

Lucas Borges Ferreira

**ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS
DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMAS DE
CULTIVO DE CEBOLA**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Agroecossistemas
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Agroecossistemas.
Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss
Coorientador: Dr. Claudinei Kurtz

Florianópolis
2018

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

Ferreira, Lucas Borges

ATRIBUTOS QUÍMICOS E FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA
ORGÂNICA DO SOLO SOB SISTEMAS DE CULTIVO DE CEBOLA / Lucas
Borges Ferreira ; orientador, Arcângelo Loss, coorientador,
Claudinei Kurtz, 2018.

81 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

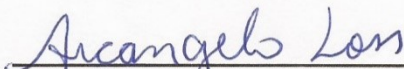
1. Agroecossistemas. 2. Allium cepa L.. 3. Carbono
Orgânico do Solo. 4. Adubação Verde. 5. Sistema Plantio
Direto. I. Loss, Arcângelo. II. Kurtz, Claudinei. III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

“Atributos Químicos e Frações Granulométricas da Matéria Orgânica do Solo Sob Sistemas de Cultivo de Cebola”

Por

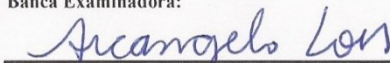
LUCAS BORGES FERREIRA

Dissertação julgada adequada, em 26/03/2018, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.

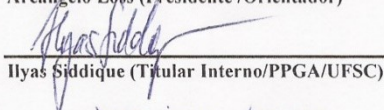


Arcangelo Loss (Coordenador do Programa)

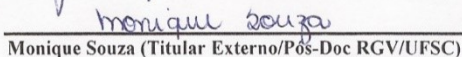
Banca Examinadora:



Arcangelo Loss (Presidente /Orientador)

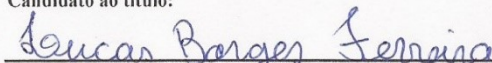


Ilyas Siddique (Titular Interno/PPGA/UFSC)



Monique Souza (Titular Externo/Pós-Doc RGV/UFSC)

Candidato ao título:



LUCAS BORGES FERREIRA

Florianópolis, 26 de março de 2018

Deo omnis gloria - para Deus toda a glória (São Josemaria Escrivá, Caminho, número 780).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pelas inúmeras graças concedidas ao longo de toda minha vida e pelas pessoas maravilhosas que colocou em meu caminho.

Aos meus pais Vera e Valerio, a minha namorada Natália e a minha tia Aurea pelo amor, orações e apoio em todos os momentos.

A todos os meus familiares que de alguma forma contribuíram nesta etapa da minha vida.

Ao professor Arcângelo Loss por ter aceitado ser meu orientador de mestrado e por todo o suporte a mim concedido.

Aos professores Leonardo de Brito Andrade e Paulo César Polisel pelas cartas de recomendação que me possibilitaram o ingresso no mestrado.

À secretaria Fabiana, do Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas (PPGA), por toda orientação e auxílio relativos aos procedimentos formais do mestrado.

Aos professores Ilyas Siddique e Monique Souza que aceitaram avaliar minha dissertação.

À toda a equipe do Núcleo de Ensino Pesquisa e Extensão e Agroecologia (NEPEA), especificamente do laboratório de solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo suporte técnico, pelos ensinamentos e acima de tudo pela amizade.

A todos os professores e funcionários que contribuíram para minha formação.

Ao PPGA e a UFSC por todo o apoio concedido.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado.

À EPAGRI (Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina), em especial ao Dr. Claudinei Kurtz, pela condução do experimento a campo e pela coorientação.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste mestrado.

RESUMO

Práticas convencionais de manejo do solo, por degradarem os atributos edáficos, têm sido questionadas. Neste contexto, sistemas de manejo do solo com bases conservacionistas por utilizarem cobertura permanente do solo aliados a sucessão ou rotação de culturas mantêm ou melhoram esses atributos. Objetivou-se avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura em sistemas de cultivo de cebola sob sucessão ou rotação de culturas sobre os atributos químicos e as frações da matéria orgânica do solo (MOS) nos agregados do solo e na terra fina seca ao ar (TFSA). O experimento foi implantado em abril de 2007 em um Cambissolo Húmico, em Ituporanga, Santa Catarina (SC), com oito tratamentos: T1 - sucessão cebola/milho em sistema plantio direto (SPD); T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em sistema de preparo convencional (SPC); T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD. Em julho de 2014, coletaram-se amostras indeformadas de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Destas amostras obteve-se os agregados do solo e a TFSA. Nestes quantificou-se o carbono orgânico total (COT), o nitrogênio total (NT), os atributos químicos do solo e realizou-se o fracionamento granulométrico da MOS. O revolvimento do solo e a sucessão milho/cebola em SPC reduziu os teores de COT, COp, COam, NT, Np, Nam tanto nos agregados como na TFSA quando comparado ao SPD com o uso de plantas de cobertura em sucessão e rotação com a cebola. O uso de mucuna preta e centeio em sucessão aumentou, de maneira geral, os teores de COT, NT, K, P, COp, COam Np, Nam tanto nos agregados como na TFSA quando comparado com a sucessão com somente gramíneas ou somente leguminosas. O uso de plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas, principalmente coquetel de espécies no verão e sucessão de leguminosa no verão e gramínea no inverno, de maneira geral, incrementou os atributos químicos do solo e a MOS tanto nos agregados como na TFSA. De maneira geral, na TFSA observou-se maiores valores de COT, NT, COp, Np, Ca e K quando comparado com os agregados do solo. Já nos agregados do solo observou-se maiores índices de acidez do solo, com menores valores de pH, maiores de H+Al e Al, maiores valores de P e Mg em comparação a TFSA. As principais mudanças decorrentes dos sistemas de manejos adotados e do

uso das diferentes combinações de plantas de coberturas utilizadas foram observadas através da análise da matéria orgânica particulada, principalmente nos agregados do solo.

Palavras-chave: *Allium cepa* L., carbono orgânico do solo, agregados do solo, terra fina seca ao ar, adubação verde, sistema plantio direto.

ABSTRACT

Conventional practices of soil management, by degrading soil attributes, have been questioned. In this context, soil management systems with conservationist bases that use permanent soil coverage allied to succession or crop rotation maintain or improve these attributes. The objective of this study was to evaluate the influence of different species of cover plants in onion systems under succession or crop rotation on chemical attributes and soil organic matter fractions (SOM) in soil aggregates and in dry fine soil at air (bulk soil). The experiment was implemented in April 2007 in a Humic Cambisol, in Ituporanga, Santa Catarina (SC), with eight treatments: succession of onion and maize in no-tillage system (NTS) (T1); rotation of soil cover plants (winter), and biennial onion in NTS (T2); rotation of maize, winter grasses, and annual onion in NTS (T3); succession of velvet bean, and annual onion in NTS (T4); rotation of millet, soil cover plants (winter), and annual onion in NTS (T5); succession of velvet bean, rye, and annual onion in NTS (T6); succession of maize, and onion in conventional tillage system - CTS (T7); succession of intercrops of soil cover plants (summer), and annual onion in NTS (T8). In July 2014, undisturbed soil samples were collected in the 0-5, 5-10 and 10-20 cm layers. From these samples, the soil aggregates and the bulk soil were obtained. The total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), soil chemical attributes and the granulometric fractionation of the SOM was quantified. Periodic soil turning (CTS) in the succession of maize, and onion (T7) reduces TOC, particulate organic carbon (POC), organic carbon associated with minerals (OC_{am}), TN, particulate nitrogen (PN), nitrogen associated with minerals (N_{am}) both in the aggregates and the TFSA when compared to NTS with the use of cover plants in succession and crop rotation with onion. The use of velvet bean and rye in succession increased in general the contents of TOC, TN, K, P, POC, OC_{am}, PN, N_{am} both in the aggregates and bulk soil when compared to the sequence with only grasses or only legumes. The use of cover crops of different botanical families, mainly intercrops of soil cover plants summer, and succession of legumes in summer and grasses in winter, in general, increased the chemical attributes of the soil and SOM both in the aggregates and bulk soil. In general, higher values of TOC, TN, POC, PN, Ca and K were observed in bulk soil when compared to soil aggregates. In the soil aggregates, higher soil acidity indexes were observed, with lower pH values, higher H + Al and Al, higher P and Mg values compared to bulk soil. The main changes resulting from the management systems adopted and the use of the different combinations

of cover plants used were observed through the analysis of particulate organic matter, mainly in the soil aggregates.

Keywords: *Allium cepa* L., soil organic carbon, soil aggregates, bulk soil, green manure, no-till system.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e bioquímicas (g kg^{-1}) e produção de matéria seca (MS, em kg ha^{-1}) de algumas culturas e plantas de cobertura.....	28
Tabela 2. Tratamentos implantados para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2010, Ituporanga, SC, Brasil.....	35
Tabela 3. Tratamentos implantados para cultivo de cebola de 2011 a 2013, Ituporanga, SC, Brasil.....	37
Tabela 4. Produção da matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura (em kg ha^{-1}) e produtividade de bulbos de cebola (Mg ha^{-1}) no ano de 2014 sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	40
Tabela 5. Diâmetro médio geométrico (DMG em mm) e massa (g) dos macroagregados e microagregados em Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	41
Tabela 6 - Valores médios de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), em g kg^{-1} , e relação C/N na TFSA e nos agregados de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	45
Tabela 7 - Valores médios de pH, H+Al e alumínio (Al), em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	52
Tabela 8 - Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, e potássio (K), em mg kg^{-1} , nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	54
Tabela 9 - Valores médios de fósforo (P), em mg kg^{-1} , de CTC efetiva (Capacidade de Troca Catiônica efetiva) e de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ (Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....	56

Tabela 10 - Valores médios de valor S (somatório de bases), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor m (Saturação por Alumínio) e valor V (Saturação por bases), em %, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....58

Tabela 11 - Valores médios de carbono orgânico particulado (CO_p) e carbono orgânico associado aos minerais (CO_{am}), em g kg^{-1} , nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....63

Tabela 12 - Valores médios de nitrogênio particulado (N_p) e nitrogênio associado aos minerais (N_{am}), em g kg^{-1} , nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.....65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF- Ácido Fúlvico
Agreg.- Agregados do Solo
AH- Ácido Húmico
CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBM- Carbono da Biomassa Microbiana
Cel/Lig- Relação entre celulose e lignina
Cfa- Clima subtropical úmido mesotérmico com verões quentes
C/N - Relação entre carbono e nitrogênio
COam- Carbono Orgânico associado aos minerais
COD- Carbono Orgânico Dissolvido
COEAQ- Carbono Orgânico Extraído com Água Quente
COp- Carbono Orgânico particulado
COT- Carbono Orgânico Total
CTC- Capacidade de Troca Catiônica
CTC_{pH7,0}- Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0
CV- Coeficiente de Variação
DMG- Diâmetro Médio Geométrico dos agregados
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI- Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina
FBN- Fixação Biológica do Nitrogênio
GO- Goiás
HUM- Humina
LABCEN- Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio
lignina/N- Relação entre lignina e nitrogênio
MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MOam- Matéria Orgânica associada aos minerais
MOL- Matéria Orgânica Leve
MOp- Matéria Orgânica particulada
MOS- Matéria Orgânica do Solo
MS- Matéria Seca
Nam- Nitrogênio associado aos minerais
NBM- Nitrogênio da Biomassa Microbiana
NEPEA-SC- Núcleo de Ensino Pesquisa e Extensão em Agroecologia de Santa Catarina
Np- Nitrogênio particulado
N-P-K- Nitrogênio, Fósforo e Potássio
NT- Nitrogênio Total

pH- potencial Hidrogeniônico
pH-H₂O- potencial Hidrogeniônico em água
PPGA- Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas
Prod.- Produtividade
QS- Qualidade do Solo
RS- Rio Grande do Sul
SC- Santa Catarina
SCM- Sistema Cultivo Mínimo
SMP- Shoemaker, McLean e Pratt
SPC- Sistema Preparo Convencional
SPD- Sistema Plantio Direto
SPDH - Sistema Plantio Direto de Hortaliças
TFSA- Terra Fina Seca ao Ar
Trat.- Tratamentos
T1- sucessão cebola/milho em SPD
T2- rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD
T3- rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD
T4- sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD
T5- rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD
T6- sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD
T7- sucessão milho/cebola em SPC
T8- sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD
UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina
valor m- Saturação por Alumínio
valor S- Somatório de bases (Ca, Mg, K)
valor V- Saturação por bases (Ca, Mg, K)

LISTA DE SÍMBOLOS

(%) - Por cento
 μm - micrômetro
 $^{\circ}\text{C}$ - Graus Celsius
 \emptyset - diâmetro
(+) - mais
(-) - menos
(x) - multiplicação
(/) - divisão
($>$) - maior
(\geq) - maior ou igual
Al- Alumínio
 Al^{+3} - Cátion de alumínio
C- Carbono
Ca- Cálcio
 Ca^{+2} - Cátion de Cálcio
 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Gesso Agrícola
cm - centímetro
 cmolc dm^{-3} - centímol carga por decímetro cúbico
 cmolc kg^{-1} - centímol carga por quilograma
g - grama
 g kg^{-1} - grama por quilograma
 g L^{-1} - grama por litro
H- Hidrogênio
 H_2O -água
 H^{+}Al - Acidez Potencial
ha - hectare
K- Potássio
 K^{+} - Cátion de potássio
 K_2O - Óxido de Potássio
kg - quilograma
 kg ha^{-1} - quilograma por hectare
 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ - quilograma por hectare por ano
 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ de N - quilograma por hectare por ano de nitrogênio
m - metros
 m^2 - metros quadrados
Mg- Magnésio
 Mg^{+2} - Cátion de magnésio
 mg dm^{-3} - miligrama por decímetro cúbico
 Mg ha^{-1} - Megagrama (toneladas) por hectare

mg kg⁻¹ - miligrama por quilograma

mL - mililitro

mm - milímetro

mol L⁻¹ - mol por litro

N- Nitrogênio

P- Fósforo

P₂O₅ - Pentóxido de difósforo

S- Enxofre

t - tonelada

t ha⁻¹ - tonelada por hectare

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1. Produção de cebola em Santa Catarina	23
2.2. Agregação do solo	24
2.2.1. Formação dos agregados do solo.....	24
2.2.2. Influência dos sistemas de manejo na agregação do solo.....	25
2.2.3. Influência das plantas de cobertura na agregação do solo.....	27
2.3. Atributos químicos do solo	29
2.3.1. Fertilidade do solo.....	29
2.3.2. Matéria Orgânica do Solo: carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo.....	30
3. HIPÓTESES.....	33
4. OBJETIVOS	33
4.1. Geral.....	33
4.2. Específicos	33
5. MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1. Localização e caracterização da área experimental.....	34
5.2. Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura e produtividade de cebola	39
5.3. Coletas de solo e análises realizadas	40
5.3.1. Atributos químicos dos agregados e da TFSA	41
5.3.2. Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e relação C/N dos agregados e da TFSA	42
5.3.3. Fracionamento granulométrico da MOS dos agregados e da TFSA.....	42
5.4. Análises Estatísticas	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1. COT, NT e relação C/N na TFSA e nos agregados.....	44
6.2. Atributos químicos na TFSA e nos agregados	51
6.2.1. pH, H+Al e Al na TFSA e nos agregados	51
6.2.2. Ca, Mg e K na TFSA e nos agregados	53
6.2.3. P, CTC efetiva e CTC $pH_{7,0}$ na TFSA e nos agregados	55
6.2.4. Valor S, valor m e valor V na TFSA e nos agregados.....	57
6.3. Fracionamento granulométrico na TFSA e nos agregados.....	62
7. CONCLUSÕES.....	68
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
9. REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma espécie da família Amaryllidaceae amplamente utilizada na alimentação humana (SOUZA e LORENZI, 2012). A estimativa de produção mundial desta cultura em 2016 foi de 93,16 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018). No Brasil a estimativa de produção em 2017 foi de 1,7 milhões de toneladas de cebola, com destaque para o estado de Santa Catarina (SC), que é o maior produtor nacional, com uma produção em torno de 509 mil toneladas (IBGE, 2017). A cadeia produtiva desta hortaliça movimentada, aproximadamente, 350 milhões de reais por ano em SC e envolve cerca de 6.500 produtores (FOLTRAN, 2015).

Para o seu cultivo, parte significativa da área de produção em SC utiliza o sistema de preparo convencional do solo (SPC) caracterizado pelo intenso revolvimento do solo com uma aração e uma ou mais gradagens niveladoras (MAGDOFF e VAN ES, 2009), ou ainda, utiliza-se o escarificador ou a enxada rotativa em substituição ao arado. Este manejo vem causando a degradação física, química e biológica do solo (PEREIRA et al., 2013; LOSS et al., 2015, SANTOS et al., 2017). Portanto, apesar dos benefícios econômicos e sociais, o sistema atual de produção de cebola precisa ser modificado para que se atenda simultaneamente às necessidades econômicas, sociais e ambientais, caracterizando um sistema produtivo e sustentável.

Diante desta perspectiva, tem-se desenvolvido alguns trabalhos com o sistema plantio direto (SPD) de cebola no qual utiliza-se o revolvimento do solo restrito às linhas de plantio e o uso de espécies vegetais, solteiras ou consorciadas, para a produção de matéria seca que será depositada na superfície do solo antecedendo o plantio de mudas de cebola (KURTZ et al., 2009; EPAGRI, 2013; SILVA et al., 2014). O SPD de cebola altera positivamente as propriedades edáficas, tal como o incremento dos teores de carbono orgânico do solo e os atributos químicos relacionados a fertilidade do solo (SOUZA et al., 2013; SANTOS et al., 2017), bem como os índices de agregação do solo (USSIRI e LAL, 2009; LOSS et al., 2015).

Aliado ao SPD de cebola utiliza-se outras práticas como a rotação ou a sucessão de culturas e o cultivo consorciado ou solteiro de plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas (SILVA et al., 2014; LOSS et al., 2015). A rotação de culturas é definida como a alternância regular de diferentes culturas em um espaço de tempo em uma mesma área seguindo-se alguns princípios básicos como: evitar plantas da mesma família botânica, não repetir a espécie vegetal na mesma área num intervalo menor que um a três anos, usar espécies de diferentes hábitos de

crescimento. Já a sucessão de culturas é caracterizada como uma sequência de culturas, dentro do mesmo ano agrícola (SANTOS e REIS, 2003).

Ponto crucial no SPD é a utilização das plantas de cobertura, visto que estas protegem o solo dos agentes de erosão, participam ativamente da ciclagem de nutrientes, adicionam C orgânico ao solo através da fotossíntese e influenciam a agregação do solo (WOHLENBERG et al., 2004; LIMA FILHO et al., 2014). A composição das espécies vegetais a serem utilizadas no SPD determinará a dinâmica de produção e decomposição do material vegetal e a cobertura do solo ao longo do tempo (AMBROSANO et al., 2005; CALEGARI, 2008; OLIVEIRA et al., 2016).

Neste contexto, para se avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo do solo tem-se os indicadores de qualidade do solo (QS). A QS pode ser definida como a capacidade do solo em exercer suas funções na natureza (DORAN e SAFLEY, 1997). As funções do solo na natureza são: habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de água; habilidade de regular e compartimentalizar o fluxo de elementos químicos; promover e sustentar o desenvolvimento de raízes; manter um habitat biológico adequado; e responder ao manejo, resistindo à degradação (VEZZANI E MIELNICZUK, 2009). De acordo com a literatura, os atributos do solo que têm demonstrado serem bons indicadores dos efeitos dos sistemas de manejos na QS são a matéria orgânica do solo (MOS), suas frações físicas e químicas, e os macroagregados do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005; VEZZANI E MIELNICZUK, 2009; TIVET et al., 2013).

Todavia, são ainda incipientes os trabalhos que avaliam a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura no SPD e SPC de cebola, sobre os atributos químicos e as frações da MOS nos macroagregados do solo em comparação ao solo destorroadado (terra fina seca ao ar – TFSA, $\Phi < 2,00$ mm). Logo, faz-se necessário estudar as modificações que estes sistemas promovem nestes atributos edáficos, tanto em amostras indeformadas (macroagregados) como em amostras deformadas (TFSA). Assim como identificar qual a melhor composição de plantas de cobertura que favorece a cobertura do solo no SPD para o desenvolvimento da cebola.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Produção de cebola em Santa Catarina

A cebola é a terceira hortaliça em importância econômica para o Brasil (EPAGRI, 2013), com rendimento médio de 29,4 t/ha (IBGE, 2017). A região Sul do Brasil em 2017 concentrou por volta de 47,2% da produção do país e SC cerca de 29,9% da produção nacional. Em SC, destaca-se Ituporanga, município de maior produção nacional da cultura em 2016, com 135 mil toneladas (IBGE, 2016). Estima-se que em 2017 no estado de SC foram utilizados aproximadamente 20,6 mil hectares para o plantio da cebola (IBGE, 2017), sendo a sua produção a principal atividade econômica de cerca de 6.500 produtores catarinenses, com movimento por volta de 350 milhões de reais por ano na economia do estado (FOLTRAN, 2015).

Tradicionalmente em SC produz-se as mudas de cebola em canteiros e após cerca de 70 dias, de acordo com a cultivar utilizada, estas são transplantadas para a lavoura (EPAGRI, 2013). As cultivares de cebola utilizadas no estado, de acordo com o seu ciclo, são classificadas em: superprecoces, precoces e médias (EPAGRI, 2013). Dentre as cultivares de cebola, a Bola Precoce é destaque na região Sul do Brasil, sendo cultivada em 60% da área em SC e 50% no Paraná e Rio Grande do Sul (KURTZ et al., 2009).

Na lavoura comumente utiliza-se o sistema de preparo convencional (SPC) do solo no cultivo da cebola (EPAGRI, 2013). O SPC no cultivo da cebola é caracterizado pelo intenso revolvimento do solo com uma aração e uma ou mais gradagens niveladoras (MAGDOFF e VAN ES, 2009), ou ainda, utiliza-se o escarificador ou a enxada rotativa em substituição ao arado. Este manejo vem causando a degradação física, química e biológica do solo, o que fez com que se buscasse como alternativa de manejo do solo, o sistema plantio direto (SPD) de cebola (PEREIRA et al., 2013; LOSS et al., 2015; SANTOS et al., 2017).

O SPD de cebola caracteriza-se pelo transplante das mudas através de abertura de pequenos sulcos com profundidade de 10 cm na linha de transplante mantendo-se a matéria seca, oriunda de plantas de cobertura, no restante da área (EPAGRI, 2013). A utilização do SPD apresenta diversos benefícios, tais como: redução da erosão do solo, melhoria das condições físicas e da fertilidade do solo, incremento nos teores de MOS, aumento da atividade biológica (USSIRI e LAL, 2009; COSTA JUNIOR et al., 2012; TIVET et al., 2013).

Outras práticas conservacionistas do solo utilizadas no cultivo da cebola são: rotação de culturas, consórcio de espécies vegetais, adubação verde e uso de plantas de cobertura (LUCIANO et al., 2010; EPAGRI,

2013; SILVA et al., 2014; LOSS et al., 2015). Todas estas práticas de manejo alteram positivamente as propriedades edáficas, tal como o incremento dos teores de MOS e os índices de agregação do solo (LOSS et al., 2009a; 2015; SOUZA et al., 2013; SANTOS et al., 2017).

2.2. Agregação do solo

2.2.1. Formação dos agregados do solo

A estrutura do solo é entendida como o arranjo espacial das partículas sólidas e os poros do solo (CARTER, 2004; LEPSCH, 2011). Estes sólidos podem se organizar em unidades estruturais maiores, através do processo denominado agregação, o qual formam os agregados (LEPSCH, 2011). A agregação do solo é uma característica física relevante em relação às funções do solo, tais como a aeração, a permeabilidade, a capacidade de retenção de água pelo solo (BRAIDA et al., 2011; MEURER, 2012). Este atributo físico tem relevância não apenas para a sustentabilidade dos agroecossistemas, mas também para ecossistemas não agrícolas em situações de restauração de áreas degradadas, prevenção da erosão, mudanças globais ou armazenamento de carbono no solo (RILLIG e MUMMEY, 2006).

Os principais fatores que influenciam a agregação do solo são: a fauna do solo (minhocas e cupins), os microrganismos do solo (micorrizas, fungos saprófitas e bactérias), o sistema radicular, os agentes inorgânicos de ligação (cálcio e óxidos de ferro e alumínio) e as variáveis ambientais (ciclos de umedecimento e secagem, ciclos de congelamento e descongelamento e o fogo) (SIX et al., 2004). Estes autores sumarizaram as principais pesquisas que tentaram explicar o processo de formação dos agregados. A primeira delas propôs que os agregados eram compostos por partículas orientadas de argila ligadas à fração areia e que formavam estruturas primárias denominadas de domínios. E a MOS teria a função de aumentar a estabilidade desses domínios através da ligação da argila com a areia (EMERSON, 1959). Em seguida, apresentou-se a teoria de formação de microagregados, na qual estes seriam formados pela união de vários complexos organominerais compostos pela interação de MOS, metais polivalentes e argila (EDWARDS e BREMNER, 1967). Neste modelo rejeitou-se a contribuição da fração areia nos complexos organominerais, tal como havia sido proposto por Emerson (1959).

Posteriormente, formulou-se a teoria da hierarquia de formação de agregados (TISDALL e OADES, 1982). Nesta teoria propôs-se que a união de agentes ligantes diferentes (temporários, transitórios e persistentes) atua em diferentes estágios hierárquicos da agregação. Partículas primárias livres e agregados de tamanho menor que 20 µm são

unidos em microagregados de 20 a 250 μm por agentes de ligação persistentes (MOS humificada e complexos de cátions de metais polivalentes, óxidos e aluminossilicatos). Estes microagregados estáveis, por sua vez, estão unidos em macroagregados maiores que 250 μm por agentes de ligação transitórios (polissacáridos de origem vegetal e microbiana, matéria orgânica particulada) e temporários (raízes e hifas de fungos).

Em princípio acreditava-se que os agregados se formavam sequencialmente, ou seja, primeiro os microagregados e depois os macroagregados. No entanto, sugeriu-se uma pequena modificação na teoria da hierarquia de formação de agregados (OADES, 1984). Segundo este autor, as raízes e hifas de fungos (agentes de ligação temporária) que unem os macroagregados não são persistentes e com o tempo são decompostas em fragmentos que, revestidos com mucilagens produzidas durante a decomposição, se unem às argilas resultando na formação de microagregados dentro de macroagregados.

Para comprovar esta teoria, avaliou-se a hierarquia de formação de agregados em um experimento com diferentes ordens de solos (Luvissolo, Chernossolo e Latossolo). Concluiu-se que esta hierarquia só foi observada em solos nos quais a MOS é o principal agente de formação e estabilização dos agregados, o que não ocorre em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio principalmente, em que estes assumem o papel primordial de agentes ligantes dos agregados (OADES e WATERS, 1991).

Como citado anteriormente, os agregados podem ser divididos em classes pelo tamanho de seu diâmetro. Comumente, a divisão mais aceita e utilizada pelos pesquisadores é separada em: macroagregados ($\emptyset \geq 2,0$ mm), mesoagregados ($2,0 > \emptyset \geq 0,25$ mm) e microagregados ($0,25 \text{ mm} > \emptyset \geq 0,05$ mm) (EMBRAPA, 1997; COSTA JUNIOR et al., 2012; LOSS et al., 2015). A divisão dos agregados em classes é importante para compreender a dinâmica da agregação do solo e como os sistemas de cultivo e manejo do solo interferem na mesma.

2.2.2. Influência dos sistemas de manejo na agregação do solo

Os sistemas de cultivo e manejo do solo interferem na formação e estabilização dos agregados do solo, com destaque para a classe dos macroagregados. Estes são mais suscetíveis aos efeitos do manejo do solo devido ao seu tamanho ($\emptyset \geq 2,0$ mm) e aos tipos de agentes ligantes que os unem (temporários - raízes e hifas de fungos), os quais são mais afetados pela decomposição da microbiota (SILVA e MIELNICZUK, 1998; WOHLBERG et al., 2004).

Em estudo realizado em um Cambissolo Háplico em Ituporanga, SC, avaliou-se o efeito do período de tempo de adoção do SPD cultivado com fumo e cebola sobre alguns atributos físicos do solo, carbono orgânico total (COT) e infiltração de água no solo comparativamente à mata natural (LUCIANO et al., 2010). Observou-se no tratamento em SPD de cinco anos maiores valores de volume total de poros do solo (0-4 cm) e maior agregação do solo nas profundidades de 4-10 e 10-25 cm, e que estes, mais se aproximavam a área de mata natural, quando comparado aos tratamentos com SPD mais recentes.

Em pesquisa realizada em Latossolo Vermelho Distrófico no Cerrado do Centro-Oeste do Brasil, Costa Junior et al. (2012) avaliaram a influência do Cerrado nativo, do SPD, do SPC e da pastagem na agregação e nos teores de COT. Os autores observaram que o SPD proporcionou maior quantidade de macroagregados na camada superficial (0-5 cm) se comparado ao SPC. No entanto, o SPC e o SPD apresentaram menor proporção de macroagregados e maior de micro e mesoagregados se comparados ao Cerrado nativo e a pastagem na camada de 0-20 cm. Além disso, os teores de COT foram maiores nos macroagregados em comparação aos meso e microagregados.

Em dois Latossolos Vermelhos, um no Paraná e outro no Mato Grosso, avaliou-se as mudanças na distribuição de tamanho dos agregados e no teor de COT dos agregados após a conversão da vegetação nativa para o SPC e, posteriormente, a formação dos agregados e a recuperação do COT após a conversão do SPC para SPD (TIVET et al., 2013). Os autores concluíram que nos dois locais, a adoção contínua do SPC impactou negativamente na proporção de agregados estáveis em água e no COT. Já o SPD com diversidade de plantas de cobertura favoreceu o processo de formação dos macroagregados do solo (8-19 mm) e o aumento do estoque de COT nestes macroagregados para um valor semelhante ao que se observou na área com a vegetação nativa.

Em solos manejados sob SPC e SPD de cebola tem-se diferenças significativas na agregação do solo, com destaque para a classe dos macroagregados ($8,00 \text{ mm} > \varnothing \geq 2,0 \text{ mm}$) que são mais estáveis no SPD em comparação ao SPC (LOSS et al., 2015). Isto se deve à maior labilidade da matéria orgânica presente nos macroagregados. A estabilidade destes é dependente da presença de plantas e do aporte constante de resíduos vegetais ao solo (SIX et al., 2000; BRAIDA et al., 2011). Já o solo sob SPC apresenta perda de estabilidade e consequente quebra dos macroagregados (TIVET et al., 2013; LOSS et al., 2015). Devido ao revolvimento do solo que expõe a matéria orgânica que estava

protegida no interior dos macroagregados à decomposição pelos microrganismos (SIX et al., 2000).

Comumente solos sob vegetação natural quando submetidos a sistemas de manejo que revolvem e cultivam o solo e que apresentam baixo acúmulo de fitomassa, como o SPC, tendem a reduzir a estabilidade dos agregados devido a ruptura dos mesmos e, conseqüentemente, aumento da decomposição da MOS. Porém, sistemas conservacionistas do solo, como o SPD, por reduzirem e/ou, eliminarem o revolvimento do solo, juntamente com o acúmulo de fitomassa, usualmente incrementam a agregação do solo devido a exsudação de polissacarídeos pelo sistema radicular das plantas de cobertura e incrementam os teores de MOS (BRAIDA et al., 2011; LOSS et al., 2015; NASCENTE et al., 2015).

2.2.3. Influência das plantas de cobertura na agregação do solo

As plantas de cobertura influenciam distintamente a agregação do solo de acordo com as características de cada espécie (WOHLENBERG et al., 2004). A composição das espécies de plantas de cobertura utilizadas no SPD determina a dinâmica de produção e a decomposição do material vegetal e a cobertura do solo ao longo do tempo (AMBROSANO et al., 2005; CALEGARI, 2008; OLIVEIRA et al., 2016). Leguminosas, por realizarem a fixação biológica do nitrogênio (FBN), produzem uma fitomassa rica em nitrogênio (N), com baixa relação C/N e com baixos teores de lignina, o que favorece a rápida decomposição da matéria seca pelos microrganismos do solo. Já as gramíneas produzem uma fitomassa com alta relação C/N e com altos teores de lignina, o que retarda a decomposição da matéria seca pela microbiota do solo (CALEGARI, 2008; LIMA FILHO et al., 2014). A composição química e a produção de matéria seca de algumas culturas e plantas de cobertura podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e bioquímicas (g kg^{-1}) e produção de matéria seca (MS, em kg ha^{-1}) de algumas culturas e plantas de cobertura.

Atributos funcionais	Culturas / Plantas de cobertura							
	Aveia	Centeio	Ervilhaca	Girassol	Milheto	Milho	Mucuna	Nabo
COT	450	420	401	400	480	441	522	375
NT	14,5	14,8	21,5	14,9	14	20,3	24,4	20,4
P total	3,2	2,6	1,4	1,8	1,4	2,3	2,1	3,7
K total	26,6	16,6	23,2	24,6	29,2	17,9	14,1	34
Ca total	3,0	2,8	5,0	8,5	6,7	3,3	11,2	14,2
Mg total	1,7	1,7	2,4	2,0	4,1	2,2	2,9	5,8
Celulose	292	264	257	334	280	348	144	236
Lignina	76	84	83	85	54	48	56	68
C/N	34	32	19	25	40	52	19	21
Cel/Lig	4,0	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	3,0	3,0
MS	5311	5353	6025	5120	8122	6000	7220	5276

Cel/Lig=relação celulose/lignina. Fonte: adaptado de Monegat (1991), Costa (1993), Aita e Giacomini (2003), Giacomini et al. (2003), Correia et al. (2007), Carvalho et al. (2010), Oliveira et al. (2010), Redin (2010), Lima Filho et al. (2014), Oliveira et al. (2016).

Nesse sentido, Oliveira et al. (2016) em um Cambissolo Húmico em Ituporanga, SC, ao avaliarem a decomposição de resíduos de plantas de cobertura, a liberação de nutrientes e os efeitos dessas plantas nas propriedades químicas do solo e na produção de cebola em um SPD, concluíram que os resíduos do centeio permaneceram mais tempo na superfície solo em comparação aos resíduos de nabo e vegetação espontânea. Além disso, liberaram mais lentamente seus nutrientes por conta dos elevados teores de lignina, relação C/N, lignina/N e baixos teores de celulose e relação celulose/lignina dos resíduos do centeio.

Em um Latossolo Vermelho Distrófico (Santo Ângelo-RS) e em um Argissolo Vermelho Distrófico (Eldorado do Sul-RS), com o primeiro submetido à exploração com o SPC de trigo e soja e sob cobertura de setária e o outro à exploração com capim-pangola, siratro, SPD com aveia/milho e uma área sem vegetação, SILVA e MIELNICZUK (1998), avaliaram a estabilidade e a agregação do solo. Os autores encontraram maior densidade de raízes nos tratamentos com gramíneas perenes (capim-pangola e setária), o que resultou num efeito positivo na agregação do solo.

Em outro estudo, num Latossolo Vermelho Acriférrico típico (Santo Antônio do Goiás-GO), SANTOS et al. (2012) avaliaram os efeitos de oito culturas cultivadas há cinco anos em SPD sobre os atributos químicos e a estabilidade dos agregados do solo. Os autores concluíram que na camada de 0-10 cm, as espécies gramíneas foram mais eficientes em formar agregados estáveis maiores que 2 mm de diâmetro se comparado às espécies leguminosas. Em geral, as gramíneas são mais

eficientes em aumentar e manter a estabilidade dos agregados do solo por apresentarem um sistema radicular extenso, eficiente na exploração do solo e renovado constantemente se comparado às leguminosas que têm um sistema radicular pivotante (SILVA e MIELNICZUK, 1998; NASCIMENTO et al., 2005; LIMA FILHO et al., 2014).

Por outro lado, em um Chernossolo e em um Vertissolo dos pampas argentinos sob SPD com seis sequências diferentes de cultivo, NOVELLI et al. (2016) avaliaram o acúmulo de COT e a agregação do solo. Os autores verificaram que na camada superficial (0-5 cm) a agregação do solo foi menor no tratamento com monocultura de soja e maior nos tratamentos que envolveram rotações mais complexas (com gramíneas e leguminosas).

Sistemas agrícolas que favorecem a QS são aqueles que possibilitam que o sistema solo se organize em macroagregados (estruturas complexas e diversificadas) em detrimento de microagregados (estruturas menores e mais simples), e que essa condição é alcançada quando se cultivam plantas constante e profundamente, de preferência de espécies diferentes no espaço e no tempo, sem o revolvimento do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Por conseguinte, o uso de gramíneas e leguminosas como plantas de cobertura em consórcio no SPD é uma alternativa ao cultivo solteiro. A adoção daquela prática em detrimento desta pode proporcionar vantagens como: melhor agregação do solo; matéria seca das plantas de cobertura com relação C/N intermediária e, por isso, uma taxa de decomposição mais lenta e de maior persistência e proteção do solo juntamente com o fornecimento gradativo de nutrientes; exploração de diferentes camadas do solo devido a presença de sistemas radiculares com distribuição distinta; incremento dos teores de MOS (GIACOMINI et al., 2003; CALEGARI, 2008; VEZZANI E MIELNICZUK, 2009; LIMA FILHO et al., 2014).

2.3. Atributos químicos do solo

2.3.1. Fertilidade do solo

A influência dos sistemas de manejo do solo e das plantas de cobertura na fertilidade do solo é fato documentado na literatura (CUNHA et al., 2011; SANTOS et al., 2012; COSTA et al., 2015; SILVA et al., 2017). No entanto, especificamente para a cultura da cebola existem poucos trabalhos tratando desta temática (SOUZA et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016; SANTOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

Em estudo implantando em 2009 em um Cambissolo Húmico em Ituporanga, SC, avaliaram-se (2010 e 2011) a interferência do cultivo de

plantas de cobertura em SPD agroecológico (também denominado SPDH) de cebola sobre a produção de cebola e os atributos químicos do solo em relação à vegetação espontânea (SOUZA et al., 2013). Concluiu-se que o potássio trocável (K trocável), fósforo disponível (P disponível) e valores de saturação da $CTC_{pH7,0}$ por bases do solo foram influenciados pelas plantas de cobertura cultivadas. Os autores destacaram que houve adubação com fosfato e dejetos de aves como fonte de P e K, para a cultura da cebola. Logo, o grande papel das plantas de cobertura, através da sua exploração do solo está na ciclagem dos nutrientes que aumenta a fertilidade do solo (K trocável e P disponível).

No mesmo experimento, porém com coleta de amostras de solo feita em setembro de 2013, avaliaram-se o efeito do SPDH e do SPC de cebola e de uma área de floresta secundária sobre os atributos químicos dos macroagregados do solo (SANTOS et al., 2017). Verificou-se que a conversão das áreas de cultivo de cebola em SPC para SPDH aumentou os teores de COT, pH, Ca, Mg e K nos macroagregados do solo na profundidade de 0-5 cm. Estes resultados são explicados pelo uso das plantas de cobertura solteiras e consorciadas no SPDH, o qual se caracteriza pelo não revolvimento do solo e a intensa atividade dos sistemas radiculares dessas plantas, somado à liberação e ciclagem de nutrientes da biomassa vegetal.

Na mesma área experimental de Souza et al. (2013) e Santos et al. (2017), porém em julho de 2013, Oliveira et al. (2017) avaliaram a liberação de formas de P de resíduos de plantas de cobertura solteiras e consorciadas e de plantas espontâneas na produção de cebola em SPDH. Concluiu-se que a liberação de P do tecido das plantas de cobertura depende, além da concentração total de P, da forma de P acumulado no tecido e da qualidade do resíduo; as plantas de cobertura acumularam maior quantidade de P na fração inorgânica solúvel que é a fração de liberação mais rápida no tecido de todas as plantas; a aveia preta teve a maior taxa de liberação inicial de P inorgânico solúvel; as plantas espontâneas liberaram apenas metade da quantidade de P inorgânico solúvel no mesmo período, apesar de terem acumulado uma quantidade considerável de P em sua biomassa.

2.3.2. Matéria Orgânica do Solo: carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo

A MOS engloba todos os compostos que possuem carbono orgânico no solo, compreendendo microrganismos vivos e mortos, resíduos de plantas e de animais parcialmente decompostos, produtos de sua decomposição e substâncias orgânicas microbiologicamente e, ou,

quimicamente alteradas (MEURER, 2012). A MOS afeta a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, a agregação das partículas, a infiltração e a retenção de água, a aeração e a atividade e biomassa microbiana do solo (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009; PEREIRA et al., 2013). Por estas características supracitadas e por se mostrar sensível aos efeitos causados ao longo do tempo pelos diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo, a MOS é caracterizada como um indicador chave de QS (DORAN e SAFLEY, 1997; CONCEIÇÃO et al., 2005).

A MOS, teoricamente, apresenta compartimentos que se baseiam na complexidade estrutural dos compostos (biomoléculas, substâncias húmicas e carvão) ou na localização e, ou, interação com a matriz do solo e estes compartimentos podem ser fracionados química ou fisicamente (DICK et al., 2009).

O fracionamento químico consiste na separação da MOS em três frações principais, que são os ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HUM), conforme a solubilidade destas frações em meio aquoso de acordo com o pH (SWIFT, 1996; BENITES et al., 2003). O fracionamento físico pode ser dividido em densimétrico e granulométrico (DICK et al., 2009). No densimétrico, através da imersão das partículas em solução salina densa, separam-se as frações por diferença de densidade das partículas. O material que flutua é a MOS leve e o material mais denso é a MOS pesada, que está associada aos minerais do solo (DICK et al., 2009). No granulométrico, separa-se a fração de tamanho areia, correspondente a matéria orgânica particulada (MOp), das frações de tamanho silte e argila, que correspondem a matéria orgânica associada aos minerais (MOam), através de peneiramento úmido em malha 53 µm, ou seja, o material retido na peneira de 53 µm corresponde a MOp e o que passa pela peneira corresponde a MOam (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). A MOS leve equivale à MOp e a MOS pesada à MOam (DICK et al., 2009).

Os sistemas de uso e manejo do solo interferem no estoque de MOS e de suas frações (DICK et al., 2009). Em um Cambissolo em Ituporanga, SC, avaliou-se o efeito de sistemas de cultivo mínimo (SCM) em cinco tratamentos com diferentes plantas de cobertura em rotação e sucessão de culturas comparados ao SPC de cebola e área de pomar de macieira, sobre o COT e o NT do solo e o carbono e nitrogênio microbianos (SILVA et al., 2014). Concluiu-se que a utilização de plantas de cobertura no SCM de cebola, devido ao maior aporte de resíduos vegetais, propiciou maiores valores de COT e NT do solo em comparação

ao SPC. O aporte de resíduos vegetais é fonte de nutrientes para a microbiota do solo e, por isso, influencia a taxa de crescimento das populações de microrganismos, fato que foi evidenciado pelos maiores valores de nitrogênio microbiano no tratamento com SCM.

Em outro experimento em um Cambissolo Húmico em Ituporanga, SC, avaliaram-se os efeitos do SPDH de cebola, após cinco anos de condução do experimento, com diferentes plantas de cobertura consorciadas ou solteiras sobre o COT e a agregação do solo e comparou-se com uma área em SPC de cebola e área de mata secundária (LOSS et al., 2015). Concluiu-se que a utilização das plantas de cobertura (consorciadas ou solteiras) em SPDH de cebola aumentou o COT (0-5 cm), a agregação do solo e a quantidade de macroagregados em comparação ao SPC de cebola. O maior teor de COT no SPDH deve-se a manutenção da fitomassa das plantas de cobertura na superfície do solo e a incorporação biológica de C via sistema radicular.

O incremento no COT e no NT do solo, com diferentes culturas e tipos de solo, nos sistemas SPD e SCM em comparação ao SPC é relatado na literatura (LOVATO et al., 2004; COSTA JUNIOR et al., 2012; PEREIRA et al., 2013; LOSS et al., 2015). Nesse sentido, em dois experimentos de longa duração em Argissolos Vermelhos Distróficos, RS, Conceição et al. (2005) avaliaram o potencial da MOS e de atributos relacionados em detectar alterações da QS induzidas pela adoção de sistemas de manejo. Os autores concluíram que a MOS e seus atributos relacionados foram eficientes na detecção da QS induzida pelos diferentes sistemas de manejos. Destacaram a eficiência do COT e NT (0-5 cm) em discriminar o impacto dos sistemas de manejo sobre a QS, além da MOp, que foi a fração da MOS mais sensível em detectar mudanças em função do manejo adotado. Verificou-se que a utilização do COT e NT em áreas com manejos adotados recentemente pode não retratar os impactos destes na QS e que a utilização de frações da MOS (MOp) pode ser uma alternativa na escolha de atributos a serem avaliados. Outros estudos também observaram a importância da MOS (COT, NT) e de suas frações (tais como a MOp, fração leve livre da MOS) para evidenciarem diferenças provenientes do efeito dos sistemas de manejo e uso do solo (LOSS et al., 2009b; NASCENTE et al., 2013; GARCIA-FRANCO et al., 2015).

3. HIPÓTESES

O SPD, por não revolver o solo e manter a matéria seca das plantas de cobertura na superfície do solo, aumenta os teores dos atributos químicos e das frações da MOS nos agregados do solo e na TFSA quando comparado ao SPC.

O SPD, por utilizar plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas na rotação ou sucessão de culturas, aumenta os teores dos atributos químicos e das frações da MOS nos agregados do solo e na TFSA quando comparado ao SPD com plantas de cobertura da mesma família botânica.

A matéria orgânica particulada, por ser um agente de ligação e estabilização de macroagregados, apresenta maiores teores nos agregados do solo quando comparado à TFSA.

4. OBJETIVOS

4.1. Geral

Avaliar a influência de diferentes espécies de plantas de cobertura em sistemas de cultivo de cebola sob sucessão ou rotação de culturas sobre os atributos químicos e as frações da matéria orgânica do solo (MOS) nos agregados do solo e na terra fina seca ao ar (TFSA).

4.2. Específicos

- I- Mensurar os atributos químicos na TFSA e nos agregados do solo através da caracterização do complexo sortivo nos diferentes tratamentos com plantas de cobertura;
- II- Fracionar granulometricamente a matéria orgânica presente na TFSA e nos agregados do solo nos diferentes tratamentos com plantas de cobertura;
- III- Comparar os atributos químicos e as frações granulométricas da MOS entre TFSA e os agregados do solo em cada tratamento com diferentes plantas de cobertura;
- IV- Comparar os atributos químicos e as frações granulométricas da MOS entre SPD e SPC na TFSA e nos agregados do solo.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em abril de 2007, no município de Ituporanga, SC, na Estação Experimental da EPAGRI (Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina). O solo é um Cambissolo Húmico Distrófico (EMBRAPA, 2013), derivado de sedimentos permianos do Grupo Guatá (EMBRAPA, 2004). Com os seguintes atributos físicos e químicos na camada de 0-10 cm: 410, 264 e 326 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, pH-H₂O 6,1; Ca, Mg e Al trocáveis 6,4, 2,7 e 0,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); P e K disponíveis 42 e 208 mg dm⁻³, respectivamente (extraídos por Mehlich⁻¹), carbono orgânico total 23,08 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 1997).

O clima na região é do tipo Cfa (Köppen), subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, sem estação seca definida, temperatura média anual de 17,6°C e precipitação pluvial anual média de 1.400 mm. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com oito tratamentos e cinco repetições, sendo que cada parcela possuía 8,7 m². Os tratamentos abrangeram sistemas de cultivo para a cultura da cebola, baseados em diferentes coberturas do solo utilizadas para produção de matéria seca no SPD.

Na implantação do experimento, em 2007, foi semeada, em toda a área, a cobertura de aveia/ervilhaca/nabo e, posteriormente, foram implantados os oito tratamentos (T1 a T8), com as seguintes sequências de coberturas e culturas, conforme consta na Tabela 2.

Tabela 2. Tratamentos implantados para cultivo de cebola sob manejo conservacionista do solo, de 2007 a 2010, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	2007		2008			2009		2010			
	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão			
T1	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho
T2	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Girassol	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Feijão	Centeio+ Nabo	Cebola	Milho	
T3	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Aveia+ Nabo	Cebola	Milho Safrinha	Ervilhaca	Milho	Centeio	Cebola	Milho	
T4	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Aveia+ Nabo+ Centeio	Cebola	Mucuna	Centeio	Milho	Nabo	Cebola	Mucuna	
T5	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Milheto	Nabo	Cebola	Milheto	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Milho	Cevada	Cebola	Milheto
T6	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Feijão Porco	Centeio	Cebola	Mucuna	Cebola	Mucuna	Centeio	Cebola	Mucuna
T7	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Feijão Porco+ Milheto	Aveia	Cebola	Crotalária	Centeio	Milho	Aveia	Cebola	Crotalária
T8	Aveia+ Ervilhaca+ Nabo	Cebola	Girassol	Aveia+ Centeio	Cebola	Girassol+ Mucuna+ Milheto	Ervilhaca	Milho	Centeio+ Aveia+ Nabo	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol

Trat=tratamentos. Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), crotalária (*Crotalaria spectabilis* Roth), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), feijão de porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), mucuna preta (*Mucuna pruriens* var. *utilis* (Wall. ex Wight) L. H. Bailey) e nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin).

Durante a condução do experimento (2007 a 2010) fez-se uma modificação nos tratamentos, sendo um tratamento manejado no SPC a partir de 2011, para efeitos de comparação com os demais tratamentos em SPD. Dessa forma, a partir do ano de 2011, foi modificado o sistema de rotação/sucessão e a sequência de coberturas, sendo agora os tratamentos redefinidos da seguinte forma, conforme consta na Tabela 3. O tratamento sucessão milho/cebola (T7) passou a ser manejado em SPC, com aração e gradagem ou enxada rotativa para o preparo do solo.

A partir de 2014, repete-se a sequência de tratamentos conforme consta na Tabela 3 para os anos de 2011, 2012 e 2013. Logo, a sequência de rotação de 2011, 2012 e 2013 (três anos) se repete para os anos seguintes, com 2014 igual a 2011, 2015 igual a 2012, 2016 será igual a 2013; 2017 será igual a 2014, 2018 será igual a 2015, e assim por diante, e a cada três anos reinicia-se a sequência de rotação/sucessão.

Tabela 3. Tratamentos implantados para cultivo de cebola de 2011 a 2013, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	2011			2012			2013		
	Inverno		Verão	Inverno		Verão	Inverno		Verão
T1	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho
T2	Ervilhaca		Milho	Centeio+ Nabo	Cebola	Milho	Nabo+ Centeio		Feijão
T3	Centeio	Cebola	Milho	Aveia	Cebola	Milho	Centeio	Cebola	Milho
T4	Pousio	Cebola	Mucuna	Pousio	Cebola	Mucuna	Pousio	Cebola	Mucuna
T5	Centeio	Cebola	Milheto	Aveia	Cebola	Milheto	Centeio	Cebola	Milheto
T6	Centeio	Cebola	Mucuna	Centeio	Cebola	Mucuna	Centeio	Cebola	Mucuna
T7	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho	Pousio	Cebola	Milho
T8	Pousio	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol	Pousio	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol	Pousio	Cebola	Milheto+ Mucuna+ Girassol

Trat=tratamentos. Espécies vegetais: aveia preta (*Avena strigosa* Schreb), cebola (*Allium cepa* L.), centeio (*Secale cereale* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), mucuna preta (*Mucuna pruriens* var. *utilis* (Wall. ex Wight) L. H. Bailey) e nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum* subsp. *sativus* (L.) Domin). T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão consórcio de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Para a escolha das espécies que compõem o experimento (Tabelas 2 e 3) considerou-se plantas comerciais frequentemente usadas na região, com boa adaptação, facilidade de aquisição de sementes no mercado, fácil manejo e adequada produção de matéria seca para a realização do SPD. Procurou-se conciliar a parte comercial com a parte técnica através da inserção de tratamentos que possibilitassem a adoção pelos agricultores e, ao mesmo tempo, em que pudesse elucidar as dúvidas relacionadas aos aspectos químicos na adoção do SPD para a cultura da cebola.

O controle de plantas espontâneas, de pragas e de doenças foi efetuado por meio de pulverizações com produtos químicos registrados no Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) para a cultura da cebola. No controle de plantas espontâneas, foram efetuadas três aplicações de herbicidas (ioxynil, pendimetalina, fenoxaprop-p-ethyl + clethodim) e uma capina manual para retirada de plantas espontâneas não controladas pelos herbicidas. Para o controle de pragas, especialmente do tripses (*Thrips tabaci* Lind), foram realizadas três aplicações de inseticidas (lambda-cyhalothrin e imidacloprid). Para o controle de doenças fúngicas, principalmente míldio (*Peronospora destructor*) e alternaria (*Alternaria solani*), foram realizadas cinco pulverizações de fungicidas (metalaxyl + clorotalonil, metalaxyl + mancozeb, iprodione, tebuconazole + trifloxistrobina).

A área de implantação do experimento era cultivada em sistema de produção conservacionista desde 1995, quando foi realizada a última correção do solo e elevou-se o pH para 6,0. Desde então, os cultivos manejados no local de instalação do experimento estão sob SPD, com preparo do solo restrito às linhas de plantio. A única exceção é o tratamento sucessão milho/cebola em SPC (T7), que a partir de 2011 passou a ser manejado em SPC.

As adubações foram realizadas conforme as análises de solo durante a condução do experimento e ocorreram somente nos períodos de cultivo de cebola e milho, sendo feitas conforme as recomendações para essas culturas (CQFSRS/SC, 2004). Para a cebola, a adubação foi de 75 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 60 kg ha⁻¹ de K₂O do formulado 05-20-10 (N-P-K) ou superfosfato triplo, cloreto de potássio e nitrato de amônio. Com relação ao P, como os teores foram interpretados como muito altos na safra 2010 (CQFSRS/SC, 2004), utilizou-se somente 50 kg ha⁻¹ de P, e nas safras seguintes 80 kg ha⁻¹. As aplicações de P e K foram realizadas nos plantios de cebola e as de N feita com 15 kg ha⁻¹ no plantio e o restante em cobertura aos 45, 65 e 85 dias após o transplante das mudas de cebola, usando como fonte o nitrato de amônio. Aplicou-se também, porém apenas em 2011, após 45 dias do transplante das mudas

de cebola, 30 kg ha⁻¹ de enxofre (S) na forma de sulfato de cálcio, “gesso agrícola”, (CaSO₄.2H₂O). Para o milho não foi realizada adubação com P e K devido aos altos teores destes nutrientes. Foram realizadas apenas adubações nitrogenadas em cobertura com 90 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia), quando o milho tinha entre seis e oito folhas.

Antes do plantio da cebola, as plantas de cobertura foram dessecadas e, posteriormente, foram abertos os sulcos de semeadura com uma máquina adaptada para o plantio direto da cebola, sendo transplantadas manualmente as mudas da cultivar ‘Empasc 352’ - Bola Precoce. O espaçamento utilizado foi de 0,40 m entrelinhas e 0,10 m entre plantas, com sete linhas de cebola por parcela e 30 plantas de cebola em cada linha.

5.2. Produtividade de matéria seca das plantas de cobertura e produtividade de cebola

A produção da matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura e a produtividade dos bulbos de cebola dos oito tratamentos avaliados em 2014 constam na Tabela 4. Nos tratamentos sucessão cebola/milho em SPD (T1), sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD (T4), sucessão milho/cebola em SPC (T7) e sucessão consórcio de coberturas de verão e cebola anual em SPD (T8), em que há o pousio no inverno, a produtividade da matéria seca da parte aérea da vegetação espontânea também foi considerada. As principais famílias de plantas espontâneas são as seguintes: Amaranthaceae, Apiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Euphorbiaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Oxalidaceae, Plantaginaceae, Poaceae, Polygnaceae, Rubiaceae (SOUZA, 2017).

Tabela 4. Produção da matéria seca (MS) da parte aérea das plantas de cobertura (em kg ha⁻¹) e produtividade de bulbos de cebola (Mg ha⁻¹) no ano de 2014 sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Massa seca	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	(kg ha ⁻¹)							
2014	1.652	0	4.000	5.196	3.684	5.508	1.516	8.328
Cebola	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
	(Mg ha ⁻¹)							
2014	18.363	-	22.108	19.575	22.483	23.792	16.467	20.392

T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bial em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão consórcio de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

5.3. Coletas de solo e análises realizadas

Em julho de 2014, sete anos após a implantação do experimento, foram coletadas amostras indeformadas de solo. Para isto, foi aberta uma trincheira de 40 x 40 x 40 cm nas entrelinhas da cebola de cada parcela utilizando-se uma pá de corte para a coleta das amostras de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Coletaram-se ao total 96 amostras de solo (de oito tratamentos com quatro repetições e em três profundidades). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina do Núcleo de Ensino Pesquisa e Extensão em Agroecologia de Santa Catarina (NEPEA-SC).

As amostras foram secas ao ar e, posteriormente, destorroadas manualmente, seguindo-se fendas ou pontos de fraqueza, e passadas em um conjunto de peneiras de malha 8,00 mm, 4,00 mm para obtenção dos agregados do solo conforme EMBRAPA (1997). Os agregados utilizados para as análises foram aqueles que passaram na peneira de 8,00 mm e ficaram retidos na peneira de 4,00 mm. Para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), o material que se despreendeu da amostra indeformada durante a separação dos agregados nas peneiras de 8,00 e 4,00 mm, foi seco ar, destorroado e passado em peneira de 2,00 mm para obtenção da TFSA.

Após a separação dos agregados do solo, aqueles retidos na peneira de 4,0 mm foram utilizados para análise da estabilidade via úmida e distribuição da massa dos agregados. Para tal, pesaram-se 25 gramas de agregados e estes foram transferidos para uma peneira de 2,00 mm, que compõe um conjunto de peneiras com diâmetro de malha decrescente, a saber: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm, conforme Embrapa (1997). Os

agregados inicialmente colocados na peneira de 2,00 mm foram umedecidos com borrifador de água, e posteriormente o conjunto de peneiras foi submetido à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yoder (YOODER, 1936). Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de pétri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa até a obtenção de massa seca constante.

A partir da massa seca de agregados foi calculado o índice de agregação diâmetro médio geométrico (DMG em mm) de agregados, conforme Embrapa (1997). Ainda com a massa dos agregados também se avaliou a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio, conforme Costa Junior et al. (2012): $8,00 > \varnothing \geq 2,0$ mm (macroagregados) e $\varnothing < 0,25$ mm (microagregados) (Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro médio geométrico (DMG em mm) e massa (g) dos macroagregados e microagregados em Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Tratamentos	DMG (mm)			Macroagregados (g)			Microagregados (g)		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
T1	4,53	4,52	3,50	20,51	21,35	19,82	0,24	0,06	0,11
T2	4,46	4,24	4,15	21,60	21,74	20,40	0,07	0,06	0,08
T3	4,51	4,40	3,68	21,61	21,14	18,46	0,09	0,07	0,16
T4	4,31	4,25	3,30	20,79	20,53	18,20	0,22	0,15	0,23
T5	4,16	4,41	3,91	21,47	21,29	19,49	0,17	0,06	0,18
T6	4,24	3,81	3,17	21,17	20,25	17,30	0,10	0,27	0,32
T7	4,15	3,30	3,47	19,74	17,09	18,48	0,26	0,47	0,19
T8	4,51	4,56	3,65	21,62	21,48	18,43	0,08	0,05	0,19

T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão consórcio de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Para a determinação dos atributos químicos e frações da MOS, os agregados retidos na peneira de 4,00 mm foram destorroados e passados por peneira de 2,00 mm de malha para obtenção da TFSA dos agregados. Neste material (TFSA dos agregados do solo) e na TFSA do solo, que se desprende durante a separação dos agregados, determinou-se os parâmetros abaixo:

5.3.1. Atributos químicos dos agregados e da TFSA

Determinou-se o pH em H₂O e em solução SMP, teores trocáveis de Al⁺³, Ca⁺² e Mg⁺², além dos teores disponíveis de K⁺ e P (TEDESCO

et al., 1995; DONAGEMA et al., 2011). Com os valores de pH em solução SMP calculou-se os teores de H+Al. Com os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , H+Al e de acordo com o manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016) calcularam-se o valor S, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$); a CTC efetiva, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (valor S + Al^{3+}); a $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$, em $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (valor S + (H+Al)); a saturação por Al (m, %), sendo $m = (\text{Al}^{3+} / \text{CTC efetiva}) \times 100$; e a saturação por bases, (V %), sendo $V = (\text{S} / \text{CTC}_{\text{pH } 7,0}) \times 100$.

5.3.2. Carbono Orgânico Total (COT), Nitrogênio Total (NT) e relação C/N dos agregados e da TFSA

Os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) dos agregados do solo e da TFSA foram determinados em analisador elementar de combustão seca (modelo FlashEA 1112 Thermo Finnigan) no Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) - Santa Maria (RS). Após a obtenção do COT e do NT, calculou-se a relação C/N.

5.3.3. Fracionamento granulométrico da MOS dos agregados e da TFSA

Aproximadamente 20 g de solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). A seguir, a suspensão foi passada em peneira de $53 \mu\text{m}$ com auxílio de jato de água. O material retido na peneira consistia no carbono e no nitrogênio orgânico particulado (COp/Np) associado à fração areia. Este material foi seco em estufa a 60°C , quantificado em relação a sua massa e moído em gral de porcelana. Deste material pesou-se 0,5 ou 0,25 g e determinaram-se os teores de COT pelo processo de dicromatometria com aquecimento externo (YEOMANS E BREMNER, 1988) e os teores de NT pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995). O material que passou pela peneira de $53 \mu\text{m}$, que consistia no carbono e nitrogênio orgânico associado aos minerais (COam/Nam) de silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT/NT e COp/Np.

5.4. Análises Estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente. Posteriormente, foram submetidos à análise de variância (teste F) e, quando os efeitos foram significativos, os valores foram

comparados pelo teste Skott-knott a 5% de probabilidade no software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

Foram feitas análises estatísticas entre os oito tratamentos para os agregados e para a TFSA. Posteriormente, fez-se análise estatística para cada tratamento separadamente, comparando-se os resultados encontrados nos agregados e na TFSA.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. COT, NT e relação C/N na TFSA e nos agregados

Os teores de COT na TFSA variaram entre 43,4 e 20,6 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 39,6 a 21,3 g kg⁻¹. Os teores de NT na TFSA variaram entre 4,4 e 1,7 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 3,3 a 1,5 g kg⁻¹. A relação C/N na TFSA variou de 12,6 a 8,4 e nos agregados do solo variou entre 14,1 e 10,3 (Tabela 6).

Tabela 6. Valores médios de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), em g kg⁻¹, e relação C/N na TFSA e nos agregados de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	COT (g kg ⁻¹)			NT (g kg ⁻¹)			Relação C/N		
	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%
0-5 cm									
T1	32,92Ba	31,48Ca	4,31	3,27Ca	2,70Bb	2,05	10,03Ab	11,64Aa	2,99
T2	34,37Ba	34,30Ba	7,71	3,72Ba	3,12Ab	4,99	9,22Ab	11,38Aa	6,70
T3	30,45Cb	39,64Aa	13,25	3,01Ca	3,27Aa	8,55	10,05Ab	12,04Aa	4,83
T4	29,63Ca	31,91Ca	4,56	3,52Ca	2,76Bb	6,43	8,42Ab	11,54Aa	5,61
T5	30,96Cb	34,85Ba	2,78	3,22Ca	3,11Aa	5,72	9,58Ab	11,24Aa	4,95
T6	43,49Aa	33,88Bb	5,14	4,43Aa	3,30Ab	10,82	9,89Aa	10,67Ba	9,73
T7	25,37Da	26,46Da	3,54	2,37Da	2,26Ca	3,26	10,67Aa	11,77Aa	5,55
T8	33,86Ba	30,47Cb	3,86	3,48Ca	2,95Ab	7,70	9,71Ab	10,39Ba	5,44
CV%	6,71	7,10		10,32	7,38		9,18	5,38	
5-10 cm									
T1	25,69Aa	25,40Aa	7,39	2,34Ca	2,07Ab	5,75	10,96Aa	11,96Aa	6,63
T2	27,50Aa	26,26Aa	6,07	2,40Ca	2,08Ab	5,35	11,40Ab	12,59Aa	2,33
T3	26,09Aa	25,69Aa	7,51	2,41Ca	2,23Ab	3,11	10,79Aa	11,48Aa	6,37
T4	28,10Aa	26,43Aa	4,52	2,46Ca	2,15Ab	4,57	11,37Ab	12,25Aa	2,75
T5	27,47Aa	27,70Aa	5,54	2,49Ca	2,23Ab	3,16	11,00Ab	12,39Aa	2,70
T6	25,15Ab	26,74Aa	2,96	2,59Aa	2,17Ab	3,40	9,68Ab	11,80Aa	3,74
T7	20,64Bb	25,02Aa	3,39	1,81Cb	2,22Aa	6,08	11,39Aa	11,61Aa	5,77
T8	26,58Aa	25,16Aa	4,16	2,52Ba	2,09Ab	7,91	10,55Ab	12,02Aa	4,76
CV%	5,48	5,53		14,34	5,04		5,44	4,97	
10-20 cm									
T1	22,08Ba	21,93Aa	5,78	1,81Aa	1,62Ab	4,13	12,14Ab	13,48Aa	3,21
T2	23,56Aa	23,16Aa	6,89	1,85Aa	1,64Ab	6,17	12,65Ab	14,10Aa	4,16
T3	23,39Aa	22,91Aa	4,23	1,86Aa	1,66Ab	5,81	12,56Ab	13,81Aa	1,97
T4	22,17Ba	23,76Aa	5,61	1,77Aa	1,64Aa	9,08	12,45Ab	13,80Aa	3,79
T5	23,73Aa	23,62Aa	3,89	1,94Aa	1,75Aa	6,97	12,20Ab	13,42Aa	3,85
T6	24,39Aa	23,18Aa	4,65	1,92Aa	1,67Ab	3,78	12,63Ab	13,86Aa	2,86
T7	21,89Ba	23,42Aa	6,51	1,73Aa	1,75Aa	8,87	12,60Aa	13,30Aa	5,10
T8	22,83Ba	21,32Aa	5,28	1,88Aa	1,58Ab	5,05	12,10Ab	13,47Aa	4,14
CV%	5,28	5,54		2,03	8,02		4,64	3,68	

Trat. = Tratamento. TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Agreg = Agregados. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TFSA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5%. Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TFSA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Os menores teores de COT para TFSA (0-10 cm) e agregados do solo (0-5 cm) e os menores teores de NT para TFSA e agregados do solo (0-5 cm) foram observados no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) (Tabela 6). Estes resultados são devidos ao manejo do solo e a

menor diversidade vegetal utilizados no T7. Neste tratamento, mesmo com a adição da massa seca das plantas espontâneas no pousio (Tabela 3), o preparo do solo ocasiona a fragmentação dos resíduos vegetais e acelera a sua decomposição, também causa a ruptura dos agregados, com posterior exposição do COT e do NT que estavam protegidos no interior dos agregados, causando aumento da decomposição pela microbiota do solo. Dessa forma, tem-se uma maior taxa de mineralização da MOS, o que causa a diminuição dos teores de COT do solo no SPC (BODDEY et al., 2010, BUSARI et al., 2015). No T7, devido aos menores teores de COT, tem-se menor proporção (redução de até 21,38%) de macroagregados e maior proporção (aumento de até 89,36%) de microagregados estáveis em água com conseqüente redução da estabilidade dos agregados (de até 27,63%) na camada de 0-10 cm em comparação aos demais tratamentos (Tabela 5).

Resultados semelhantes foram encontrados por Loss et al. (2014) avaliando os efeitos do SPD, SPC, floresta secundária e pastagem (*Axonopus compressus*) na agregação do solo, e nos teores de Matéria Orgânica Leve (MOL) em água, COT e carbono mineralizável na TFSA em um Nitossolo Vermelho em Marmeleiro, PR. Os autores também encontraram menores índices de agregação (DMG e DMP) e menores teores de COT na TFSA no SPC em comparação ao SPD. Loss et al. (2015) também encontraram resultados semelhantes ao deste estudo avaliando parâmetros químicos e físicos nos agregados do solo. Estes autores, após cinco anos de condução do SPD com cebola num Cambissolo Húmico, em Ituporanga (SC), avaliaram os efeitos de diferentes plantas de cobertura consorciadas ou solteiras, e compararam com uma área em SPC de cebola por 37 anos, sobre a agregação do solo e o COT nos agregados do solo. Os autores concluíram que a utilização das plantas de cobertura em SPD de cebola aumentou a agregação do solo, a quantidade de macroagregados e os teores de COT nos agregados do solo (0-5 cm) em comparação ao SPC de cebola.

Considerando-se o teor de COT no solo no início do experimento em 2007 (23,08 g kg⁻¹ em 0-10 cm), percebe-se que para a TFSA, em 0-10 cm, em todos os tratamentos, com exceção do tratamento sucessão milho/cebola em SPC para 5-10 cm, houve um incremento no teor de COT de até 20,41 g kg⁻¹. Esses incrementos foram maiores nos tratamentos em SPD. A redução da estabilidade dos agregados e os menores teores de COT e NT do solo no SPC em relação a outros sistemas, tais como sistema plantio direto, sistema plantio direto agroecológico, pastagem, vegetação natural e floresta nativa, são fatos comumente observados na literatura (D'ANDRÉA et al., 2002; LOVATO

et al., 2004; SOUSA NETO et al., 2008; TIVET et al., 2013; SILVA et al., 2014; LOSS et al., 2009; 2014; 2015; SANTOS et al., 2017). Nos tratamentos em SPD têm-se a deposição constante dos resíduos vegetais na superfície do solo, o que favorece a manutenção e o incremento dos teores de COT e, conseqüentemente, interferem positivamente nos níveis de NT (SILVA et al., 2014; LOSS et al., 2009).

Os maiores teores de COT (0-5 cm) e NT (0-10 cm) na TFSA foram observados no tratamento T6 (sucessão leguminosa verão/gramínea inverno) (Tabela 6). Isto pode explicar o incremento na produtividade dos bulbos de cebola (de até 30,78%) em 2014 observado neste tratamento (T6) em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Estes resultados podem ser decorrentes da combinação de espécies vegetais de famílias botânicas diferentes, tais como a mucuna (leguminosa) e o centeio (gramínea), utilizadas no T6. A utilização da mucuna preta pode explicar os maiores valores de NT, pois esta espécie apresenta baixa relação C/N da matéria seca (em média 16,5), produção média de matéria seca de 7,5 t ha⁻¹, grande capacidade de realizar fixação biológica de N (120 a 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N) e de ciclagem de outros nutrientes (LIMA FILHO et al., 2014). Por realizar a fixação biológica do N, seus resíduos vegetais apresentam altos teores deste nutriente, o que justifica os altos teores de NT encontrados neste tratamento. Já o centeio se caracteriza por ter sistema radicular fasciculado e denso e que se desenvolve a profundidades de até 122 cm, apresenta matéria seca com alta relação C/N (em média 30,5) e com produção média de matéria seca de 4,5 t ha⁻¹ (WEAVER, 1926, MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). Devido ao seu sistema radicular, tem-se uma melhor distribuição dos exsudatos radiculares no solo se comparado com as leguminosas (CASALI, 2012). O uso de plantas de cobertura, com ênfase para as gramíneas, além de proteger o solo contra as intempéries climáticas, favorece o aporte do carbono, principalmente por rizodeposição (THIVIERGE et al., 2016). As leguminosas, solteiras e, especialmente as consorciadas, têm a capacidade de absorver nutrientes de camadas do subsolo entre 1,0 e 1,5 m (GATHUMBI et al., 2003). Por outro lado, o centeio pode acumular entre 100 e 91 kg ha⁻¹ de N kg ha⁻¹ (FAGERIA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2016), respectivamente, mas a mineralização do N é mais lenta. À vista disso, a combinação entre alta produção de matéria seca da mucuna preta, somada a uma alta relação C/N da matéria seca do centeio, pode justificar os maiores teores de COT e NT na TFSA neste tratamento.

De acordo com Giacomini et al. (2003), o consórcio entre diferentes espécies vegetais proporciona a produção de uma fitomassa,

cuja relação C/N é intermediária àquela das espécies em cultura pura. Por meio dessa estratégia de cultivo das plantas de cobertura, Doneda et al. (2012) verificaram que o consórcio de centeio + nabo e aveia + nabo apresentaram menor velocidade de decomposição dos resíduos culturais em relação aos cultivos solteiros e uma relação C/N intermediária da fitomassa. Desta forma, pode-se alterar a taxa de decomposição dos resíduos culturais de modo a proporcionar, simultaneamente, cobertura mais eficiente e duradoura do solo e melhor sincronia entre o fornecimento e a demanda de nutrientes pelas culturas em sucessão, principalmente o N (ASHS, 2010). De acordo com Boddey et al. (2010), que avaliaram os estoques de COT provenientes de três experimentos com soja em rotação de culturas a longo prazo sobre Latossolos do sul do Brasil no SPD e SPC, aumentos significativos nos estoques de COT foram obtidos para os solos manejados no SPD em comparação ao SPC, e com o uso de leguminosas na rotação de culturas. Estes resultados corroboram com os encontrados neste estudo, com ênfase para o T6 na TFSA, destacando a importância do N como um componente limitante do processo de humificação da MOS, pois segundo Christopher e Lal (2007), o N é essencial para a retenção de carbono no solo.

Nos agregados do solo, observou-se os maiores teores de COT e NT nos tratamentos T2 (rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD), T3 (rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD), T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD) e T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD); com destaque para os maiores teores de COT no T3 em comparação aos tratamentos T2, T5 e T6 (Tabela 6). Esses resultados podem ser atribuídos à utilização de espécies da família Poaceae (gramíneas) no T3 e T5, bem como da combinação das espécies gramíneas e leguminosas no T2 e T6. O T2, por ser uma rotação comercial, tem ervilhaca, milho, consórcio de centeio + nabo e o feijão. A aveia preta destaca-se por ter um sistema radicular fasciculado que alcança, em geral, a profundidade de 76 cm, por produzir em média 6 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea com alta relação C/N (em média 31,5) (WEAVER, 1926; MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). O centeio possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes, sistema radicular fasciculado que se desenvolve a profundidade de 122 cm e com produção média de matéria seca da parte aérea de 4,5 t ha⁻¹ com alta relação C/N (em média 30,5) (WEAVER, 1926, MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). O milho apresenta sistema radicular bastante extenso e ramificado, alcançando 1,8 m de profundidade e produz cerca de 6 t ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea com alta relação C/N (em média

52) (WEAVER, 1926; LIMA FILHO et al., 2014). Portanto, esta combinação de sistemas radiculares profundos e densos que realizam rizodeposição de C com grandes produções de matéria seca da parte aérea com elevada relação C/N pode explicar os elevados teores de COT encontrados no tratamento T3. No T5, além da aveia e do centeio, tem-se o milheto, que também apresenta sistema radicular profuso e bastante profundo, podendo alcançar 200 cm (NORMAN et al., 1995; DURÃES, 2003). No T2 e T6 tem-se a combinação de espécies vegetais, gramíneas e leguminosas, sendo que no T2 tem-se ainda uma rotação comercial. Isto favorece o balanço da relação C/N da biomassa vegetal, com consequente aumento dos teores de COT e NT.

Thivierge et al. (2016) avaliaram a contribuição do sistema radicular do milho, sorgo e milheto em relação ao aporte de C no solo. Segundo os autores, a entrada de C oriundo dos restos culturas após a colheita foi maior para o milho (243 g C m⁻²) do que para o sorgo e o milheto (197 e 131 g C m⁻², respectivamente) e, que grande parte desse carbono, se deve as raízes finas, com diâmetro menor que 0,5 mm.

Em relação aos maiores teores de COT e NT nos tratamentos com combinação de espécies vegetais de famílias diferentes, Amado et al. (2001) avaliaram o potencial de culturas e plantas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo SPD. Os mesmos verificaram que o uso de leguminosas, combinado com maior diversidade de espécies em sucessão ou rotação de culturas, aumentou de forma significativa a retenção de carbono e nitrogênio no solo. Em outro estudo envolvendo sistemas de rotação e sucessão de culturas com espécies leguminosas e gramíneas, utilizadas como adubação verde e cobertura morta, Jantalia et al. (2003) verificaram que os sistemas de rotação de culturas com espécies vegetais de famílias diferentes em relação à sucessão trigo-soja, aumentaram os estoques de carbono e nitrogênio no SPD em comparação ao SPC; e no SPC os efeitos das plantas de cobertura foram nulos em relação ao aumento dos estoques de COT e NT. Em experimento com plantas de cobertura conduzido por 18 anos no SPD e SPC, Costa et al. (2008) verificaram que a adição diferenciada de resíduos vegetais ao solo afetou os estoques de COT na camada de 0-20 cm, os quais variaram de 27,8 t ha⁻¹ no SPC com aveia/milho a 36,1 t ha⁻¹ no SPD com ervilhaca/milho. Os autores destacaram o efeito da leguminosa que, pelo fornecimento de nitrogênio, aumentou a produção de fitomassa na área.

A ausência de diferenças nos teores de COT nos agregados do solo (5-10 e 10-20 cm) e de NT na TFSA (10-20 cm) e nos agregados do solo (5-10 e 10-20 cm) entre os tratamentos em SPD e em SPC deve-se ao revolvimento do solo no SPC, que ocasiona uma inversão das camadas

do solo (Tabela 6). Desta forma, incorporam-se os resíduos vegetais presentes na camada superficial, que apresenta maiores teores de MOS, para as camadas mais profundas do solo (LOSS et al., 2015). Com isso, alteram-se os teores de nutrientes no perfil do solo, fazendo com que se equiparem aos encontrados nos tratamentos em SPD, conforme relatado por Loss et al. (2015) e Santos et al. (2017). No SPD, a ausência de diferenças entre os tratamentos para COT e NT em profundidade pode ser decorrente do maior efeito do aporte vegetal das plantas de cobertura e culturas na camada superficial do solo, somado a ausência de revolvimento do solo (Tabela 6). Em um experimento de longa duração (15 anos) com rotação e sucessão de culturas com leguminosas e gramíneas no SPD, Sisti et al. (2004) também encontram diferenças nos teores de COT e NT apenas na camada de 0-5 cm. Os autores relataram que os estoques de carbono e nitrogênio no solo estão relacionados ao sistema de preparo do solo, bem como as espécies de plantas de cobertura utilizadas.

Em relação aos teores de COT encontrados na TFSA em comparação aos agregados do solo para cada tratamento, verificaram-se poucas variações, com destaque para os tratamentos T3 (rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD) e T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD) em 0-5 cm e T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD) e T7 (sucessão milho/cebola em SPC) para 5-10 cm, nos quais se observou maiores teores de COT nos agregados do solo em comparação à TFSA (Tabela 6). Estes resultados podem ser explicados pelos mecanismos de proteção físico-químicos que os agregados do solo exercem sobre a MOS. A proteção física por oclusão da MOS pelos agregados do solo dificulta a ação de microrganismos e de suas enzimas sobre o substrato orgânico, atuando como uma barreira física e diminuindo a disponibilidade de O₂ para os processos oxidativos de decomposição (BALDOCK et al., 1992; BALESIDENT et al., 2000). Para os teores de NT, de maneira geral, os maiores valores foram encontrados nos agregados em comparação a TFSA. Isto pode ser decorrente da maior relação C/N nos agregados em comparação a TFSA (Tabela 6).

Resultados semelhantes aos encontrados neste estudo são relatados por Zhong et al. (2017). Segundo esses autores, nos agregados do solo há menor acessibilidade dos microrganismos aos substratos orgânicos, o que pode causar a diminuição da atividade microbiana do solo e com isso proteger fisicamente o carbono e nitrogênio da decomposição. Esses autores realizaram um experimento em um Latossolo Vermelho sob uma plantação florestal com *Schima* sp no sudoeste da China e avaliaram se a

proteção física nos agregados do solo poderia estabilizar o carbono orgânico, com conseqüente redução das taxas de perda do COT. Foram analisados o COT, NT e o C e N da biomassa microbiana (CBM/NBM), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico extraído com água quente (COEAQ) nos agregados do solo e na TFSA. Os autores observaram que o NBM nos agregados do solo foi 61,79%-69,86% menor que na TFSA, o CBM nos agregados de tamanho 1-2 mm, 2-5 mm e 5-8 mm foi de 20,69%, 15,74% e 13,36% menor que TFSA, respectivamente. Em contrapartida, as concentrações de COD e COEAQ nos agregados do solo foram de 41,02%-66,40% e 91,30%-104,45% maiores do que na TFSA, respectivamente. Esses resultados demonstraram que a proteção física nos agregados do solo diminuiu a atividade microbiana, o que impediu a decomposição do COT e resultou em maiores concentrações de COD e COAQ em relação à TFSA.

Li et al. (2016) também observaram a importância da agregação do solo na proteção do COT do solo da decomposição. Estes pesquisadores coletaram amostras de solo de florestas representativas ao longo de um gradiente de altitude na Montanha Wuyi, no sudeste da China, com os objetivos de quantificar o COT do solo em diferentes frações de tamanho de agregados de solo e examinar os efeitos da temperatura e da agregação do solo na distribuição do COT em diferentes frações do solo. Concluíram que o COT na TFSA do solo apresenta uma alta correlação ($r^2 = 0,9$) com a taxa de agregação do solo (DMP) e este fato pode ser devido à agregação do solo fornecer uma proteção física e, por isso, evitar a decomposição do COT do solo pela microbiota.

6.2. Atributos químicos na TFSA e nos agregados

6.2.1. pH, H⁺Al e Al na TFSA e nos agregados

Os valores de pH na TFSA variaram entre 6,0 e 5,1 e nos agregados do solo variaram de 5,6 a 4,7. Os valores de H⁺Al na TFSA variaram entre 9,1 e 3,9 cmol_c kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 9,9 a 5,3 cmol_c kg⁻¹. Os teores de Al na TFSA variaram entre 0,7 e 0,0 cmol_c kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 0,9 a 0,1 cmol_c kg⁻¹ (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios de pH, H+Al e alumínio (Al), em cmol_c kg⁻¹, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	pH			H+Al			Al		
	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%
	0-5 cm								
	cmol _c kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹		
T1	5,52Aa	4,80Ab	3,50	8,09Aa	9,51Aa	18,98	0,30Ba	0,39Ba	29,18
T2	5,57Aa	4,99Ab	5,73	4,91Bb	8,04Aa	15,75	0,03Cb	0,17Ba	46,36
T3	5,16Ba	4,86Aa	3,56	8,16Aa	9,20Aa	18,28	0,36Ba	0,52Aa	28,06
T4	5,77Aa	4,84Ab	7,48	5,04Bb	9,11Aa	14,70	0,36Ba	0,47Aa	31,81
T5	5,42Ba	4,91Ab	3,41	6,01Bb	8,96Aa	21,23	0,30Bb	0,66Aa	42,10
T6	5,42Ba	4,84Ab	2,27	5,59Bb	9,90Aa	17,75	0,23Ba	0,53Aa	60,10
T7	5,62Aa	5,33Aa	3,24	5,86Ba	7,53Aa	20,71	0,08Ca	0,24Ba	81,52
T8	5,38Ba	4,79Ab	4,20	5,81Bb	9,00Aa	9,64	0,53Aa	0,81Aa	39,73
CV%	3,46	5,48		17,68	17,30		39,36	44,66	
5-10 cm									
T1	5,32Aa	5,34Aa	1,96	6,46Ca	7,16Aa	16,99	0,10Ab	0,24Ba	34,86
T2	5,44Aa	5,30Aa	4,41	7,41Ba	6,50Aa	20,17	0,26Aa	0,20Ba	67,98
T3	5,51Aa	5,16Ab	2,27	5,34Cb	6,88Aa	9,34	0,30Aa	0,49Aa	35,74
T4	5,35Aa	5,19Aa	5,33	8,03Ba	7,91Aa	21,89	0,41Aa	0,39Ba	73,39
T5	5,34Aa	5,03Aa	5,28	9,14Aa	9,18Aa	20,81	0,60Aa	0,87Aa	37,70
T6	5,26Aa	4,97Aa	3,40	7,32Ba	7,85Aa	17,85	0,48Aa	0,56Aa	61,00
T7	5,37Aa	5,19Aa	6,05	7,55Ba	6,06Ab	12,08	0,15Aa	0,16Ba	94,97
T8	5,30Aa	4,97Ab	2,80	6,51Ca	7,80Aa	15,57	0,40Aa	0,64Aa	72,57
CV%	2,48	5,48		11,23	22,80		70,21	56,44	
10-20 cm									
T1	5,64Ba	5,38Aa	3,80	4,27Bb	7,21Aa	20,32	0,06Bb	0,31Ba	41,42
T2	5,74Ba	5,45Aa	5,32	6,89Aa	7,54Aa	15,46	0,12Ba	0,16Ba	106,65
T3	5,54Ca	5,22Ab	2,76	6,72Ab	8,39Aa	8,84	0,37Aa	0,68Aa	39,73
T4	5,68Ba	5,27Ab	3,26	6,17Aa	6,61Aa	23,31	0,43Aa	0,49Aa	65,49
T5	5,32Da	5,24Aa	4,66	6,62Aa	7,76Aa	19,40	0,56Aa	0,67Aa	41,90
T6	5,52Ca	5,14Ab	3,56	6,32Ab	8,83Aa	15,11	0,43Aa	0,49Aa	42,98
T7	6,00Aa	5,65Ab	2,79	3,90Ba	5,33Aa	23,00	0,02Ba	0,19Ba	155,72
T8	5,35Da	5,17Aa	3,41	7,48Aa	7,50Aa	9,68	0,70Aa	0,91Aa	43,18
CV%	2,30	4,93		11,34	19,47		63,97	49,04	

Trat. = Tratamento. TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Agreg = Agregados. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Verificou-se uma acidificação, com valores de pH abaixo de 6,10 (pH inicial do experimento em 2007), em todos os tratamentos tanto na TFSA como nos agregados do solo (Tabela 7). Estes resultados podem

ser decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados e da mineralização de resíduos vegetais na superfície do solo. A adubação nitrogenada com fontes amoniacais (ureia no milho e nitrato de amônio na cebola) tem sido indicada uma das principais causas da acidificação da superfície do solo no SPD, devido à produção de prótons durante a nitrificação do amônio (BOLAN et al. 1991). Portanto, a elevada acidez ativa observada na TFSA e nos agregados do solo pode ser explicada pela aplicação de fertilizantes nitrogenados de reação ácida, somado ao longo período de cultivo sem calagem e pela decomposição do material orgânico, acumulado na superfície do solo no SPD, pelos microrganismos e consequente liberação de íons H^+ (CIOTTA et al., 2002; MEURER, 2012).

6.2.2. Ca, Mg e K na TFSA e nos agregados

Os teores de Ca na TFSA variaram entre 18,2 e 7,9 $cmol_c kg^{-1}$ e nos agregados do solo variaram de 13,6 a 1,8 $cmol_c kg^{-1}$. Os teores de Mg na TFSA variaram entre 2,0 e 1,1 $cmol_c kg^{-1}$ e nos agregados do solo variaram de 3,6 a 2,0 $cmol_c kg^{-1}$. Os teores de K na TFSA variaram entre 443,6 e 65,6 $mg kg^{-1}$ e nos agregados do solo variaram de 368,3 a 35,3 $mg kg^{-1}$ (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios de cálcio (Ca), magnésio (Mg), em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e potássio (K), em mg kg^{-1} , nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	Ca			Mg			K		
	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%
	0-5 cm								
	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$		$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$			mg kg^{-1}			
T1	18,26Aa	4,74Bb	14,86	1,38Bb	2,89Aa	13,52	283,33Ba	246,22Ba	18,98
T2	12,18Ba	13,61Aa	9,80	1,73Ab	3,37Aa	8,88	378,66Aa	188,67Bb	15,44
T3	7,94Ca	9,67Aa	20,58	1,42Bb	2,45Aa	9,29	382,00Aa	368,37Aa	14,19
T4	8,99Cb	10,78Aa	10,35	1,30Bb	2,89Aa	16,02	376,66Aa	189,73Bb	28,54
T5	14,81Aa	8,11Ab	33,23	1,70Ab	3,09Aa	9,80	399,66Aa	177,60Bb	31,83
T6	15,12Aa	3,93Bb	21,12	1,36Bb	2,54Aa	8,64	443,66Aa	290,44Ab	12,50
T7	9,07Ca	8,56Aa	27,79	1,98Aa	2,71Aa	22,65	318,00Ba	313,95Aa	21,75
T8	15,54Aa	11,53Aa	27,88	1,47Bb	2,72Aa	17,73	436,33Aa	287,04Ba	8,36
CV%	17,25	30,01		12,21	14,14		17,36	21,98	
5-10 cm									
T1	10,73Ba	7,44Bb	17,72	1,43Ab	2,41Ca	10,53	193,00Ba	83,11Bb	7,64
T2	12,18Aa	10,84Aa	19,54	1,34Ab	3,05Ba	12,41	193,66Ba	183,12Aa	15,11
T3	9,22Ba	7,36Bb	11,77	1,37Ab	2,08Ca	8,60	232,00Aa	95,38Bb	13,66
T4	13,63Aa	10,27Aa	21,21	1,19Ab	2,54Ca	3,81	163,00Ba	115,20Ba	37,15
T5	14,66Aa	9,21Ab	14,27	1,29Ab	2,56Ca	16,12	264,66Aa	97,30Bb	34,57
T6	9,83Ba	8,42Ba	23,73	1,15Ab	2,27Ca	10,68	164,33Ba	142,85Aa	15,08
T7	10,09Ba	12,21Aa	19,85	1,60Ab	3,69Aa	15,90	243,33Aa	154,83Aa	15,03
T8	11,41Ba	5,98Ba	42,67	1,30Ab	2,02Ca	18,38	224,33Aa	148,91Aa	26,46
CV%	19,67	25,51		14,57	12,13		18,48	30,02	
10-20 cm									
T1	10,25Ba	7,15Bb	15,37	1,57Bb	2,58Aa	14,38	111,25Ba	59,89Bb	20,51
T2	9,47Ba	4,93Cb	8,54	2,06Ab	2,70Aa	7,45	120,66Ba	103,96Aa	20,19
T3	11,39Ba	8,59Ba	23,02	1,24Cb	2,08Ba	16,53	163,00Aa	117,41Ab	14,52
T4	9,94Ba	10,90Aa	16,61	1,23Cb	2,70Aa	18,29	79,66Ca	47,32Ba	68,49
T5	15,32Aa	1,80Cb	23,83	1,21Cb	2,44Aa	10,89	65,66Ca	35,34Bb	30,35
T6	10,30Ba	9,83Aa	21,60	1,15Cb	2,18Ba	20,88	122,66Ba	94,49Ab	8,67
T7	11,29Ba	10,86Aa	18,39	1,57Bb	2,99Aa	23,76	160,66Aa	125,84Aa	16,47
T8	11,58Ba	3,26Cb	33,79	1,27Cb	2,01Ba	10,90	165,33Aa	128,95Aa	20,02
CV%	18,45	24,87		11,78	17,01		20,41	27,06	

Trat. = Tratamento. TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Agreg = Agregados. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV = coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola biennial em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPD; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Na TFSA em todos os tratamentos e profundidades observou-se teores altos de Ca (acima de $4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Nos agregados do solo

observou-se na maioria dos tratamentos e profundidades teores altos de Ca, com exceção de alguns tratamentos com teores médio (entre 2,0 e 4,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) e baixo (abaixo de 2,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Na TFSA e nos agregados do solo em todos os tratamentos e profundidades observaram-se teores altos de Mg (acima de 1,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$). Na TFSA observou-se que os teores de K variaram de muito alto (acima de 240,0 mg dm^{-3}) a baixo (41,0 a 80,0 mg dm^{-3}). Nos agregados do solo em relação ao K observou-se que os teores variaram de muito alto (acima de 240,0 mg dm^{-3}) a muito baixo (abaixo de 40,0 mg dm^{-3}) (SBCS, 2016).

Em relação ao Mg na comparação entre TFSA e agregados do solo observou-se maiores teores deste nutriente nos agregados do solo em todos os tratamentos e camadas, com exceção do tratamento sucessão milho/cebola em SPC (T7) em 0-5 cm no qual não houve diferença (Tabela 8). Isto pode ser explicado pelo fato do cátion bivalente Mg^{2+} poder ser um agente ligante entre a argila e a MOS na formação do agregado do solo (BRONICK e LAL, 2005).

6.2.3. P, CTC efetiva e $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ na TFSA e nos agregados

Os teores de P na TFSA variaram entre 116,9 e 37,6 mg kg^{-1} e nos agregados do solo variaram de 159,7 a 17,9 mg kg^{-1} . Os valores de CTC efetiva na TFSA variaram entre 20,6 e 10,7 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e nos agregados do solo variaram de 17,6 a 5,0 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$. Os valores de $\text{CTC}_{\text{pH } 7,0}$ na TFSA variaram entre 28,4 e 16,3 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e nos agregados do solo variaram de 25,5 e 12,1 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios de fósforo (P), em mg kg⁻¹, de CTC efetiva (Capacidade de Troca Catiônica efetiva) e de CTC_{pH7,0} (Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0), em cmol_c dm⁻³, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	P			CTC efetiva			CTC _{pH7,0}		
	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%
	0-5 cm			0-5 cm			0-5 cm		
	mg kg ⁻¹			cmol _c dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³		
T1	96,84Ab	145,78Aa	18,34	20,66Aa	8,66Bb	11,45	28,47Aa	17,77Bb	10,67
T2	84,31Ab	131,71Aa	6,42	14,91Bb	17,65Aa	7,10	19,80Cb	25,52Aa	5,15
T3	78,77Ab	124,50Ba	12,37	10,72Ca	13,60Aa	15,63	18,51Cb	22,27Aa	9,01
T4	116,97Aa	134,95Aa	20,97	11,62Cb	14,64Aa	8,23	16,30Cb	23,27Aa	8,74
T5	103,56Ab	149,74Aa	8,76	17,84Aa	12,31Aa	26,09	23,55Ba	20,61Ba	16,23
T6	88,91Ab	159,71Aa	12,57	17,86Aa	7,75Bb	16,05	23,23Ba	17,11Bb	12,45
T7	101,58Aa	104,06Ba	9,82	11,95Ca	12,32Aa	20,86	17,72Ca	19,60Ba	15,99
T8	108,59Aa	102,93Ba	16,45	18,66Aa	15,80Aa	23,60	23,95Ba	23,99Aa	14,89
CV%	16,56	12,75		14,35	21,92		11,91	12,56	
5-10 cm									
T1	81,56Ba	102,90Aa	18,64	12,76Ba	10,31Ba	14,56	19,13Ba	17,23Ba	9,35
T2	62,22Cb	115,89Aa	11,86	14,29Ba	14,58Aa	15,51	21,44Ba	20,88Aa	11,60
T3	46,68Cb	95,81Aa	16,14	11,48Ba	10,20Ba	9,73	16,53Ba	16,58Ba	7,30
T4	73,15Ba	60,96Ba	34,05	15,65Aa	13,51Aa	19,20	23,27Aa	21,03Aa	17,02
T5	56,41Cb	115,10Aa	17,05	17,24Aa	12,89Ab	12,57	25,79Aa	21,20Ab	8,53
T6	94,32Aa	101,28Aa	15,22	11,89Ba	11,62Ba	20,47	18,73Ba	18,92Ba	18,11
T7	68,13Bb	105,04Aa	10,47	12,47Bb	16,46Aa	15,21	19,87Ba	22,36Aa	9,50
T8	46,05Cb	92,77Aa	22,90	13,68Ba	9,03Ba	31,06	19,81Ba	16,19Ba	21,86
CV%	17,36	18,30		16,79	19,17		11,22	16,06	
10-20 cm									
T1	45,64Ba	34,71Ba	20,22	12,18Ba	10,19Ba	12,06	16,39Ba	17,09Aa	9,00
T2	76,43Aa	49,46Ab	16,98	11,97Ba	8,07Cb	5,47	18,74Ba	15,45Bb	7,53
T3	87,85Aa	41,80Ab	19,73	13,42Ba	11,66Ba	17,85	19,78Aa	19,36Aa	11,20
T4	37,61Ba	17,96Bb	37,25	11,81Ba	14,22Aa	12,02	17,56Ba	20,34Aa	9,91
T5	82,73Aa	63,84Aa	17,73	17,27Aa	5,01Cb	20,29	23,34Aa	12,10Bb	15,51
T6	56,39Ba	56,00Aa	30,24	12,20Ba	12,75Aa	19,66	18,09Ba	21,09Aa	9,89
T7	49,96Ba	51,49Aa	33,12	13,28Ba	14,37Aa	16,59	17,19Ba	19,50Aa	10,58
T8	46,11Ba	30,46Ba	28,08	13,98Ba	6,52Cb	25,19	20,76Aa	13,10Bb	16,24
CV%	21,84	28,61		15,85	18,68		11,49	11,53	

Trat. = Tratamento. TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Agreg = Agregados. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV = coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Na TFSA em todos os tratamentos e camadas observaram-se teores altos de P (maiores que $36,0 \text{ mg dm}^{-3}$). Nos agregados do solo observou-se que os teores de P variaram de médio ($12,1$ a 18 mg dm^{-3}) a muito alto (maior que $36,0 \text{ mg dm}^{-3}$). Na TFSA, em todos os tratamentos e camadas, observaram-se valores altos de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ($15,1$ - $30,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Nos agregados do solo, em grande parte dos tratamentos e camadas, observaram-se valores altos de $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ ($15,1$ - $30,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), com exceção de alguns tratamentos com valores médios ($7,6$ - $15,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (SBCS, 2016).

As adubações de P (P_2O_5), K (K_2O) e sulfato de cálcio, “gesso agrícola”, ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) realizadas para a cebola, além das sequências de culturas e plantas de coberturas utilizadas, explicam a alta fertilidade (P, K, Ca e Mg) observada na maioria dos tratamentos, nas três camadas tanto na TFSA como nos agregados do solo. O gesso agrícola além de apresentar S (13%) tem também Ca (16%) em sua composição (SBCS, 2016).

6.2.4. Valor S, valor m e valor V na TFSA e nos agregados

Os valores S na TFSA variaram entre $20,3$ e $10,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e nos agregados do solo variaram de $17,4$ a $4,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Os valores m na TFSA variaram entre $5,3$ e $0,0\%$ e nos agregados do solo variaram de $14,0$ a $1,01\%$. Os valores V na TFSA variaram entre $77,1$ e $56,2\%$ e nos agregados do solo variaram de $72,6$ a $36,1\%$ (Tabela 10).

Tabela 10. Valores médios de valor S (somatório de bases), em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, valor m (Saturação por Alumínio) e valor V (Saturação por bases), em %, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Trat.	valor S			valor m			valor V		
	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%	TFSA	Agreg	CV%
	0-5 cm								
	$\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$			%			%		
T1	20,36Aa	8,26Bb	11,51	1,47Bb	4,55Aa	15,35	71,63Ba	46,47Bb	8,75
T2	14,88Ab	17,47Aa	7,07	0,20Cb	1,01Ba	47,97	75,06Aa	68,57Aa	5,67
T3	10,35Ba	13,07Aa	16,15	3,44Aa	3,98Ba	32,52	56,27Ca	58,37Aa	12,63
T4	11,25Bb	14,16Aa	8,12	3,16Aa	3,25Ba	27,52	69,07Ba	60,96Ab	4,69
T5	17,54Aa	11,65Aa	27,52	1,71Bb	6,41Aa	66,36	74,24Aa	55,03Aa	17,33
T6	17,62Aa	7,21Bb	17,05	1,35Bb	7,28Aa	75,49	75,68Aa	42,14Bb	9,17
T7	11,86Ba	12,07Aa	21,69	0,72Ca	2,27Ba	85,56	67,15Ba	60,88Aa	10,88
T8	18,13Aa	14,98Aa	24,64	2,98Aa	5,33Aa	44,01	75,10Aa	61,56Ab	10,60
CV%	14,71	23,07		39,55	56,52		6,27	14,80	
5-10 cm									
T1	12,66Ba	10,06Ba	14,88	0,82Ab	2,43Ba	35,02	66,06Aa	58,40Ba	9,70
T2	14,02Aa	14,37Aa	15,69	1,88Aa	1,43Ba	74,35	65,35Aa	68,82Aa	8,93
T3	11,18Ba	9,70Ba	9,21	2,57Ab	4,89Aa	28,00	67,67Aa	58,42Bb	4,48
T4	15,23Aa	13,12Aa	18,12	2,47Aa	2,83Ba	57,68	65,33Aa	62,42Ba	7,52
T5	16,64Aa	12,02Bb	12,11	3,32Ab	6,90Aa	36,80	64,45Aa	57,08Ba	11,48
T6	11,41Ba	11,06Ba	19,88	3,99Aa	4,68Aa	55,89	60,95Aa	58,19Ba	5,00
T7	12,32Bb	16,29Aa	15,88	1,32Aa	1,02Ba	96,45	61,73Ab	72,65Aa	8,11
T8	13,28Ba	8,38Ba	33,55	3,22Aa	7,90Aa	88,52	65,82Aa	51,51Bb	13,17
CV%	16,75	19,63		66,66	67,70		7,41	10,33	
10-20 cm									
T1	12,12Ba	9,88Ba	12,04	0,55Bb	3,07Ba	40,80	73,92Aa	57,84Bb	8,15
T2	11,84Ba	7,90Cb	6,39	1,07Ba	2,12Ba	95,73	63,20Ba	51,48Bb	6,69
T3	13,05Ba	10,97Ba	18,39	2,80Aa	5,95Ba	42,26	65,44Ba	56,58Bb	7,58
T4	11,37Ba	13,72Aa	14,04	3,74Aa	3,75Ba	72,87	64,71Ba	67,60Aa	10,33
T5	16,71Aa	4,33Db	19,61	3,07Ab	14,08Aa	39,38	71,47Aa	36,15Cb	12,30
T6	11,76Ba	12,25Aa	19,37	3,56Aa	3,82Ba	32,57	64,97Ba	57,61Ba	11,57
T7	13,28Ba	14,17Aa	17,32	0,00Ba	1,58Ba	173,08	77,12Aa	72,27Aa	8,94
T8	13,28Ba	5,60Db	27,64	5,37Ab	13,66Aa	39,72	63,37Ba	42,19Cb	10,99
CV%	16,16	19,53		66,02	46,86		6,20	13,20	

Trat. = Tratamento. TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Agreg = Agregados. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bialen em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Na TFSA, em todos os tratamentos e camadas, observaram-se valores m baixos (menores que 10%). Nos agregados do solo, na maioria dos tratamentos e camadas observou-se valores m baixos, com exceção de alguns tratamentos com valores m médios (entre 10,1 e 20%) (CQFSRS/SC, 2004). Na TFSA, em todos os tratamentos encontraram-se valores V altos, ou seja, com alta saturação por bases (eutróficos - saturação por bases igual ou superior a 50%). Nos agregados do solo, em geral, em todos os tratamentos observaram-se valores V altos, com exceção de alguns tratamentos com valores V baixos (distróficos - saturação por bases menor que 50%) (EMBRAPA, 2013).

Em relação a acidez ativa, acidez potencial, teores de Al e saturação por Al na comparação entre TFSA e agregados do solo, em geral, observaram-se os maiores valores desses parâmetros nos agregados do solo (Tabelas 7 e 10). Os maiores teores de Al nos agregados do solo em relação à TFSA podem ser explicados pelo fato do Al ser um agente de agregação. Este elemento pode favorecer a agregação por estimular a precipitação de compostos (hidróxidos, por exemplo), que atuam como agentes ligantes de partículas primárias de agregados, além do próprio Al ser um agente de ligação entre partículas de argila e MOS (BRONICK e LAL, 2005). Além disso, em geral, os teores de Al e H são mais elevados na película externa dos agregados, enquanto que no interior dos agregados predomina a saturação por bases (HORN, 1990). Portanto, o Al e o H estão mais propensos, pela sua localização no agregado, de serem liberados para a solução do solo. E isto também pode ser uma das explicações para os maiores teores de Al e a maior acidez ativa observados nos agregados do solo em comparação à TFSA.

Na TFSA, na comparação entre tratamentos, observou-se no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) menores valores de Ca (0-20 cm), K (0-5 cm), P (10-20 cm), CTC efetiva (0-20 cm), CTC $pH_{7,0}$ (0-20 cm), valor S (0-20 cm) (Tabelas 8, 9 e 10). Além disso, neste tratamento tem-se menor proporção (redução de até 21,38%) de macroagregados e maior proporção (aumento de até 89,36%) de microagregados estáveis em água com consequente redução da estabilidade dos agregados (de até 27,63%) na camada de 0-10 cm em comparação aos demais tratamentos e menores teores de COT (0-10 cm) e de NT (0-5 cm) na TFSA (Tabelas 5 e 6). Isto pode explicar a reduzida produtividade dos bulbos de cebola (de até 7,32 Mg ha⁻¹) em 2014 observada neste tratamento (T7) em relação aos demais tratamentos (Tabela 4). Estes resultados são devidos ao manejo no qual se tem o revolvimento do solo e a exposição da MOS e dos nutrientes à decomposição e mineralização pela microbiota e, consequentemente, a

diminuição dos teores de nutrientes da TFSA do solo e a menor diversidade vegetal adotados neste tratamento (T7) em comparação aos demais tratamentos na TFSA (MEURER, 2012; LOSS et al., 2014).

Na TFSA, dentre todos tratamentos, observou-se os maiores valores de Ca (0-20 cm), Mg (0-5 cm), K (0-10 cm), P (10-20 cm), CTC efetiva (0-20 cm), CTC $pH\ 7,0$ (5-20 cm), valor V (0-5 e 10-20 cm) e valor S (0-20 cm), no tratamento T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD) (Tabelas 8, 9 e 10). Na composição do tratamento T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD), além da cultura comercial da cebola, há a presença das plantas de cobertura milheto, aveia preta e centeio, ambas da família Poaceae (gramíneas). O milheto caracteriza-se por apresentar um sistema radicular profuso e profundo (podendo alcançar até 200 cm de profundidade), por ter uma capacidade de extrair grandes quantidades de nutrientes do solo (inclusive de solos de baixa fertilidade), por produzir cerca de 10 t ha⁻¹ de matéria seca e por ter uma alta relação C/N (em média 36,5) (VASCONCELLOS et al., 1999; BRÜCK et al., 2003; LIMA FILHO et al., 2014). A aveia preta destaca-se por ser uma planta rústica, com sistema radicular fasciculado que alcança em geral a profundidade de 76 cm, que se desenvolve bem em solos poucos férteis, com produção por volta de 6 t ha⁻¹ de matéria seca, com alta relação C/N (em média 31,5) (WEAVER, 1926; MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). O centeio distingue-se por ser uma espécie rústica, adaptada a solos pouco férteis, possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes (destacando-se o P, o que pode justificar o alto teor de P em 10-20 cm neste tratamento), sistema radicular fasciculado que se desenvolve a profundidade de 122 cm, com alta relação C/N (em média 30,5) e com produção média de matéria seca de 4,5 t ha⁻¹ (WEAVER, 1926, MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). O somatório das características destas três gramíneas pode explicar os bons resultados para fertilidade do solo encontrados no tratamento T5 na TFSA.

Nos agregados do solo, avaliando-se todos os tratamentos e camadas, em relação ao Ca (0-10 cm), Mg (5-10 cm), K (0-20 cm), P (10-20 cm), CTC efetiva (0-10 cm), CTC $pH\ 7,0$ (0-10 cm) valor S (0-10 cm), valor V (0-10 cm), observou-se que, em geral, o tratamento com menores teores foi o T1 (sucessão cebola/milho em SPD) (Tabelas 8, 9 e 10). Estes resultados são decorrentes da menor diversidade vegetal que se tem no tratamento T1 (sucessão cebola/milho em SPD) em comparação aos demais tratamentos em SPD. Destaca-se a importância da inclusão de plantas de cobertura/adubos verdes em sistemas agrícolas, pois protegem o solo dos agentes de erosão, participam ativamente da ciclagem de

nutrientes e adicionam C orgânico ao solo através da fotossíntese (LIMA FILHO et al., 2014). Deste modo, pode-se inferir que apenas a adoção do SPD de cebola sem a presença de plantas de cobertura/adubos verdes é ineficiente na promoção de uma maior ciclagem de nutrientes e com isso uma maior fertilidade do solo.

Nos agregados do solo no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) observou-se nos atributos químicos (Ca, Mg, K, P, CTC efetiva, CTC pH 7,0, valor V, e valor S) do solo valores similares aos observados nos tratamentos em SPD (Tabelas 8, 9 e 10). Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que neste tratamento (T7) o manejo adotado incorpora os resíduos vegetais das plantas e o adubo aplicado, o que ocasionou os valores similares encontrados entre os tratamentos. No entanto, em 0-5 cm nos tratamentos T1 (sucessão cebola/milho em SPD), T2 (rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD), T4 (sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD), T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD) e T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD) observou-se maiores teores de P em comparação ao tratamento T7 (Tabela 9). No SPC, no revolvimento do solo a MOS é levada para as maiores profundidades (5-10 e 10-20 cm) e é mineralizada mais rapidamente, disponibilizando o P lábil aos microrganismos. E como as argilas nesta profundidade possuem sítios não saturados, estes são ocupados pelo P e por consequência sua concentração nos agregados do solo é aumentada em profundidade (o que pode ser corroborado pelo alto teor de P no tratamento T7 em 5-10 e 10-20 cm, Tabela 9). Já no SPD, como se tem o revolvimento apenas na linha de plantio, o P adicionado pela decomposição dos resíduos vegetais permanece na camada superficial, e é lentamente incrementado nas demais profundidades pela rizosfera e pela decomposição das raízes (SANTOS et al., 2017).

Nos agregados do solo, dentre os tratamentos em SPD, em relação ao Ca (0-10 cm), Mg (10-20 cm), K (5-20 cm), P (0-20 cm), CTC efetiva (0-10 cm), CTC pH 7,0 (0-10 cm), valor V (0-10 cm) e valor S (0-10 cm), observou-se que o tratamento com maiores teores foi o T2 (rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD) (Tabelas 8, 9 e 10). O tratamento T2 (rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD) é composto pelas plantas de cobertura centeio, ervilhaca peluda e nabo forrageiro. O centeio apresenta as seguintes características: é uma gramínea rústica, adaptada a solos pouco férteis, possui elevada capacidade de ciclagem de nutrientes (destacando-se o P), tem sistema radicular fasciculado que se desenvolve a profundidade de 122 cm, com alta relação C/N (em média 30,5), com produção média de

matéria seca de 4,5 t ha⁻¹ (WEAVER, 1926, MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). A ervilhaca peluda, espécie leguminosa, destaca-se por adaptar-se a solos de reduzida fertilidade e com problemas de acidez, por realizar a FBN (fixa de 110 a 184 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), por ser eficaz na ciclagem de nutrientes (destacando-se o P), pela produção média de matéria seca de 4 t ha⁻¹, com baixa relação C/N (16) (LIMA FILHO et al., 2014). O nabo forrageiro é uma crucífera, rústica e adaptada a solos pouco férteis, com raiz pivotante ou tuberosa e profunda, com elevada capacidade de ciclagem de nutrientes (principalmente N e P), com produção média de matéria seca de 5,5 t ha⁻¹, com média relação C/N (em média 22) (MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014). Além das plantas de cobertura tem-se o milho e o feijão compondo o tratamento. O milho é uma gramínea que produz cerca de 6 t ha⁻¹ de matéria seca, com alta relação C/N (em média 52) o que faz com que a decomposição da sua fitomassa seja mais lenta e permaneça por mais tempo recobrando o solo e protegendo-o da erosão, o que é buscado no SPD (LIMA FILHO et al., 2014). O feijão é uma leguminosa e caracteriza-se por realizar a FBN. Por consequência, todas essas características das plantas de cobertura e das plantas comerciais podem justificar a maior fertilidade encontrada no tratamento T2 nos agregados do solo.

6.3. Fracionamento granulométrico na TFSA e nos agregados

Os teores de COp na TFSA variaram entre 14,54 e 4,67 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 12,85 a 2,51 g kg⁻¹. Os teores de COam na TFSA variaram entre 29,94 e 14,42 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 31,22 a 15,80 g kg⁻¹ (Tabela 11).

Tabela 11. Valores médios de carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), em g kg⁻¹, nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Tratamento	COp			COam		
	TFSA	Agregados	CV	TFSA	Agregados	CV%
0-5 cm						
	g kg ⁻¹			g kg ⁻¹		
T1	11,74Ba	7,54Cb	10,60	22,28Ba	23,93Ba	4,20
T2	11,65Ba	9,23Bb	7,86	23,71Ba	25,07Ba	8,13
T3	12,88Ba	12,72Aa	11,63	21,25Cb	31,22Aa	8,01
T4	11,09Ba	12,32Aa	12,26	19,97Ca	20,62Ca	4,16
T5	10,36Cb	11,54Aa	5,96	20,60Cb	23,31Ba	5,89
T6	14,54Aa	11,40Ab	7,38	29,94Aa	22,48Bb	5,49
T7	8,31Da	3,79Db	16,19	16,65Db	22,66Ba	5,88
T8	11,97Ba	12,85Aa	11,47	21,89Ba	18,42Cb	5,79
CV%	8,72	12,29		6,02	6,54	
5-10 cm						
T1	6,13Ab	7,86Ca	6,22	18,25Ba	18,16Ca	5,21
T2	6,68Aa	5,57Da	19,19	20,09Aa	20,69Ba	5,70
T3	6,01Ab	10,17Aa	8,89	20,07Aa	16,47Db	5,83
T4	7,30Aa	2,81Eb	9,64	20,80Ab	23,62Aa	5,04
T5	7,28Aa	2,95Eb	11,15	20,19Ab	24,75Aa	7,01
T6	6,33Aa	5,50Db	7,39	18,82Bb	21,23Ba	3,80
T7	6,23Aa	3,27Eb	13,54	14,42Cb	21,74Ba	5,75
T8	5,95Ab	9,02Ba	11,00	20,62Aa	16,13Db	6,97
CV%	11,98	10,45		6,20	5,37	
10-20 cm						
T1	4,99Aa	3,28Bb	12,08	16,46Cb	18,65Aa	6,65
T2	4,69Aa	2,84Bb	15,13	19,71Aa	19,68Aa	3,71
T3	5,01Aa	5,91Aa	15,29	18,38Aa	15,88Bb	4,07
T4	4,69Aa	2,51Bb	15,02	17,48Bb	21,24Aa	5,56
T5	4,67Aa	3,08Bb	6,22	19,07Aa	20,53Aa	4,94
T6	4,69Ab	5,83Aa	8,08	19,70Aa	17,02Bb	5,29
T7	4,90Aa	3,39Bb	5,97	15,77Cb	20,03Aa	4,02
T8	4,95Aa	5,51Aa	12,01	17,88Ba	15,80Ba	8,46
CV%	10,78	13,40		4,35	6,32	

TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Os menores valores de COP na TFSA e nos agregados do solo em 0-5 cm e os menores teores de COam na TFSA em 0-10 cm foram observados no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) (Tabela 11). Estes resultados corroboram os menores valores de COT para TFSA (0-10 cm) e agregados do solo (0-5 cm) verificados neste tratamento (Tabela 6). Devido ao manejo do solo adotado neste tratamento, caracterizado pela utilização de arado, grade ou enxada rotativa, tem-se a ruptura e posterior fragmentação dos agregados. Deste modo, expõe-se a MOS que estava protegida no interior dos agregados à decomposição microbiana (MEURER, 2012; LOSS et al., 2014). Isto acarreta na diminuição do COP, o que confirma que o manejo no SPC do solo desfavorece a agregação do solo e aumenta a taxa de decomposição da MOS, causando a diminuição dos teores de COP e COam em comparação aos tratamentos em SPD.

Os maiores valores de COP nos agregados do solo em 5-10 cm e os maiores valores de COam nos agregados do solo em 0-5 cm foram observados no tratamento T3 (rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD) (Tabela 11). Esses resultados corroboram os maiores valores de COT nos agregados do solo (0-5 cm) observados neste tratamento (Tabela 6). Isto pode ser explicado, como já citado anteriormente, pela utilização das plantas de cobertura (centeio, aveia preta e milho), caracterizadas por produzirem grande quantidade de matéria seca da parte aérea com alta relação C/N e por realizarem rizodeposição de nutrientes, neste tratamento sem o revolvimento do solo (SPD) (SUZUKI e ALVES, 2006; CALEGARI, 2008; TORRES et al., 2008; LIMA FILHO et al., 2014).

Os maiores teores de COP e de COam na TFSA em 0-5 cm foram observados no tratamento T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD) (Tabela 11). Estes resultados confirmam os maiores teores de COT na TFSA (0-5 cm) verificados neste tratamento (Tabela 6). A combinação mucuna preta, que produz grandes quantidades de matéria seca, com o centeio, que produz matéria seca com alta relação C/N, pode explicar os resultados encontrados (WEAVER, 1926; MONEGAT, 1991; LIMA FILHO et al., 2014).

Os teores de Np na TFSA variaram entre 0,78 e 0,02 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 0,48 a 0,05 g kg⁻¹. Os teores de Nam na TFSA variaram entre 3,88 e 1,58 g kg⁻¹ e nos agregados do solo variaram de 2,96 a 1,48 g kg⁻¹ (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios de nitrogênio particulado (Np) e nitrogênio associado aos minerais (Nam), em g kg^{-1} , nos agregados e na TFSA de Cambissolo Húmico sob sistema plantio direto e convencional de cebola com rotação e sucessão de culturas, Ituporanga, SC, Brasil.

Tratamento	Np			Nam		
	TFSA	Agregados	CV%	TFSA	Agregados	CV%
	0-5 cm					
	g kg^{-1}			g kg^{-1}		
T1	0,30Db	0,45Aa	14,11	2,98Ca	2,25Bb	3,25
T2	0,37Ca	0,34Ba	16,04	3,36Ba	2,78Ab	4,84
T3	0,18Eb	0,31Ba	13,75	2,79Ca	2,96Aa	9,47
T4	0,27Da	0,28Ba	21,06	3,04Ca	2,47Bb	3,82
T5	0,33Da	0,25Bb	8,70	2,94Ca	2,85Aa	6,37
T6	0,78Aa	0,48Ab	6,85	3,88Aa	2,81Ab	6,18
T7	0,27Da	0,06Db	7,93	2,14Da	2,20Ba	4,48
T8	0,49Ba	0,13Cb	16,94	2,97Ca	2,82Aa	8,75
CV%	13,21	13,68		4,36	8,38	
5-10 cm						
T1	0,15Ca	0,08Db	12,75	2,24Ba	1,99Ab	3,10
T2	0,17Ba	0,08Db	11,53	2,21Ba	1,99Aa	6,16
T3	0,13Ca	0,12Ca	12,18	2,27Ba	2,11Ab	2,82
T4	0,16Ca	0,11Cb	14,73	2,21Ba	2,03Aa	5,30
T5	0,20Aa	0,09Db	9,25	2,31Ba	2,12Ab	3,06
T6	0,20Aa	0,10Cb	14,96	2,40Aa	2,06Ab	3,89
T7	0,11Db	0,19Aa	5,99	1,66Cb	2,02Aa	5,76
T8	0,12Db	0,16Ba	12,41	2,43Aa	1,93Ab	8,15
CV%	11,28	12,88		4,77	5,37	
10-20 cm						
T1	0,07Ba	0,08Ca	13,98	1,73Aa	1,54Ab	4,85
T2	0,08Ba	0,05Db	15,43	1,77Aa	1,58Aa	6,79
T3	0,05Cb	0,07Ca	14,73	1,83Aa	1,58Ab	5,21
T4	0,04Cb	0,05Da	7,64	1,70Ba	1,59Aa	8,82
T5	0,02Db	0,08Ca	17,39	1,85Aa	1,67Ab	4,72
T6	0,09Bb	0,16Aa	10,33	1,83Aa	1,51Ab	3,63
T7	0,13Aa	0,09Bb	9,78	1,58Ca	1,65Aa	9,61
T8	0,08Ba	0,10Ba	15,98	1,79Aa	1,48Ab	5,21
CV%	12,41	13,89		4,20	8,29	

TFSA = Terra Fina Seca ao Ar. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os tratamentos, para TSFA e agregados, pelo teste de Scott-Knott a 5% e médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem significativamente entre TSFA e agregados, para cada tratamento, pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação. T1 - sucessão cebola/milho em SPD; T2 - rotação comercial com cobertura de inverno e cebola bienal em SPD; T3 - rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD; T4 - sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD; T5 - rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD; T6 - sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD; T7 - sucessão milho/cebola em SPC; T8 - sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD.

Os menores teores de Np nos agregados do solo em 0-5 cm e os menores valores de Nam na TFSA em 0-20 cm foram observados no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) (Tabela 12). Estes resultados confirmam os menores teores de NT na TFSA e nos agregados do solo (0-5 cm) verificados neste tratamento. Os menores teores de Np no T7 são devidos ao revolvimento do solo, o que interfere negativamente na manutenção dessa fração. Com a ruptura dos agregados do solo, a MOS fica mais facilmente exposta à ação dos microrganismos, o que acelera a sua mineralização, resultando no rápido declínio do Np no solo sob SPC em comparação aos tratamentos em SPD. O N é um componente chave da MOS, logo, alterações que ocorrem nesta, afetam diretamente a dinâmica do N no solo (BAYER et al., 2002). Devido a fração particulada (COP e Np) possuir alta labilidade no solo (BAYER et al., 2002), o N, igualmente ao C, também sofre alterações quando esta fração é afetada pelos sistemas de manejo. Em termos gerais, o SPD tem menores impactos nos teores de COP e Np devido à proteção física destas frações nos agregados. No SPD tem-se maior proteção do solo devido a cobertura oferecida pelas plantas de cobertura, o que permite maior proteção da MOS contra processos erosivos (HERNANI et al., 1999). Os maiores teores de Np nos agregados do solo em 5-10 cm e na TFSA em 10-20 cm foram observados no tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC) (Tabela 12). Estes resultados podem ser devidos ao efeito do revolvimento do solo, no qual se faz a fragmentação e homogeneização dos resíduos vegetais do milho e da vegetação espontânea da superfície para as profundidades subsequentes.

Os maiores teores de Np na TFSA em 0-5 cm e nos agregados do solo em 10-20 cm e os maiores teores de Nam na TFSA 0-5 cm foram observados no tratamento T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD) (Tabela 12). Isto confirma os maiores teores de NT na TFSA (0-10 cm) verificados neste tratamento (Tabela 6). Estes resultados podem ser explicados pela utilização de mucuna preta, caracterizada por realizar a FBN (120 a 210 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N), produzir grande quantidade de matéria seca (7,5 t ha⁻¹) com baixa relação C/N (16,5), no T6 (LIMA FILHO et al., 2014).

Comparando-se o tratamento T1 (sucessão cebola/milho em SPD) com o tratamento T7 (sucessão milho/cebola em SPC), observam-se maiores valores no T1 (SPD) para COT na TFSA (0-10 cm) e nos agregados do solo (0-5 cm), NT na TFSA e nos agregados do solo (0-5 cm), Ca na TFSA (0-5 cm), P nos agregados do solo (0-5 cm), CTC efetiva na TFSA (0-5 cm), CTC_{pH7,0} na TFSA (0-5 cm), valor S na TFSA (0-5 cm), COP na TFSA (0-5 cm) e nos agregados do solo (0-10 cm),

COam na TFSA (0-10 cm), Np na TFSA (5-10 cm) e nos agregados do solo (0-5 cm) e Nam na TFSA (0-20 cm). Consequentemente, percebe-se a importância do manejo conservacionista (SPD) no incremento dos atributos químicos do solo e nas frações granulométricas da MOS frente ao manejo convencional do solo (SPC), pois em ambos a sucessão é a mesma (cebola-milho).

Avaliando-se os resultados encontrados no tratamento T6 (sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual em SPD) com os resultados encontrados nos tratamentos T3 (rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD) e T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD), ambos somente com espécies gramíneas, e com o T4 (tratamento sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD), com somente espécie leguminosa, observaram-se maiores valores no T6 para COT na TFSA (0-5 cm), NT na TFSA (0-10 cm), K nos agregados do solo (5-10 cm), P na TFSA (5-10 cm), COp na TFSA (0-5 cm), COam na TFSA (0-5 cm), Np na TFSA e nos agregados do solo (0-5 e 10-20 cm) e Nam na TFSA (0-10 cm). Infere-se, desse modo, a importância do uso de espécies vegetais de famílias diferentes, como gramíneas e leguminosas, na melhoria dos atributos químicos do solo e das frações granulométricas da MOS, se comparado a sistemas com espécies vegetais da mesma família.

Comparando-se os resultados encontrados no tratamento T8 (sucessão coquetel de coberturas de verão e cebola anual em SPD) com os aqueles encontrados nos tratamentos T3 (rotação milho/gramíneas de inverno e cebola em SPD), T4 (sucessão leguminosa de verão e cebola anual em SPD), T5 (rotação gramíneas de verão/inverno e cebola anual em SPD), com somente leguminosas ou gramíneas, também observaram-se maiores valores no T8 para COT na TFSA (0-5 cm), NT na TFSA (5-10 cm), K nos agregados do solo (5-10 cm), COam na TFSA (0-5 cm), Np na TFSA (0-5 e 10-20 cm) e nos agregados do solo (5-20 cm), e Nam na TFSA (5-10 cm). Portanto, novamente destaca-se a importância do uso de espécies vegetais de famílias diferentes nos atributos químicos do solo e nas frações granulométricas da MOS, se comparado a sistemas com espécies vegetais da mesma família.

7. CONCLUSÕES

O revolvimento do solo e a sucessão milho/cebola em SPC reduziu os teores de COT, COp, COam, NT, Np, Nam tanto nos agregados como na TFSA quando comparado ao SPD com o uso de plantas de cobertura em sucessão e rotação com a cebola.

O uso de mucuna preta e centeio em sucessão aumentou, de maneira geral, os teores de COT, NT, K, P, COp, COam Np, Nam tanto nos agregados como na TFSA quando comparado com a sucessão com somente gramíneas ou somente leguminosas.

O uso de plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas, principalmente consórcio de espécies no verão e sucessão de leguminosa no verão e gramínea no inverno, de maneira geral, incrementou os atributos químicos do solo e a MOS tanto nos agregados como na TFSA.

De maneira geral, na TFSA observou-se maiores valores de COT, NT, COp, Np, Ca e K quando comparado com os agregados do solo. Já nos agregados do solo observou-se maiores índices de acidez do solo, com menores valores de pH, maiores de H⁺Al e Al, maiores valores de P e Mg em comparação a TFSA.

As principais mudanças decorrentes dos sistemas de manejos adotados e do uso das diferentes combinações de plantas de coberturas utilizadas foram observadas através da análise da matéria orgânica particulada, principalmente nos agregados do solo.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se todos os resultados encontrados neste estudo percebe-se claramente que o sistema de preparo convencional do solo (SPC-T7) afeta negativamente os atributos químicos, as frações granulométricas da MOS e reduz a produtividade de cebola (na ordem de até 7.32 Mg ha⁻¹).

Como alternativa sugere-se o sistema de plantio direto com destaque para a sucessão leguminosa de verão/gramínea inverno e cebola anual e a sucessão consórcio de coberturas de verão e cebola anual por conta dos incrementos nos atributos químicos do solo, nas frações da MOS e na produtividade da cebola (de até 30,78%) devido a presença de plantas de cobertura de diferentes famílias botânicas.

9. REFERÊNCIAS

- AITA, C.; J. S. GIACOMINI. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p. 601-612, 2003
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25 p. 189-197, 2001.
- AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MENDES, P. C. D.; ROSSI, F.; AMBROSANO, G. M. B.; ARÉVALO, R. A.; SCHAMMAS, E. A.; ARCARO JUNIOR, I.; FOLTRAN, D. E. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. *Informações Agronômicas*, v. 112, p. 1-16, 2005. (Boletim técnico, n. 112).
- ASHS - American Society for Horticultural Science. Cover crop mulches tested for no-till organic onions. *Science Daily*, 2010. Disponível em: <www.sciencedaily.com/releases/2010/04/100421102455.htm>. Acesso em 16 mar. 2018.
- BALDOCK, J.A.; OADES, J.M.; WATERS, A.G.; PENG, X.; VASSALLO, A.M.; WILSON M.A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*, v.16, p.1-42, 1992.
- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, v. 53, p. 215-230, 2000.
- BAYER, C; MIELNICZUK, J; MARTIN NETO, L; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant and Soil*, v. 238, p.133–140, 2002.
- BENITES, V. M; MADARI, B; MACHADO, P. L. O de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2003. 7 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 in southern Brazil. *Glob. Change Biol*, 16: 784-795, 2010.

BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J.; WHITE, R. E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R. J.; BALIGAR, V. C.; MURRAN, R. P. (Eds.). *Plant soil interactions at low pH*. Dordrecht, Kluwer Academic, p.169-179, 1991.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p. 221-277, 2011.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. *Geoderma*, v. 124, p. 3-22, 2005.

BRÜCK, H. PIRO, B, SATTELMACHER, B. PAYNE, W. A. Spatial distribution of roots of pearl millet on sandy soils of Niger. *Plant Soil*, v. 256, p.149-159, 2003.

BUSARI, M. A.; KUKAL, S. S.; KAUR, A.; BHATT, R.; DULAZI, A. A. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water Conservation Research*, v. 3, p. 119-129, 2015.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura e rotação de culturas no sistema plantio direto. *Informações Agrônomicas*, v. 122, p. 18-21, 2008.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.

CARTER, M. R. Researching structural complexity in agricultural soils. *Soil and Tillage Research*, v. 79, n. 1, p. 1-6, 2004.

CARVALHO, A. M.; DANTAS, R. A.; COELHO, M. C.; LIMA, W. M.; SOUZA, J. P. S. P.; FONSECA, O. P. & GUIMARÃES JÚNIOR, R. Teores de hemiceluloses, celulose e lignina em plantas de cobertura com potencial para sistema plantio direto no Cerrado. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2010. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 290).

CASALI, C. A. Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo? Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2012. 149p.

CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R. Nitrogen management affects carbon sequestration in North American Croplands Soils. *Critical Reviews in Plant Science*, 26:1, 45-64, 2007.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; WOBETO, C. Acidificação de um latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 1055-1064, 2002.

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*, v. 29, p. 777-788, 2005.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C.; MELO, W. J. Envelhecimento de resíduos vegetais sobre o solo e os reflexos na eficácia de herbicidas aplicados em pré-emergência. *Bragantia*, v. 66, p. 101-110, 2007.

COSTA, M.B.B. (Coord.). Adubação verde no Sul do Brasil. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2. ed. 1993. 346p.

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, n.1, p.323-332, 2008.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-

Pecuária em Sistema Plantio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 3, p. 852-863, 2015.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. D. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B. D.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no Bioma Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 4, p. 1311-1322, 2012.

CQFSRS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

CUNHA, E. D. Q.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; FERREIRA, E. P. D. B.; MOREIRA, J. A.; LEANDRO, W. M. Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 1021-1029, 2011.

D'ANDREA A.F.; SILVA M.L.N.; CURI N.; FERREIRA M.M. Atributos de agregação indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região dos cerrados no sul do estado de Goiás. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p 1047-1054, 2002.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. p. 1-69. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. Química e mineralogia do solo. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 685p, 2009.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36: 1714-1723, 2012.

DORAN, J. W.; SAFLEY, M. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. In: PANKHRST, C.; DOUBLE, B. M.;

GUPTA, V. V. S. R. ed. Biological Indicators of Soil Health. Oxon: CAB International. p.1-28, 1997.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; DOS SANTOS, F. G. dos. Fisiologia da planta de milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 16 p.

EDWARDS, A.P.; BREMNER, J.M. Dispersion of soil particles by sonic vibration. European Journal of Soil Science, Amsterdam, v.18, n.1, p.47-63, 1967.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Solos do Estado de Santa Catarina (Boletim de desenvolvimento e pesquisa). Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos – CNPS. 2004. 745p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA Solos, 2013. 353p.

EMERSON, W. W. Stability of soil crumbs. Nature, 183, 538. 1959.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Sistema de produção para a cebola: Santa Catarina. 4. ed. rev. Florianópolis: EPAGRI, 2013. 106 p. (Sistemas de produção; nº 46).

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; BAILEY, B. A. Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. Communications in soil science and plant analysis, v. 36, p. 2733-2757, 2005.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Área colhida, rendimento e produção mundial da cultura da cebola em 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em 07 mar. 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. In: Revista symposium. 2008. p. 36-41.

FOLTRAN, M. Cebola. Diário Catarinense. 2015. Disponível em: <http://www.clicrbs.com.br/sites/swf/DC_cebola/>. Acesso em 26 set. 2016.

GARCIA-FRANCO, N.; ALBALADEJO, J.; ALMAGRO, M.; MARTÍNEZ-MENA, M. Beneficial effects of reduced tillage and green manure on soil aggregation and stabilization of organic carbon in a Mediterranean agroecosystem. Soil and Tillage Research, v. 153, p. 66-75, 2015.

GATHUMBI, S. M.; CADISCH, G.; BURESH, R. J.; GILLER, K. E. Subsoil nitrogen capture in mixed legume stands as assessed by deep nitrogen-15 placement. Soil Science Society of America Journal, v. 67, p. 573-582, 2003.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em mistura de plantas de cobertura de solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. SILVA, W.M. Sistemas de manejo do solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p.145-154, 1999.

HORN, R. Aggregate characterization as compared to soil bulk properties. Soil and Tillage Research, v.17, p.265-289, 1990.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE - cidades@. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=420850&idtema=167&search=santa-catarina|ituporanga|producao-agricola-municipal-lavoura-temporaria-2016>>. Acesso em 02 out. 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro, 2017. v.30. n.8. 86p. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da>

[_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/Isipa_201708.pdf](#)>. Acesso em 02 out. 2017.

JANTALIA, C.P.; SANTOS, H.P.; DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Influência de rotações de culturas no estoque de carbono e nitrogênio do solo sob plantio direto e preparo convencional. *Agronomia*, v. 37, n. 2, p. 91 - 97, 2003.

KURTZ, C; SCHMITT, DR; MENEZES JÚNIOR, FOG; WERNER, H; GONÇALVES, PAS; LANNES, SD; MISSIO, VC. 2009. Relatório de avaliação dos impactos das tecnologias e ações geradas pela EPAGRI Ituporanga: EPAGRI, 11p. (Relatório Balanço Social, 2009).

LEPSCH, I. F. 19 lições de Pedologia. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LI, L.; VOGEL, J.; HE, Z.; ZOU, X.; RUAN, H.; HUANG, W.; WANG, J.; BIANCHI, T. S. Association of Soil Aggregation with the Distribution and Quality of Organic Carbon in Soil along an Elevation Gradient on Wuyi Mountain in China. *PLOS ONE*, v. 11(3), p. 1-13, 2016.

LIMA FILHO, O.F.; AMBROSANO, E.J.; ROSSI, F.; CARLOS, J.A.D, organizadores. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. Brasília, DF: EMBRAPA; v.1, 2014. 507p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 1, p. 68-75, 2009a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, v. 39, n. 4, p. 1077-1082, 2009b.

LOSS, A.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v. 113, n. 1, p. 1-8, 2014.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. 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*, v. 28, n. 1, p. 175-187, 2004.

LUCIANO, R. V.; BERTOL, I.; BARBOSA, F. T.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 9, n. 1, p. 9-19, 2010.

MAGDOFF, F.; VAN ES, H. Building soils for better crops: sustainable soil management. Bladensburg: Sustainable Agriculture Research and Education (SARE) (Handbook series; book. 10), 3rd ed. 2009. 310p.

MARTINS, R. P.; COMIN, J. J.; GATIBONI, L. C.; SOARES, C. R. F.; ROSA COUTO, R.; BRUNETTO, G. Mineralização do nitrogênio de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas, depositadas sobre um solo com histórico de cultivo de cebola. *Revista Ceres*, v. 61, n. 4, p. 587, 2014.

MEURER, E. J. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 5 ed. Porto Alegre: Evangraf, 2012. 275p.

MONEGAT, C. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó: Ed. do Autor, 1991, 337p.

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. *Soil and Tillage Research*, v. 130, p. 52-57, 2013.

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 3, p. 871-879, 2015.

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

NORMAN, M.J.T.; PEARSON, C.J.; SEARLE, P.G.E. Pearl millet (*Pennisetum glaucum*). In: NORMAN, M.J.T.; PEARSON, C.J., SEARLE, P.G.E., eds. *The ecology of tropical food crops*. Cambridge, Cambridge University Press, 1995. p.164-184.

NOVELLI, L. E.; CAVIGLIA, O. P.; PIÑEIRO, G. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. *Soil and Tillage Research*, v. 165, p. 128-136, 2016.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and soil*, v. 76, n. 1-3, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. *Soil Research*, v. 29, n. 6, p. 815-828, 1991.

OLIVEIRA, L. B.; PIRES, A. J. V.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; CARVALHO, G. G. P.; RIBEIRO, L. S. O. Produtividade, composição química e características agronômicas de diferentes forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, p. 2604-2610, 2010.

OLIVEIRA, R.A.; BRUNETTO, G.; LOSS, A.; GATIBONI, L. C.; KURTZ, C.; MÜLLER JUNIOR, V.; LOVATO, P. E.; OLIVEIRA, B. S.; SOUZA, M.; COMIN, J. J. Cover Crops Effects on Soil Chemical Properties and Onion Yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 40, p. 1-17, 2016.

OLIVEIRA, R.A.; COMIN, J.J.; TIECHER, T.; PICCIN, R.; SOMAVILLA, L.; LOSS, A.; LOURENZI, C.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G. Release of phosphorus forms from cover crop residues in agroecological no-till onion production. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, p. 1-16, 2017.

PEREIRA, M. F. S.; JÚNIOR, J. N.; SÁ, J. R.; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. D. S. Ciclagem do carbono do solo

nos sistemas de plantio direto e convencional. Revista Agropecuária Científica no Semiárido, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

REDIN, M. Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo. Dissertação (Mestrado em biodinâmica e manejo do solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010. 141p.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. New Phytologist, v. 171, n. 1, p. 41-53, 2006.

SANTOS, G. G., SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do cerrado. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 1171-8, 2012.

SANTOS, H. P.; REIS, E. M. Rotação de culturas em plantio direto. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2003. 212p.

SANTOS, L. H.; CANTON, L.; VENTURA, B. S.; FERREIRA, G. W.; KURTZ, C; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; LOSS, A. Chemical Properties in Macroaggregates of a Humic Dystrudept Cultivated with Onion under No-Till and Conventional Tillage Systems. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 41, p. e0160419, 2017.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul: Comissão de Química e Fertilidade do Solo -RS/SC, 376p. 2016.

SILVA, A. L.; MAFRA, A. L.; KLAUBERG FILHO, O.; KURTZ, C.; FAYAD, J. A. Carbono e nitrogênio microbiano em sistemas de cultivo de cebola em um Cambissolo Húmico. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 13, n. 2, p. 142-150, 2014.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, n. 2, p. 311-317, 1998.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de

Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 12, p. 60-67, 2017.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOCHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 76, p. 39-58, 2004.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E.T.; COMBRINK, C. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. *Soil Science Society of America. Journal*, v. 64, n. 2, p. 681-689, 2000.

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*, v. 79, n. 1, p. 7-31, 2004.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. *Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III*. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2012. 768 p.

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; JÚNIOR, V. M.; VENTURA, B.; CAMARGO, A. P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. *Ciência Rural*, v. 43, n. 1, p. 21-27, 2013.

SOUZA, M. Desempenho agrônômico e estudo fitoquímico de plantas de cobertura em sistema de plantio direto agroecológico de cebola. Tese (Doutorado em Agroecossistemas). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. 210 p.

SOUZA NETO, E.L.; ANDRIOLI I.; BEUTLER A.N.; CENTURION J.F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 255-260, 2008.

SUZUKI, L.E.A.S.; ALVES, M.C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. *Bragantia*, v. 65, p.121-127, 2006.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. Methods of soil analysis. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy. p.1011-1020, 1996.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

THIVIERGE, M.N.; ANGERS, D. AS.; CHANTIGNY, M. H.; SEGUIN, P.; VANASSE, A. Root traits and carbon input in field-grown sweet pearl millet, sweet sorghum, and grain corn. *Agron. J.* 108: 459-471, 2016.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*, v.33, n. 1, p.141-163, 1982.

TIVET, F.; SÁ, J.C.M.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P.R.; SANTOS, J.B.; FARIAS, A.; EURICH, G.; HARTMAN, D.C.; NADOLNY JUNIOR, M.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 126, p. 203-218, 2013.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; FABIAN, A.J. Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 421-428, 2008.

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

VASCONCELLOS, C. A.; PEREIRA, E. A. G.; NETTO, D. A. M.; SANTOS, F. G. Avaliação do potencial de extração de nutrientes por cultivares de milho para uso no plantio direto. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 10 p, 1999. (Embrapa-CNPMS. Pesquisa em Andamento, 35).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n. 4, p.743-755, 2009.

WEAVER, J. E. Root development of field crops. 1. ed. McGraw-Hill, New York, 167p, 1926.

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil 1. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.

YOODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society Agronomy*, v. 28, n.5, p. 337-351, 1936.

ZHONG, X.L.; LI, J.T.; LI, X.J.; YE, Y.C.; LIU, S.S.; HALLETT, P.D.; OGDEN, M.R.; NAVEED, M. Physical protection by soil aggregates stabilizes soil organic carbon under simulated N deposition in a subtropical forest of China. *Geoderma*, 285, 323–332, 2017.