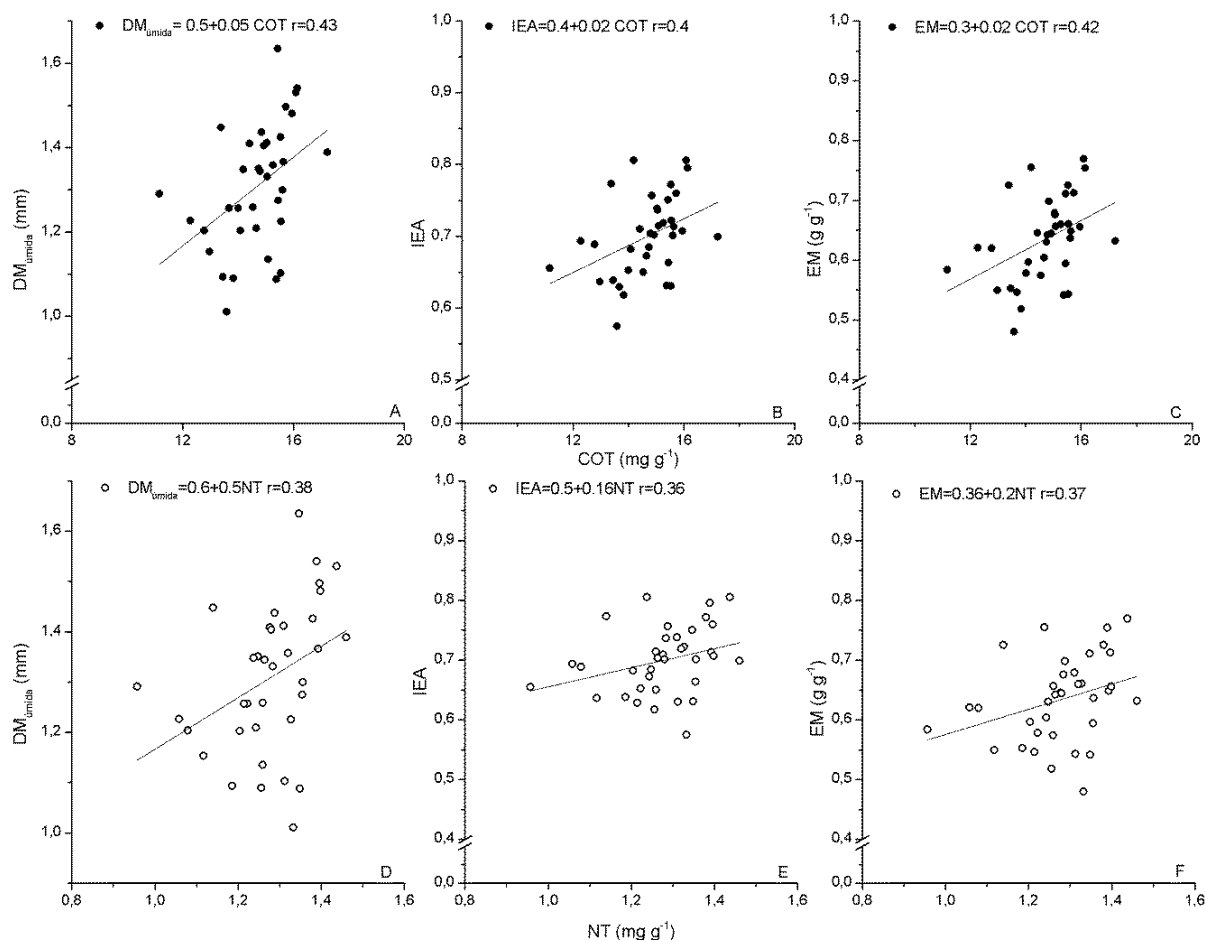


Figura 12. Correlação de Pearson ($p < 0.05$) no Latossolo na camada de 0-10 cm entre diâmetro médio dos agregados via húmida (DM_{úmida}), índice de estabilidade de agregados (IEA) e estabilidade de macroagregados (EM) com o carbono orgânico total COT (A,B e C) e teor de Nitrogênio total NT (D,E e F).

2.4 DISCUSSÃO

2.4.1 Potencial de C e N mineralizáveis e C da biomassa microbiana do solo

A qualidade contrastante dos resíduos culturais explica o comportamento quanto aos valores de C_{min} entre o girassol e triticale cultivados antes da crotalária (Tabelas 40 e 41). As relações entre C e N, assim como os maiores teores de lignina dos resíduos de triticale resultam em uma menor decomposição dos resíduos (Rigon et al., 2018), aumentando a cobertura e a proteção física do solo, em contraste com o resíduo de girassol, os quais resultam em um fluxo de CO₂ pouco superior, como já relatado neste experimento. Além disso, com a estação seca bem definida de inverno, característica da região, o girassol apresenta um desenvolvimento

significativamente limitado quando comparado ao triticale nestas condições, apesar de também ser considerada uma espécie tolerante a seca.

Embora a qualidade dos resíduos influencie significativamente os atributos do solo, a quantidade de resíduos culturais aportados na superfície do solo também é importante e ajuda a justificar os valores mais baixos de Carbono mineralizável da primavera por meio da ausência de resíduos no tratamento escarificação/pousio. Estes resultados podem auxiliar a explicar as sensíveis tendências na C_{BMS} a partir desta rotação de culturas, embora não tenha sido observada significância estatística. Os teores de C_{min} assim como C_{BMS} são importantes indicadores na dinâmica da qualidade do solo e são consideradas frações ativas da MOS (Franzluebbers, 2002).

2.4.2 Teores de C e N totais, Carbono e Nitrogenio orgânico particulado (COP e NP)

A ausência de resíduos culturais na primavera por meio da escarificação/pousio explica os valores mais baixos de COP e NP (Tabela 43). Este resultado confirma que estas frações são mais sensíveis ao manejo cultural (Plaza-Bonilla et al., 2014). O seu acúmulo na superfície do solo também confirma as contribuições para o TOC e NT por meio dos resíduos culturais. Outro resultado interessante foi em relação aos menores teores de C e N nas frações lábeis (COP e NP) na superfície do solo por meio da escarificação/pousio seguido do tratamento com crotalária. Devido à fixação biológica, o alto teor de N no resíduo de crotalária como única leguminosa de cultivo na primavera, resulta em uma fonte fresca de C facilmente mineralizável e, conseqüentemente, em menores frações lábeis na superfície do solo. A crotalária tem altos teores de lignina os quais podem estar associados a fatores que condicionam o processo de humificação e estabilização da MOS. Isto deve-se à teoria de formação do húmus que considera a modificação e condensação da lignina sendo um primeiro caminho para a estabilização do C no solo (Stevenson, 1994). Entretanto, as regiões tropicais com inverno seco aliado às altas temperaturas condicionam resíduos com estas características a serem facilmente consumidos pelos microorganismos do solo após o seu manejo, resultando em uma menor proteção física na superfície do solo (Zhou et al., 2016). Tal inferência é confirmada pelas menores frações lábeis (COP, NP) na superfície do solo por meio do cultivo da crotalária. No entanto, a qualidade dos resíduos é importante e desempenha um papel fundamental na regulação da estabilização e /

ou decomposição da MOS. É importante ressaltar que ambos os processos são necessários; primeiramente a mineralização que além da ciclagem de nutrientes em curto e médio prazos, é importante na manutenção da comunidade microbiana ativa, pois essas são precursoras dos processos de formação das substâncias húmicas, enquanto que a estabilidade do resíduo também é desejável para a manutenção da cobertura superficial do solo (Hurisso et al., 2016), principalmente em períodos com déficit hídrico.

No entanto, na camada subsequente (10-20 cm) os impactos sobre a fração lábil tiveram comportamentos opostos entre as culturas de primavera, destacados principalmente a crotalária nestas frações, bem como o COT e NT. De acordo com Franzluebbbers e Stuedemann (2002), o acúmulo de frações lábeis abaixo das camadas superficiais é reflexo da contribuição radicular, corroborando a tendência de maiores valores da crotalária, assim como do girassol entre as culturas de inverno, mesmo que as frações lábeis não tenham sido distintas. Além disso, em estudo prévio no experimento do Latossolo observou-se correlação entre o comprimento radicular das culturas de cobertura e COP (Rosolem e Garcia, 2016). Uma explicação poderia ser que o C adicionado na MOS por meio das raízes é maior que os resíduos superficiais. Sabe-se que a limitação de N é um dos principais fatores que limitam o sequestro de C (Wieder et al., 2015). Assim, as maiores concentrações de C e N com o cultivo da crotalária nas culturas de primavera revelam a importância do N biologicamente fixado para o acúmulo de C orgânico e substrato para COP e NP, como já relatado por Raphael et al. (2016). De acordo com autores, as rotações de culturas melhoram a qualidade do solo em comparação com a escarificação/pousio, pois proporcionou maiores teores de MOS na camada superficial. É claro que a escarificação/pousio condiciona a mineralização da MOS além de uma intensa redução nos teores de C (Paradelo et al., 2016). É importante enfatizar que mesmo dois anos antes da amostragem do solo, pode haver algum efeito do próprio processo de escarificação, o que ajuda a explicar esses resultados.

Em relação aos baixos valores de C_{BMS} , os altos teores de argila destes solos, poderiam resultar em menores teores de C disponível para o fluxo de CO_2-C , mesmo que tenha um maior conteúdo de C_{BMS} , pode ser decorrente da maior proteção da argila e/ou esta induza aos mecanismos de agregação, como já relatado por Franzluebbbers et al. (1999), o que poderia ajudar a explicar o fato da C_{BMS} não foi correlacionado com o C_{min} , embora esta relação seja de certa forma usual

(Franzluebbers et al., 2000). De acordo com Franzluebbers (2016), os altos valores de C_{min} expressam o maior potencial de atividade microbiana no solo armazenada em substratos de C prontamente disponíveis.

Quanto ao Latossolo, embora a brachiaria possa apresentar fixação biológica de N (Boddey e Victoria, 1986), bem como a alta capacidade de produção de matéria seca e absorção de N, nenhuma diferença foi observada nessa cultura, mesmo o comportamento desta tendência na NP. Estes resultados estão de acordo com estudos prévios, após 3 anos (Garcia e Rosolem, 2013) e 8 anos (Raphael et al., 2016), desde a instalação deste experimento em 2006. Os maiores valores de C_{min} sob a brachiaria ($p < 0,10$), (dados não mostrados) pode ser decorrente da maior quantidade de resíduos assim como compostos tais como exsudatos que estimulam a atividade microbiana (Balota e Euller, 2011).

Devido aos maiores teores de C e N e frações lábeis pelas culturas de primavera, esperava-se que houvesse também efeitos nos teores de N_{min} assim como no N inorgânico entre as rotações, ou ao menos diferenças entre a escarificação/pousio, mesmo que tenha sido observada ligeira tendência, porém diferenças estatísticas não foram observadas. Isto pode ser decorrente de uma maior estabilidade das frações de N, que pode estar relacionada às comunidades microbianas adaptadas a solos enriquecidos com C (Romanyà et al., 2011), tal hipótese não pode ser descartada em sistemas de rotações de culturas com 3 ciclos anuais por no mínimo 10 anos.

As fortes correlações entre C_{min} (0-3d) e C_{min} (0-24d) em ambas as profundidades do solo e ainda com os mesmos coeficientes de correlação Pearson em cada tipo de solo (para o Nitossolo e Latossolo $p < 0,05$ $r = 0,93$ e $r = 0,89$, respectivamente) evidenciam que a avaliação em curto período de tempo consegue fornecer um índice estável para análise comparativa da qualidade do solo (Haney et al., 2004). Além disso, as altas correlações entre C_{min} (0-3d) com os teores de C e N e o C_{BMS} corroboram com estudo que avaliou 87 amostras de solo em SSD dos Estados Unidos (Causarano et al., 2008). Esta associação próxima entre o conteúdo de C e N do solo é de certa forma comum em solos em todo o mundo (Anaya e Huber-Sannwald, 2015; Abreu et al., 2011). Os resultados evidenciam que os ciclos de C e N do solo estão relacionados aos processos de mineralização e imobilização, indicando uma forte relação entre as transformações do solo N e o fluxo de C-CO₂ do solo (Balota e Auler, 2011).

2.4.3 Agregados do solo

O ligeiro menor DMúmido e IEA na superfície do solo por meio da escarificação/pousio (Tabela 43) pode ser explicado em parte pelo próprio processo mecânico de ruptura dos agregados pela escarificação. No entanto, a influência observada na camada de 0,1-0,2 m por meio deste tratamento também pode ser explicada, o que resulta em melhores impactos imediatos na estrutura do solo, que não durou até o segundo ano (Calonego et al., 2017). Mesmo que este processo tenha ocorrido 2 anos antes da coleta de solo, pode-se ainda ter algum efeito latente, pois são consideradas implicações efêmeras na física do solo pelo processo de escarificação (Abreu et al., 2004). Além disso, as rotações contínuas das culturas melhoram a agregação na superfície do solo, como já relatado no Latossolo em anos anteriores (Castro et al., 2011). Assim, as sequências de cultivo intenso contribuem mais na física do solo do que propriamente a utilização de cultivos contínuos.

Os melhores resultados de agregação do solo obtidos com a crotalária e o sorgo forrageiro também já foram relatados por Calonego et al. (2017). A diversidade de rotação de culturas é importante devido à mineralização de resíduos, que devido a ampla composição (diferentes safras) condiciona a formas cada vez mais estáveis que podem ser adsorvidas nas superfícies minerais ou incorporadas em agregados. A rotação de culturas em sistemas agrícolas que mantêm a cobertura da superfície do solo aumenta a estabilidade dos agregados, sendo particularmente importante em solos tropicais devido à proteção física da MOS (Rosolem e Garcia, 2016). A composição dos resíduos que detém a característica de rápida mineralização, normalmente de baixos teores de lignina e relação C N têm efeitos transitórios nas características de agregação do solo. Enquanto que conteúdos altos de lignina e alta relação C N são mais efetivos a longo prazo (Wright e Hons, 2004, Abiven et al., 2009). Embora o alto teor de N destes resíduos, a composição bioquímica pela crotalária (Rigon et al., 2018) explica os impactos dos experimentos anteriores

A textura do solo mais arenosa no Latossolo pode explicar os menores efeitos observados quanto à estabilidade de agregados (Tabela 44), pois a argila tem alta capacidade de estabilização do C orgânico (Baldock et al. 1997), além da grande

área superficial específica onde a matéria orgânica pode ser fortemente adsorvida por ligações de trocas e pontes de cátions polivalentes (Sposito et al. 1999).

2.5 CONCLUSÃO

Os resíduos culturais das rotações influenciam os atributos relacionados a matéria orgânica e estabilidade de agregados principalmente no solo com alto teor de argila.

O cultivo de plantas de primavera em solos tropicais sob SSD, principalmente em regiões de outono-inverno com déficit hídrico, incrementa os teores de C e N do solo e as frações lábeis, sendo mais intenso com a crotalária. Neste sistema, a rotação de triticale/crotalária confere além da proteção física o aumento das frações lábeis que servem de substrato na estabilização da MOS e de agregados. Além disso, a baixa mineralização de C N do solo por meio da crotalária sugere uma baixa manutenção de substrato, sendo possivelmente devido ao alto índice de estabilidade de agregados nas camadas analisadas.

REFERÊNCIAS

- ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – a literature analysis. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 41, p. 1–12, 2009.
- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ABREU S.L.; GODSEY C. B.; EDWARDS J.T.; WARREN, J. G. Assessing carbon and nitrogen stocks of no-till systems in Oklahoma. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 117, p. 28–33, 2011.
- ANAYA, C.A.; HUBER-SANNWALD, E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 147, p. 20–29, 2015.
- BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.; NELSON, P.N.; SKENE, T.M.; GOLCHIN, A.; CLARKE, P. Assessing the extent of decomposition of natural organic materials using solid-state ¹³C-NMR spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 35, p. 1061–108, 1997.

- BALOTA, E.L.; AULER, P.A.M. Soil Carbon and Nitrogen Mineralization under different tillage systems and permanent groundcover cultivation between orange trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 637-648, 2011.
- BODDEY, R.M.; VICTORIA, R.L. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using ¹⁵N labelled organic matter and fertilizer. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 90, p. 256–292, 1986.
- BOSSUYT, H.; SIX, J.; HENDRIX, P. F. Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agroecosystems using carbon-14 labeled plant residue. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.66, p.1965-1973, 2002.
- CALONEGO, J.C.; RAPHAEL, P.A.J; RIGON, J.P.G.; OLIVEIRA NETO, L.DE.; ROSOLEM, C.A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiselling. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 85, p. 31–37, 2017.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, 56: 777–783, 1992.
- CASTRO, G.S.A.; CALONEGO, J.C.; CRUSCIOL, C.A.C. Soil physical properties in croptation systems as affected by liming materials. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1690–1698, 2011.
- CAUSARANO, H.J.; FRANZLUEBBERS, A.J.; SHAW, J.N.; REEVES, D.W.; RAPER, R.L.; WOOD, C.W. Soil organic carbon fractions and aggregation in the Southern Piedmont and coastal plain. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 72, p. 221-230, 2008.
- DERPSCH, R.; BENITES, J.R. **Situation of conservation agriculture in the world**. In: Proc. II World Congr. Conserv. Agric., 11–15 August 2003, Iguassu Falls, Brazil, pp. 66–70, 2003.
- DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A.J.; DUIKER, S.W.; REICOSKY, D.C.; KOELLER, K.; STURNY, W.G.; SÁ, J.C.M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research?. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 137, p. 16–22, 2014.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. **Defining and assessing soil quality**. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Madison, 1994, pp. 3–35.
- EMBRAPA. 1997. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 212 p.
- FONTOURA, S.M.V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the South-Central region of the State of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1677-1684, 2010.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONEYCUTT, C.W.; SCHOMBERG, H.H.; HONS, F.M. Flush of carbon dioxide following rewetting of dried soil relates to active organic pools. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p. 613-623, 2000.

FRANZLUEBBERS, A.J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 66, p. 95–106, 2002.

FRANZLUEBBERS, A.J. Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern United States. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 74, p. 347–357, 2010.

FRANZLUEBBERS, A.J. Should Soil Testing Services Measure Soil Biological Activity? – **Agricultural & Environmental Letters** [S.l.], v.1, p.1-5, 2016.

HANEY, R.L.; FRANZLUEBBERS, A.J.; PORTER, E.B.; HONS, F.M.; ZUBERER, D.A. Soil Carbon and Nitrogen Mineralization: Influence of Drying Temperature. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, p. 489–492, 2004.

HURISSO, T. T. Comparison of permanganate-oxidizable carbon and mineralizable carbon for assessment of organic matter stabilization and mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 80, n. 5, p. 1352–1364, 2016.

JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 95, p. 97–109, 2007.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 175-187, 2004.

PARADELO, R.; OORT, F.VAN.; BARRÉ, P. BILLIOU, D.; CHENU, C. Soil organic matter stabilization at the pluri-decadal scale: Insight from bare fallow soils with contrasting physicochemical properties and macrostructures. **Geoderma**, Amsterdam, v. 275, p. 48–54, 2016.

PLAZA-BONILLA, D.; ALVARO-FUENTES, J.; CANTERO-MARTINEZ, C. Identifying soil organic carbon fractions sensitive to agricultural management practices. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 139, p. 19–22, 2014.

RAPHAEL, J.P.A.; CALONEGO, J.C.; MILORI, D.M.B.P.; ROSOLEM, C.A. Soil organic matter in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 155, p. 45–53, 2016.

REICOSKY, D.C. Conservation tillage is not conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 70, p. 103A-108A, 2015.

- RIGON, J.P.G.; CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. ; SCALA JUNIOR, N. L. . Short-term CO₂ emissions and soybean yield in rotation with cover crops under no-till. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.75, p.18-26, 2018.
- ROMANYA, J.; ARCO, N.; SOLA MORALES, I.; ARMENGOT, L.; SANS, F.X. Carbon and Nitrogen stocks and Nitrogen mineralization in organically managed soils amended with composted manures. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 41, p. 1337-1347, 2011.
- ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A. Soil carbon as affected by cover crops under no-till under tropical climate. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 32, p. 495–503, 2016.
- SAINJU, U.M.; JABRO, J.D.; CAESAR-TONTHAT, T. Tillage, cropping sequence, and nitrogen fertilization effects on dryland soil carbon dioxide emission and carbon content **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 39, p. 935–945, 2010.
- SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 79, p. 7e31, 2004.
- SIX, J.; ELLIOTT, E.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 64, p. 1042- 1049, 2000.
- SIX, J.; GUGGENBERGER, G.; PAUSTIAN, K. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 52, p. 607–618, 2001.
- SPOSITO, G.; SKIPPER, N.T.; SUTTON, R.; PARK, S.; SOPER, A.K.; GREATHOUSE, J.A. Surface geochemistry of the clay minerals. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New York, v. 96, n. 7, p. 3358-3364, 1999.
- STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2nd ed. New York: J. Wiley. 1994. 443p.
- VANDENBYGAART, A. J. The myth that no-till can mitigate global climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 216, p. 98-99, 2016.
- WIEDER, W.R.; CLEVELAND, C.C.; SMITH, W.K.; TODD-BROWN, K. Future productivity and carbon storage limited by terrestrial nutrient availability. **Nature Geoscience**, Oxford, v. 8, p. 441–444, 2015.
- WRIGHT, A.L.; HONS, F.H. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 68, p. 507–513, 2004.
- ZHOU, G.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; FENG, C.; CHEN, L.; YU, Z.; XIN, X.; ZHAO, B. Effects of changes in straw chemical properties and alkaline soils on bacterial

communities engaged in straw decomposition at different temperatures. **Nature, Scientific Reports**, Oxford, v. 6, p. 22186, 2016.